



ENSP
ECOLE NATIONALE DE
LA SANTE PUBLIQUE

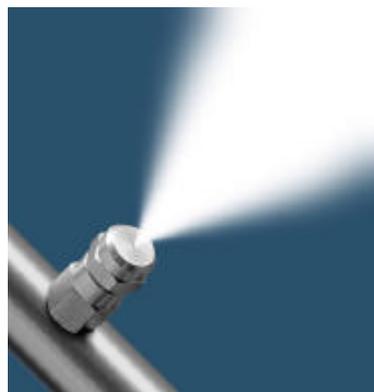
RENNES

Ingénieurs du Génie Sanitaire

Promotion 2005

Atelier de Santé Environnementale

**Risques de légionellose liés à l'utilisation
de brumisateurs en élevage**



LAGADEC Gaëlle
MARQUIS Manuel

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette étude.

Nos remerciements s'adressent particulièrement :

- aux personnes qui nous ont encadrés :
 - Mme LEGEAS enseignant chercheur à l'Ecole Nationale de la Santé Publique (ENSP) pour son suivi, ses conseils et ses ressources documentaires
 - M. MANET de la Cellule Interrégionale d'Epidémiologie Ouest et Mme ROBERT de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales des Côtes d'Armor pour leurs conseils techniques, leurs recommandations et les documents et contacts fournis.
- aux exploitants avicoles ayant accepté de nous présenter leurs installations, tout particulièrement pour leur accueil et le temps qu'ils nous ont consacré :
 - Mme LORGUILLOUX à Bulat-Pestivien (22)
 - M. LE GALL à Loguivy-Plougras (22)
 - M. LE MILBEAU à Corlay (22)
- A M. LESNE du laboratoire LERES pour avoir réalisé les analyses de notre étude
- A M. MAHE du GDS 22 (Groupement de Défense Sanitaire) pour sa liste de contacts
- A M. RIBIERE, gérant de la société B.R.O. Micromist et à Mme MARTIN de la société Prim'Tech pour leurs informations précieuses et les documents gracieusement mis à disposition.

Sommaire

INTRODUCTION.....	9
1 LES LEGIONELLES.....	10
1.1 Historique.....	10
1.2 Ecologie des légionelles.....	10
1.2.1 Taxonomie/ Caractéristiques de l'espèce.....	10
1.2.2 Caractéristiques du genre <i>Legionella</i>	11
1.2.3 Milieu et conditions de développement.....	11
1.2.4 Facteurs favorisant le développement de la bactérie	12
1.2.5 Méthodes de mesure.....	13
1.3 Les pathologies.....	13
1.3.1 Aspects cliniques.....	13
1.3.2 Diagnostic	14
1.3.3 Modes de transmission et d'action.....	15
1.3.4 Notion de seuil	15
1.3.5 Traitement.....	16
1.3.6 Données épidémiologiques	16
1.3.7 Système de surveillance	17
1.3.8 Facteurs de risques personnels	17
1.3.9 Facteurs d'exposition	18
1.4 Actions de prévention de la légionellose en France.....	20
1.4.1 Recommandations.....	20
1.4.2 Techniques de désinfection	21
2 LES SYSTEMES DE BRUMISATION.....	22
2.1 Présentation.....	22
2.1.1 Principe du refroidissement par brumisation	22
2.1.2 Applications	25
2.2 Les différents éléments techniques d'un système de brumisation à haute pression.....	28
2.2.1 La machine (groupe motopompe).....	29
2.2.2 La filtration principale	29
2.2.3 La tuyauterie	30

2.2.4	Les buses de pulvérisation	30
2.2.5	L'automate	32
2.2.6	Autres éléments	33
2.3	Utilisation en élevage avicole.....	33
2.3.1	Les systèmes de brumisation en élevage	33
2.3.2	Paramètres sensibles	35
2.3.3	Conditions d'utilisation particulières	39
3	ANALYSE DES ELEMENTS POUVANT CONDUIRE A UN RISQUE DE LEGIONELLOSE DANS LE CADRE DE L'UTILISATION DE BRUMISATEURS D'ELEVAGE	42
3.1	Démarche et enjeux.....	42
3.1.1	Liens entre la légionellose et les brumisateurs	42
3.1.2	Population exposée	45
3.1.3	Démarche.....	48
3.2	Identification des éléments et des situations à risque	49
3.2.1	Méthode	49
3.2.2	Identification des éléments à risque	49
3.2.3	Identification des situations à risque.....	52
4	RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	54
4.1	Recommandations	54
4.1.1	Mesures simples de réduction des risques	54
4.1.2	Recommandations plus complexes à mettre en oeuvre	55
4.2	Analyse critique et perspectives.....	56
4.2.1	Légionellose et brumisateur, un problème avéré ?	56
	CONCLUSION	57
	BIBLIOGRAPHIE	59
	LISTE DES ANNEXES.....	63

Liste des sigles utilisés

AFNOR : Association Française de Normalisation

AFSSA: Agence Française de Sécurité Sanitaire

BCYE : Buffered Charcoal Yeast Extract

UFC : Unités Formant Colonies

DGS : Direction Générale de la Santé

EWGLI : European Working Group for *Legionella* Infections

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

InVS : Institut National de Veille sanitaire

ISO : International Standards Organisation

LLAPS : Legionella-Like- Amoebial-Pathogens

ORL : OtoRhinoLaryngologie

PCR : Polymerase Chain Reaction

PVC : Poly Vinyl Chloride (polychlorure de vinyl)

TBD : Techni Brume Diffusion

UFC : Unités formant colonies

INTRODUCTION

La bactérie *Legionella pneumophila*, a été reconnue responsable de 1044 cas de légionellose durant l'année 2003 en France. Ces cas avaient une origine nosocomiale pour 11 % d'entre eux, communautaire pour 31 % et 3 % seulement présentaient une origine professionnelle.

Cette origine professionnelle est souvent négligée et la plupart des études jusqu'à aujourd'hui se sont intéressées aux cas nosocomiaux et aux épidémies causées par des tours aéroréfrigérantes notamment. En effet, la bactérie trouve des conditions propices à son développement dans les eaux chaudes.

Cependant, elle peut également être retrouvée dans tous les réseaux d'eaux sanitaires et les systèmes utilisant de l'eau. Elle sera alors disséminée grâce à des systèmes générant des aérosols : climatisation, bains à remous et brumisateurs. C'est particulièrement cette dernière source qui fait l'objet de cette étude, dans un contexte particulier : la brumisation en élevage.

Cette question a été soulevée par la DDASS des Côtes d'Armor et la CIRE Ouest Bretagne suite à la publication d'un article paru dans le magazine « Paysan Breton » rapportant la recrudescence du recours aux brumisateurs haute pression en élevage aviaire et porcin suite à l'été caniculaire de 2003. En effet, les animaux supportant mal la chaleur, ce système a été préconisé par les groupements d'agriculteurs et autres coopératives.

L'objectif de cette étude était donc d'évaluer le risque de survenue de cas de légionellose par exposition à un brumisateur haute pression. Aucun cas n'ayant été déclaré (ce qui ne signifie pas l'absence de cas), nous avons rapidement décidé d'adopter une démarche d'analyse et de caractérisation des situations à risque

Pour ce faire, nous avons étudié la littérature pour connaître les conditions de prolifération de la bactérie et les conditions de développement de la maladie. Ensuite, nous avons cherché à caractériser le mode de fonctionnement des brumisateurs pour déterminer si leurs conditions d'utilisation en élevage (en particulier avicole) étaient favorable au développement de la légionelle.

Enfin, grâce aux informations obtenues par nos visites et les données techniques des fabricants nous avons cherché à identifier des situations à risque d'apparition de la maladie.

1 LES LEGIONELLES

1.1 Historique

La découverte des légionelles remonte à 1976 lorsqu'une épidémie de pneumonies aiguës frappa un groupe d'anciens combattants appartenant à l'American Legion réunis en congrès à Philadelphie (USA). Sur les 4400 participants, 182 personnes tombèrent gravement malades et parmi celles-ci 29 décédèrent. Ce n'est que six mois plus tard que l'agent causal fut identifié. C'était une bactérie propagée par le système de climatisation ; elle reçut le nom de *Legionella pneumophila* et la pathologie celui de « maladie des légionnaires ».



Figure 1 : *Legionella pneumophila* vue au microscope électronique
(source Synlab)

Les légionelles furent en outre identifiées comme agents responsables d'une épidémie qui s'était déclarée en 1968 à Pontiac (forte fièvre, myalgies, symptômes neurologiques).

Il y a plusieurs raisons à la découverte tardive de la pathogénicité des légionelles, notamment la difficulté de les cultiver sur milieux de laboratoire. Tant qu'elles sont restées confinées dans leur écosystème naturel, ces bactéries n'ont pas posé de problème particulier. C'est l'homme qui a inconsciemment introduit de nouveaux types de niches écologiques favorables à la multiplication et à la diffusion des légionelles [1], [2].

1.2 Ecologie des légionelles

1.2.1 Taxonomie/ Caractéristiques de l'espèce

La taxonomie des *Legionellaceae* permet de distinguer à l'heure actuelle 42 espèces et 3 sous-espèces représentant 64 sérogroupes.

Il n'existe qu'un seul genre parmi les *Legionellaceae* et l'espèce type du genre *Legionella* est l'espèce *Legionella pneumophila*. Celle-ci est responsable de 90 % des légionelloses et le séro groupe 1 de cette espèce (qui en compte 12) est associé à plus de 80 % des cas [3]. A côté de ces 42 espèces, des légionelles à développement intracellulaire obligatoires ont été désignées « *Legionella*-Like-Amoebial-Pathogens » (LLAPS). Pour l'instant 12 souches ont été identifiées [4].

1.2.2 Caractéristiques du genre *Legionella*

Les légionelles sont des bacilles à Gram négatif faiblement coloré, non sporulées, non encapsulées. A la loupe binoculaire, l'aspect est dit en verre brisé. Elles sont douées de mobilité grâce à des flagelles en position subpolaire ou latérale.

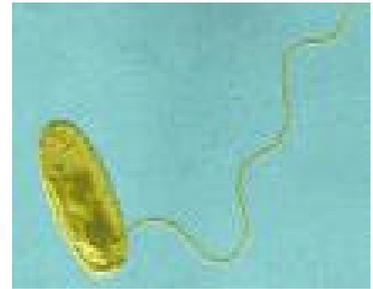


Figure 2 : Legionella pneumophila (flagelle)
(Source Cmssynergy)

Aérobies strictes, ces bactéries croissent sur milieu BCYE et ont besoin de fer et de CO₂ pour se développer [1].

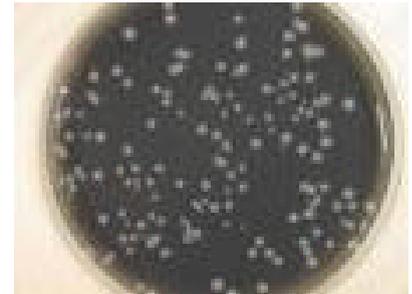


Figure 3 : Légionelles sur milieu BCYA (source : Rivm)

1.2.3 Milieu et conditions de développement

Les légionelles sont des bactéries hydro-telluriques (saprophytes ubiquitaires) retrouvées dans la plupart des milieux aquatiques. Elles sont présentes dans les eaux douces des lacs et des rivières et toutes les espèces cultivables décrites ont été mises en évidence dans l'environnement. En milieu naturel, elles sont généralement en faible quantité. Par contre, dans les systèmes humides créés par l'homme elles peuvent trouver des conditions de température et de pH très favorables à leur développement.

Ainsi, la température optimale de croissance de la bactérie est comprise entre 25 et 37 °C. Elle peut néanmoins se multiplier jusqu'à 43 °C, survivre en dessous de 20 °C avec un pH neutre ou légèrement acide. Pour des pH variant de 5,5 à 8,1, les extrêmes vont de 5 à 63°C. Vers 50 °C une destruction survient en quelques heures et le temps de destruction passe à quelques minutes à 60 °C [5]. Les légionelles peuvent rester sous forme dormantes dans les eaux froides et se remettre en phase de développement quand les conditions seront de nouveau favorables.

L'urbanisation favorise leur multiplication en créant de nombreux sites de stagnation d'eau chaude. Ainsi, elles sont retrouvées dans les réseaux de distributions d'eau chaude et dans les dispositifs employant l'eau (conduites, robinets, dispositifs de refroidissement, climatisation, appareils évaporatifs de type brumisateurs individuels, bains bouillonnants, fontaines décoratives, circuits avec recyclage d'eau. Ainsi plus de 50 % des réseaux de distribution d'eau à usage sanitaire sont colonisés par ces bactéries. Elles sont parfois retrouvées dans les sédiments, sols humides, boues et composts. [5], [2]. Il est intéressant de noter que *Legionella pneumophila* séro-groupe 1 est la bactérie

majoritaire dans l'environnement par rapport aux autres sérogroupes (70 à 90 % de prépondérance). Les sérogroupes 4, 2, 3, 6, et 5 sont également présents mais à des concentrations 10 à 10 000 fois plus faibles [3].

1.2.4 Facteurs favorisant le développement de la bactérie

Même en conditions idéales, la croissance des légionelles est lente : le temps de doublement est d'environ 4 heures et il faut 2 à 4 jours d'incubation pour mettre en évidence les colonies.

Mis à part la température et le pH, la croissance des légionelles est favorisée par la présence d'autres micro-organismes, l'existence de dépôts organiques, la présence de certains éléments minéraux et la présence de certains matériaux de contact.

- Existence de dépôts organiques

Ces dépôts (sédiments, vase et boue dans le milieu naturel, tartre et biofilm dans les canalisations) servent de nutriments à la bactérie. Le biofilm est le résultat de la colonisation des dépôts minéraux et organiques sur les surfaces en contact avec l'eau par les microorganismes présents dans cette eau. Il permet également à la légionelle de se protéger des traitements biocides.

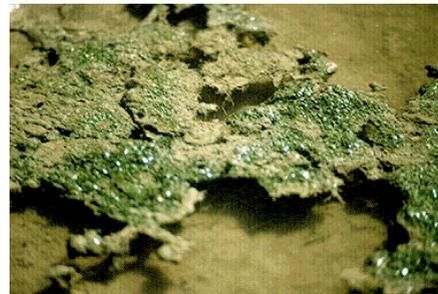


Figure 4 : Biofilm dans réseau d'adduction (Source Utqb)

- Présence de minéraux

A de faibles concentrations, le fer, le cuivre, le zinc, le calcium, le magnésium et le potassium sont des promoteurs du développement des légionelles. A des concentrations plus élevées (supérieures à 2mg/L), le cuivre, le zinc, l'argent et le brome ont une action inhibitrice.

- Présence de certains matériaux de contact

Certains matériaux comme le caoutchouc, le silicone, le PVC, le polyéthylène ont été mis en cause comme favorisant la présence des légionelles.

- Présence d'autres micro-organismes

Les cyanobactéries comme *Fischerella* peuvent être une source de nutriments. Les protozoaires (amibes du genre *Acanthamoeba*, *Hartmenella*, *Vahlkampfia*, *Naegleria*) constituent les hôtes naturels de la bactérie. Les amibes qui se développent dans les biofilms jouent le rôle de réservoir intracellulaire de légionelles. Elles semblent accroître

la virulence des souches qui s'y développent et permettent l'ensemencement du milieu après lyse amibienne. Comme 50 % des légionelles sont à l'état libre et 50 % à l'état intracellulaire, il y a souvent une sous-estimation du potentiel de contamination des réseaux d'eau par les légionelles.

Cachées dans les kystes d'amibe (formes de résistance et de propagation des amibes), les légionelles peuvent supporter de grosses variations de température et d'acidité, elles résistent à l'action des biocides et peuvent en outre diffuser à distance. Tout cela explique leur pouvoir de multiplication dans l'environnement par rapport aux difficultés de culture en laboratoire ainsi que leur résistance face aux mesures de désinfection. En effet, la concentration de chlore habituellement utilisée dans la désinfection de l'eau potable ne suffit pas pour éliminer les légionelles [2], [1].



Figure 5 : Amibe pouvant servir de réservoir aux légionelles (Source : Ustb)

1.2.5 Méthodes de mesure

Les normes de recherche de *Legionella pneumophila* dans les eaux sont la norme AFNOR NF-T 90-431 (1993) et la norme ISO 11731 (1998) [6].

Les méthodes de mesures les plus utilisées sont l'ensemencement puis la filtration sur membrane. L'étude porte généralement sur 1L d'échantillon. En ce qui concerne les eaux froides, un résultat négatif n'est pas significatif pour autant. En effet, plus de 99 % des légionelles présentes dans un échantillon sont viables mais non cultivables. Le seuil de détection de la méthode est de 50 UFC par litre d'eau. Dans l'air, les méthodes sont fondées sur la PCR (Polymerase Chain Reaction) après aspiration de l'air et passage sur différents types d'impacteurs. Il a été mesuré à proximité de douches environ 10 UFC/m³, avec 50 à 90 % des bactéries comprises dans un aérosol d'un diamètre compris entre 1 et 8 µm [3].

1.3 Les pathologies

1.3.1 Aspects cliniques

Le terme légionellose inclut trois formes cliniques distinctes provoquées par des bactéries du genre *Legionella* : la maladie des légionnaires, la fièvre de Pontiac et des formes extra pulmonaires aiguës. Le terme légionellose est souvent utilisé pour la maladie des légionnaires.

A) Maladie des légionnaires

La maladie des légionnaires est une infection pulmonaire aiguë responsable de 5 à 15 % des pneumonies communautaires de l'adulte. L'incubation dure de 2 à 10 jours. Elle se traduit par un état grippal fébrile et une toux initialement non productive. A ces symptômes peuvent s'ajouter des douleurs musculaires, une anorexie et quelquefois des céphalées, dyspnées, troubles digestifs et/ou un état confusionnel. L'état grippal



Figure 6 : Radiologie de poumon atteint de pneumopathie (Source Scielo)

s'aggrave rapidement et fait place à une pneumopathie sévère nécessitant une hospitalisation [2].

Le taux de létalité est de 15 à 20 % sans traitement spécifique, 5 à 10 % avec un traitement antibiotique adapté. Chez les malades en immunodépression, la létalité serait de 80 % sans traitement et de 24% avec un traitement adapté [7].

B) Fièvre de Pontiac

La fièvre de Pontiac est une légionellose non-pneumonique d'allure épidémique. C'est une affection pseudo-grippale, caractérisée par une forte fièvre, des frissons, des myalgies, des céphalées, des vertiges, de la diarrhée et éventuellement une obnubilation. Il n'y a pas de signes de pneumonie. L'incubation est de courte durée (1-3 jours) et l'évolution est favorable même sans traitement. Elle représente 95 % des cas [2].

C) Légionelloses extra-pulmonaires

Elles sont rares mais les manifestations cliniques sont dramatiques. Le site extra-pulmonaire le plus fréquent est le cœur avec des manifestations sous forme de myocardite, péricardite, ou endocardite sur valve prothétique. Des atteintes directes de l'appareil digestif par *Legionella* ont été décrites, responsables de péritonite, de colite nécrosante et de pancréatite. *Legionella* a également été impliquée dans des cas de sinusite et d'atteintes musculaires et cutanées [1].

1.3.2 Diagnostic

La légionellose est une maladie à déclaration obligatoire [8]. Les manifestations cliniques ne permettent pas dans la majorité des cas de distinguer la maladie des légionnaires des autres types de pneumopathie. Les critères de diagnostic sont donc très précis

- **Cas probable** : titre d'anticorps unique ou répété élevé >256 quelle que soit l'espèce, associé à des signes cliniques et/ou radiologiques de pneumopathie
- **Cas confirmé** : caractéristiques radiologiques et confirmation microbiologique
 - identification de *Legionella* par culture ou immunofluorescence directe dans un prélèvement clinique (expectorations, aspirations bronchiques)
 - présence d'antigènes solubles de *Legionella* dans les urines
 - séroconversion avec augmentation significative du titre d'anticorps de 4 fois avec un deuxième titre minimum de 128 pour *Legionella pneumophila* et 256 pour les autres espèces [3].

1.3.3 Modes de transmission et d'action

La voie de transmission la plus communément admise est l'inhalation d'aérosols infectieux capables d'atteindre l'alvéole pulmonaire. Cependant, l'infection directe à partir de la flore oro-pharyngée a été suspectée (intubations lors d'interventions chirurgicales, noyades), de même que la contamination par voie digestive après ingestion d'eau souillée. L'existence de porteurs sains et de contaminations inter-humaines n'a encore jamais été documentée.

Après pénétration de l'arbre bronchique profond, les légionelles se multiplient dans les macrophages alvéolaires. Par action enzymatique de la bactérie, les phagosomes éclatent et libèrent les légionelles qui envahissent les pneumocytes et provoquent une alvéolite fibrillo-purulente [3].

1.3.4 Notion de seuil

Le risque de contamination varie en fonction de l'état immunitaire des personnes exposées, de la durée d'exposition et de la richesse des aérosols contaminés. Il n'existe pas vraiment de seuil de concentration dans un aérosol au delà duquel un risque infectieux ait pu être défini mais il est apparu nécessaire de fixer des seuils pour mettre en oeuvre une démarche de prévention. Le seuil de 10^3 UFC/L dans l'eau correspond au seuil critique du risque de contracter la forme grave. Ainsi, la concentration en *Legionella* de 10^3 UFC/L correspond à une valeur au-delà de laquelle de nombreuses épidémies ont été décrites [1]. S'il n'existe pas de seuil sanitaire officiellement reconnu, il existe des seuils d'alerte et d'action obligatoires. Par exemple, en établissement thermal, la valeur de 10^2 UFC/mL entraîne un suivi attentif de la situation. Quand cette valeur passe à 10^3 UFC/mL, des mesures correctrices doivent être mises en place [9]. Cependant, il n'a pas encore été scientifiquement prouvé que la concentration des légionelles dans l'eau soit liée à celle dans l'aérosol.

1.3.5 Traitement

Un traitement symptomatique est suffisant pour traiter la fièvre de Pontiac. Pour la maladie des légionnaires, seuls les antibiotiques à bonne pénétration intracellulaires sont efficaces. L'érythromycine, à dose élevée et par intraveineuse a longtemps été considérée comme le traitement de choix. Les macrolides sont également administrés pendant 2-3 semaines. En raison de sa meilleure tolérance et de l'action bactéricide, la clarithromycine est désormais préférée à l'érythromycine. Les fluoroquinolones sont de plus en plus utilisés. Ils montrent *in vitro* une meilleure activité bactérienne que l'érythromycine [2].

1.3.6 Données épidémiologiques

A) Nombre de cas et incidence

Pour la forme la plus classique de légionellose, le taux d'attaque est en moyenne de 1,5%. Pour la forme « fièvre de Pontiac », il est de l'ordre de 95 à 100 % [4]. L'incidence des légionelloses est difficilement calculable avec précision du fait d'une sous déclaration des cas. De plus, de nombreux cas ne sont pas identifiés du fait de la non spécificité des symptômes. Ainsi l'incidence de la légionelle en France en 1995 était de l'ordre de 0,6 cas par million en se basant sur la déclaration et 5 cas par million en se basant sur le nombre de cas estimé en laboratoire [1].

Cependant, on observe une nette amélioration depuis 1997 (le nombre de cas déclarés a augmenté de 29 % par an depuis cette date) [10].

En France, pour l'année 2004, 1202 cas de légionellose ont été notifiés à l'InVS par le procédé de déclaration obligatoire [11]. En 2003, il y en avait 1044. L'incidence était de 1,8 cas pour 100 000 habitants. Elle est supérieure à l'incidence européenne de 1 pour 100 000 habitants. C'est l'Espagne qui atteint l'incidence la plus élevée avec 2,9 cas pour 100000 habitants [10]. La notification des cas est saisonnière, ainsi les pics de déclaration concernent souvent la période de juin à septembre.

B) Létalité observée en France de 2000 à 2003

En 2003, sur les 1044 cas déclarés à l'InVS, 90 % ont été suivis. La létalité était de 14%, à comparer aux 13% de 2002, 19,9 % de 2001 et 25 % de 2000 [10].

C) Origine de la contamination

En 2003, 11 % des légionelloses était d'origine nosocomiale, 31% d'origine communautaire (dont 12% de cas groupés), 2% liés aux voyages et 3% liés au travail

(toute personne utilisant de l'eau pulvérisée à l'air libre (mineurs, laveurs de voitures, ravalement de façades, pompiers) [12].

1.3.7 Système de surveillance

A) France

La légionellose est une maladie à déclaration obligatoire en France depuis 1987. Jusqu'en 1997, on estime que seulement 10% des cas ont été déclarés. Depuis cette date, le nombre de cas déclarés ne cesse d'augmenter avec une augmentation annuelle de 24%. De plus le délai médian de signalement à la Ddass a nettement diminué passant de 29 jours en 1998 à 8 jours en 2004 ; 63% des cas sont maintenant signalés dans la période d'incubation permettant une meilleure réactivité des autorités sanitaires. [11]

B) Europe

Il existe un réseau européen de surveillance des légionelloses acquises lors des voyages, le réseau EWGLI.

À ce jour, 31 pays sont membres de ce réseau dont l'objectif est l'identification des cas groupés. Il y a un signalement des cas de légionelloses ayant voyagé pendant les 10 jours précédant le début de la maladie. Une transmission est faite aux autres membres de réseau et au ministère de la santé concerné.

1.3.8 Facteurs de risques personnels

Les facteurs de risque les plus fréquemment retrouvés sont :

- l'âge : la légionellose peut s'observer à tout âge, cependant l'incidence augmente avec l'âge, variant de moins de 2/100 000 chez les hommes de 30 à 39 ans à plus de 12/100 000 chez les hommes de plus de 80 ans. La maladie est très rare chez l'enfant ; les cas pédiatriques relevés dans la littérature concernent des enfants sévèrement immunodéprimés (cancer, hémopathie maligne, transplantation rénale)
- le sexe masculin (les hommes sont 2,5 fois plus atteints que les femmes)
- le tabagisme
- l'alcool
- les broncho-pneumopathies chroniques
- le diabète
- les insuffisances respiratoires, cardiaques et rénales
- la chirurgie, le stress opératoire
- l'immunodépression (cancer ou hémopathie, thérapies immunosuppressives (corticothérapie, immunosuppresseur, chimiothérapie cytotoxique).

Les principaux facteurs sont l'immunodépression, le diabète et le tabagisme [3].

Tableau 1 : Facteurs favorisant parmi les cas de légionellose déclarés, en France, 2000-2003 [12]

Facteurs favorisant	2000		2001		2002		2003	
	Nombre de cas	%						
Cancer/hémopathie	81	13	90	11	114	11	101	10
Corticoïdes / immunosuppresseurs	78	13	98	12	112	11	96	9
Diabète	67	11	78	10	118	11	117	11
Tabagisme	244	40	319	40	422	41	439	42
Autres	128	21	170	22	210	20	225	22

1.3.9 Facteurs d'exposition

A) Voie d'exposition

La voie d'exposition mise en cause dans les infections à *Legionella pneumophila* est la voie respiratoire. Le mode de transmission le plus souvent évoqué est l'inhalation d'eau contaminée, diffusée en aérosols.

Dans un premier temps, les microgouttelettes d'eau constituant l'aérosol transitent après inhalation dans le tractus respiratoire. Dans un second temps, les microgouttelettes sont fixées par l'épithélium broncho alvéolaire selon trois mécanismes (impaction par inertie aux bifurcations respiratoires, sédimentation et diffusion) [3].



Figure 7 : Aérosol
(Source Artmist Medical)

B) Infectiosité des aérosols

Elle est liée aux caractéristiques de l'aérosol (avec la taille des gouttelettes comme vu précédemment), à la concentration en légionelles dans l'eau et à la survie des légionelles dans l'aérosol.

- **Taille des gouttelettes**

Elles sont arrêtées plus ou moins tôt selon leur diamètre : sphère ORL pour celles supérieures à 5 µm, pénétration trachéobronchique pour des microgouttelettes de diamètre de 3 à 5 µm, pénétration pulmonaire profonde pour une taille inférieure à 3 µm [3].

Ainsi, les particules de diamètre inférieur à 5 μm atteignent les alvéoles pulmonaires. La bactérie *Legionella sp* mesurant 0,3 à 0,9 μm de diamètre pour une longueur de 2 μm , les gouttes doivent montrer un diamètre d'au moins 2 μm pour les contenir [13].

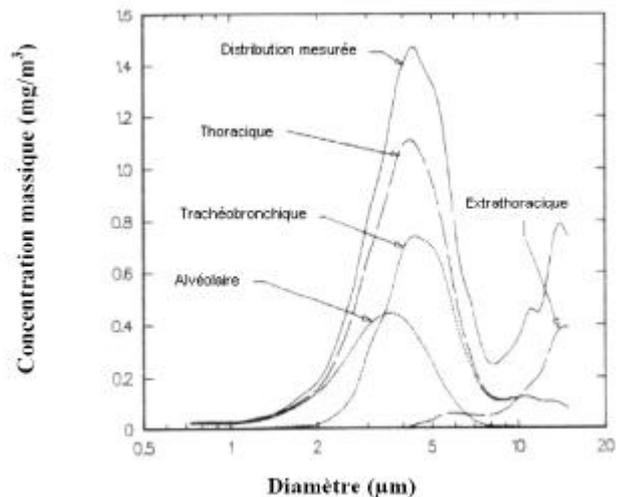


Figure 8 : Fraction de gouttelettes aérosolisées atteignant le tractus respiratoire [13]

- **Stabilité des gouttelettes**

La stabilité dépendrait de la température et de l'humidité relative, [13]. A 100% d'humidité, les gouttes gardent le même diamètre. Elles s'évaporent quand l'humidité relative diminue.

- **Vitesse de sédimentation des gouttelettes**

La vitesse de chute est fonction de la gravité et de la taille des gouttelettes. Une gouttelette de 10 μm sédimente à 0,3 cm/s alors qu'une gouttelette de 5 μm sédimente à 0,08 cm/s [13].

- **Distance d'aérosolisation**

Elle peut être très importante, ainsi une particule de 1 μm peut être transportée sur 170 km et une de 5 μm sur 7 km, fonction de la vitesse du vent, des précipitations, de la turbulence, mais aussi de la hauteur initiale d'émission.

Cependant, les aérosols infectieux ne peuvent être transportés que sur de courtes distances, en effet, tout dépend de la survie de la bactérie. Un aérosol contaminé qui atteint 170 km avec une bactérie détruite ne sera plus infectieux [13].

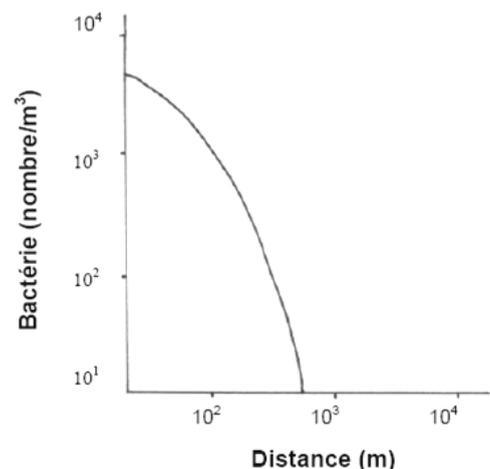


Figure 9 : Variation des particules aérosolisées en fonction de la distance [13]

- **Survie de la bactérie**

Elle dépend des conditions de croissance, des conditions de dispersion, du milieu de croissance, de la présence d'ultraviolets, de

présence de poussière et surtout de la température et de l'humidité relative. En effet, la meilleure stabilité se retrouve à 60 % d'humidité relative et à 20 °C. La faible tenue dans une atmosphère à 30 % serait due à la toxicité de l'oxygène pour la bactérie [13].

Certaines études ont montré que la plupart des bactéries aérosolisées restent viables au moins 4 heures après aérosolisation si la goutte ne s'évapore pas ce qui n'est pas le cas des brumisateurs [13].

La légionelle aérosolisée doit donc pour survivre, trouver des conditions favorables. De plus pour être infectieuse, elle doit trouver un sujet sensible et parvenir à pénétrer son arbre bronchique. En effet, tous les mouvements respiratoires de la personne exposée ne donnent pas lieu à l'inhalation d'agents. Ainsi, il faudrait 227 minutes de respiration de l'air d'une douche produisant un aérosol contaminé pour inhaler une cellule bactérienne [13].

C) Sources d'exposition

L'aérosolisation de l'eau nécessaire à l'inhalation des légionelles s'observe dans différents types de situation :

- systèmes de traitements de l'air (climatiseurs et tours aéroréfrigérantes)
- eaux thermales
- instillation directe dans l'arbre bronchique
- piscines, bains à remous
- eau à usage domestique : douches, systèmes d'humidification et de brumisation produisant des aérosols [2]

Il serait intéressant de voir si ces systèmes de brumisation présentent les conditions favorables au développement de la légionelle. Nous nous intéresserons spécifiquement au fonctionnement du brumisateur et plus particulièrement à son utilisation en élevage.

1.4 Actions de prévention de la légionellose en France

1.4.1 Recommandations

Les recommandations reposent sur plusieurs textes réglementaires :

- ✚ Le décret n° 94-352 du 4 mai 1994 (prévention du risque biologique pour les travailleurs). Ce décret est relatif à la prévention du risque biologique pour les travailleurs. *Legionella* est un agent biologique pathogène du groupe 2, dont la définition est la suivante : « agent pouvant provoquer une maladie chez l'homme et

constituer un danger pour les travailleurs, sa propagation dans la collectivité est peu probable ; il existe généralement une prophylaxie ou un traitement efficace » [14].

- ✚ La circulaire DGS n° 97/311 du 24 avril 1997 relative à la surveillance et à la prévention de la légionellose : elle donne des outils techniques aux professionnels de la santé en fixant les étapes de l'investigation et les grandes lignes de prévention (règles de bonne pratique d'entretien et mesures de lutte dans les circuits d'eau chaude sanitaire, climatisations, bains à remous) [15]
- ✚ La circulaire DGS/VS4/98/771 du 31 décembre 1998 sur la mise en œuvre de bonnes pratiques d'entretien des réseaux dans les établissements de santé et les moyens de prévention du risque lié aux légionelles dans les bâtiments recevant du public contenant des installations à risque [16] .
- ✚ L'arrêté du 19 juin 2000 (établissements thermaux) Cet arrêté est relatif au contrôle des sources d'eaux minérales [17].
- ✚ La circulaire DGS/SD7A/SD5C/DHOS/E4 n°2002/243 du 22 avril 2002
- ✚ La Circulaire DGS n° 2002/273 du 02/05/02 relative à la diffusion du rapport du Conseil Supérieur d'Hygiène Public de France relatif à la gestion du risque lié aux légionelles [18].

1.4.2 Techniques de désinfection

Il existe deux types de traitement : la désinfection **choc** et la désinfection **continue**.

La désinfection choc peut se réaliser par choc thermique (attention à la capacité de résistance du réseau) ou par hyperchloration (100 ppm pendant 3 h, 50 ppm pendant 6h).

La désinfection continue suppose le respect de la qualité de l'eau ; chloration à 2 mg/L pour *Legionella* dans le biofilm, ozonation ou UV [9].

2 LES SYSTEMES DE BRUMISATION

2.1 Présentation

2.1.1 Principe du refroidissement par brumisation

La brumisation haute pression (pression de fonctionnement > 50 bars) consiste à amener dans l'air de fines gouttelettes d'eau qui seront très rapidement évaporées. Cette technique, notamment utilisée pour refroidir l'air ambiant, repose sur le phénomène de refroidissement adiabatique (c'est-à-dire sans échange d'énergie avec l'extérieur) de l'air par évaporation d'eau.

Lorsque de l'eau est pulvérisée en fines gouttelettes dans un local, sans qu'il y ait apport de chaleur en même temps, l'énergie nécessaire à l'évaporation de cette eau est retirée à l'air ambiant qui est donc refroidi. Le refroidissement s'effectue approximativement de façon parallèle aux courbes adiabatiques du diagramme psychrométrique.

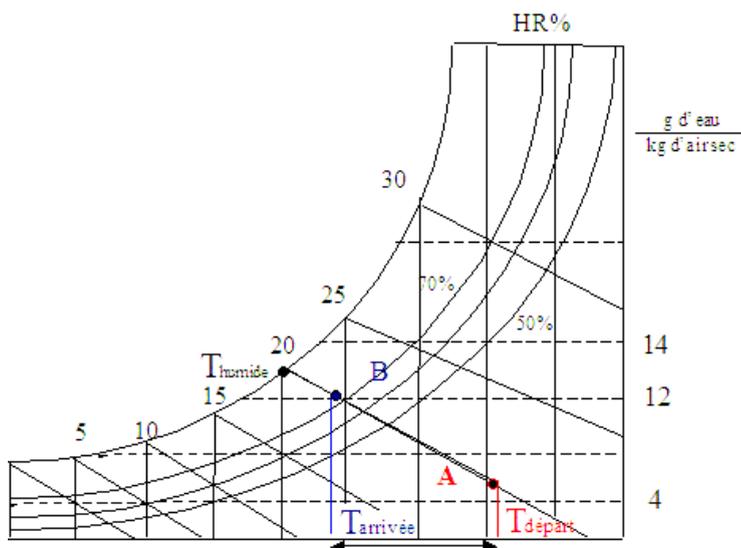


Figure 10 : Exemple de diagramme psychrométrique [24]

En partant de ce principe, il est possible de connaître la quantité d'eau nécessaire à brumiser pour refroidir un local, en fonction du volume d'air ventilé, de la température souhaitée mais également du degré hygrométrique souhaité.

La brumisation modifie la température de l'air ambiant mais également son humidité. L'air est en effet plus ou moins humide suivant la vapeur d'eau qu'il

contient. La vapeur d'eau contenue dans l'air est exprimée sous 2 formes : humidité absolue et humidité relative :

- L'humidité absolue est la masse de la vapeur d'eau ou le poids d'eau contenu dans 1 kg d'air sec ou 1 m³ d'air sec. Ce poids d'eau reste constant lorsque la température ambiante varie sous réserve qu'elle ne tombe pas en dessous de la température de rosée. Si la température tombe en dessous du point de rosée, une partie de cette masse d'eau va se condenser sous forme de gouttelettes sur les parois les plus froides (vitres des fenêtres par exemple).

- L' humidité relative ou degré hygrométrique est généralement exprimé en %. L'humidité relative représente le rapport entre le poids d'eau (P) contenu dans 1m³ d'air déterminé et le poids d'eau maximum (Ps) que cet air pourrait contenir à la même température, s'il était saturé. La saturation correspond à une humidité relative de 100%.

$$\%Hr = P / Ps \times 100$$

L'air ambiant peut contenir très peu d'eau et paraître humide ou au contraire en contenir beaucoup plus et donner l'impression d'être sec. Cette sensation d'air sec ou humide est principalement dépendante de la température ambiante. Le poids d'eau nécessaire à la saturation d'un m³ d'air augmente très vite avec la montée en température (voir Tableau 2). La température est un élément essentiel dont on doit tenir compte pour tout calcul.

Tableau 2 : Influence de la température sur l'hygrométrie, [20]

Température	-10°	-5°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
Quantité d'eau g/m ³ à 50% Hr	1	2	2,2	3,3	4,6	6,3	8,5	11,5	15
Quantité d'eau g/m ³ à 100% Hr (saturation)	2	3	4,4	6,6	9,2	12,6	17	23	30

Exemple d'utilisation du diagramme psychrométrique

Pour un bâtiment de 1000 m², avec une ventilation de 160 m³/m²/h, et une température maxi en été de 34°C et 38% d'hygrométrie relative, supposons que la température souhaitée soit de 26°C avec un taux Hr maxi de 75%.

D'après le diagramme ci-dessous, on constate:

- à 34°C et 38% Hr chaque m³ d'air contient: 12,75 grammes d'eau
- à 26°C et 75% Hr chaque m³ d'air peut contenir 16 grammes d'eau

Par conséquent, l'apport d'eau nécessaire pour le refroidissement est de :

$$(16-12,75) \times 160 \times 1000 = 520 \text{ l/h d'eau}$$

Dans un système de brumisation haute pression, on souhaite obtenir un brouillard de qualité, c'est à dire constitué de gouttelettes les plus nombreuses et petites possibles, afin d'obtenir une surface d'échange avec l'air maximale. Pour ce faire, l'eau est mise sous forte pression (de 70 à 110 bars) et accumule ainsi une énergie potentielle importante. Cette énergie est utilisée à la sortie de la buse pour "éclater" la veine d'eau en une multitude de microgouttelettes. On parle alors d'atomisation hydraulique, par opposition à l'atomisation pneumatique ou ultrasonique.

Il existe en effet d'autres systèmes qui permettent de pulvériser de l'eau sous forme de microgouttelettes. On peut notamment citer :

- Les systèmes de pulvérisation à ultrasons : ils se composent pour l'essentiel d'un convertisseur piézo-électrique qui transforme un signal électrique en une oscillation mécanique de haute fréquence. Appelé aussi transducteur il est placé au fond d'un réservoir d'eau. L'inertie de l'eau ne pouvant suivre la fréquence de vibration du transducteur, il se produit un phénomène de cavitation qui engendre la formation de micro-bulles. Le débit de ces appareils est faible et leur emploi est pratiquement limité aux vitrines réfrigérées, ils génèrent des gouttelettes extrêmement fines (de l'ordre de quelques microns). L'eau d'alimentation doit être de très bonne qualité et si possible déminéralisée.
- Pulvérisateurs à buses bi-fluides : comme leur nom l'indique les buses d'atomisation utilisent deux fluides, l'eau et l'air comprimé. L'air comprimé permet de générer un brouillard très dense de fines gouttelettes. Les pressions d'eau et d'air réglables par une armoire de contrôle permettent d'ajuster la finesse du brouillard. Bien que les atomiseurs pneumatiques soient équipés d'une aiguille de débouchage, l'eau doit être parfaitement filtrée. Ils sont faciles à mettre en œuvre, les coûts de fonctionnement sont faibles mais la consommation d'air n'est pas négligeable. Ils peuvent être installés soit dans des caissons de conditionnement d'air ou bien directement dans les locaux à traiter. L'absence de

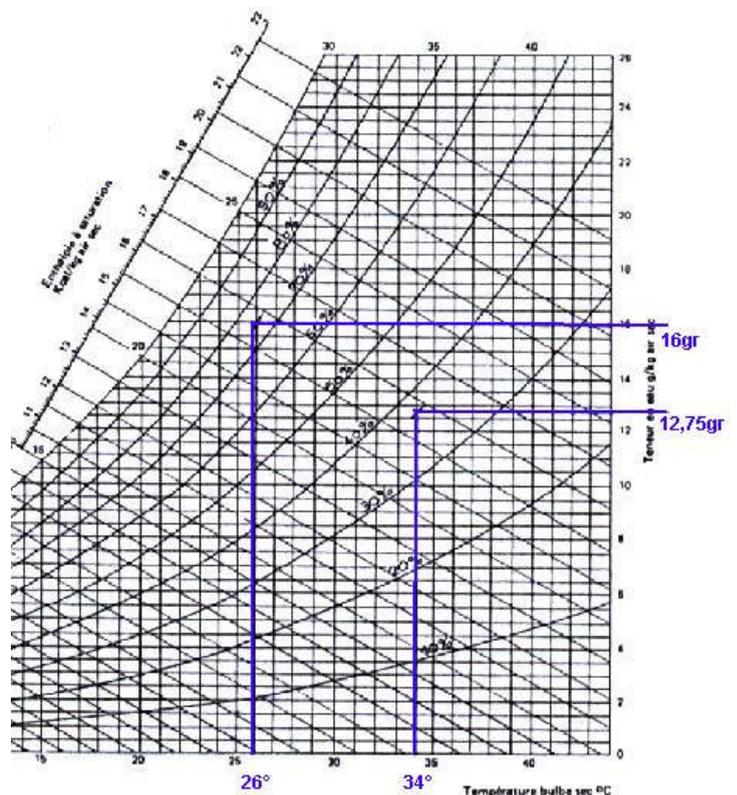


Figure 11 Exemple d'utilisation du diagramme psychrométrique, [20]

réserve d'eau évite la contamination de l'eau. Il existe également dans cette catégorie des atomiseurs soniques : le mélange air/eau est effectué dans un venturi puis éjecté de l'orifice de sortie à grande vitesse et vient percuter un résonateur, provoquant des ondes de choc à fréquences élevées. Le champ d'énergie sonore ainsi formé éclate le mélange air/eau en micro-gouttelettes. Ce type de dispositif est utilisé dans les travaux nécessitant une grande précision de brumisation.

Dans le cadre de cette étude nous nous intéresserons spécifiquement aux systèmes de brumisation haute pression, mono fluides (sans introduction d'air) qui sont mis en œuvre dans les élevages. Toutefois des parallèles peuvent être établis entre ces différents types de système.

2.1.2 Applications

La technique de refroidissement de l'air par brumisation à haute pression est utilisée pour de multiples applications dans différents domaines [19 – 29].

A) Domaine industriel

a) *Refroidissement de grands volumes*

La brumisation haute pression est une solution efficace pour assurer un rafraîchissement significatif et un maintien d'hygrométrie contrôlé dans des locaux de grandes dimensions non climatisables par les systèmes thermodynamiques classiques. Cette technique est particulièrement adaptée aux bâtiments et locaux abritant des matériaux ou procédés qui nécessitent une hygrométrie contrôlée (industrie textile,...) mais fonctionne aussi très bien pour des locaux soumis à de fortes élévations de température notamment en période de fort ensoleillement (bâtiments de stockage, grands halls, patios, usines,...).

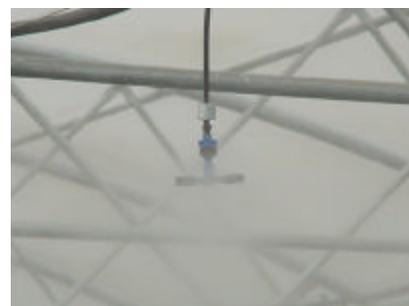


Figure 12 : Exemple de refroidissement par brumisation
(Source TBD)[23]

b) *Rabattement de poussières*

La concentration de poussières en suspension dans l'air est soumise à une réglementation vis à vis du code du travail. Ainsi même quand il s'agit de poussières sans effets spécifiques pour la santé on retiendra une Valeur Moyenne d'Exposition (V.M.E.) liée à la durée d'exposition. Pour une durée de huit heures la valeur moyenne d'exposition est fixée à 10 mg/m³.

S'il n'existe aucune formule permettant de déterminer le taux de poussières en suspension dans l'air en fonction de l'hygrométrie ambiante, on peut facilement démontrer que lorsque l'hygrométrie est élevée le taux de poussières en suspension diminue. Donc, même si des Equipements de Protection Individuelle (EPI) existent pour se protéger des poussières en suspension (masques individuels,..) un



Figure 13 Rabattement de poussière par brumisation en centre de tri

Source : ValCo [19]

un rabattement des poussières au sol constitue une action préventive efficace sur l'ensemble d'un local. La brumisation haute pression permet de réaliser ce rabattement de façon satisfaisante par exemple au sein du centre de tri sélectif du Jura [19, 20].

c) *Traitement d'odeurs*

Pour le traitement d'odeurs on distingue les produits masquants et les destructeurs d'odeurs qui sont seuls susceptibles de véritablement résoudre les problèmes de nuisances olfactives et de toxicité. Ces derniers réagissent de façon moléculaire et irréversible avec les composés organiques malodorants (NH₃, H₂S, mercaptans, acides gras etc...) en créant des sels inertes, stables et solubles dans l'eau.



Figure 14 Traitement d'odeurs par brumisation Source : ValCO [19]

La brumisation haute pression permet d'obtenir une surface d'échange optimale en générant un brouillard actif très fin et une cinétique de réaction très rapide. Elle est particulièrement adaptée pour le traitement d'effluents gazeux issus de cheminée d'extraction, de conduites d'évacuation, de locaux fermés vides ou habités ou de surfaces à l'air libre. Ce procédé est particulièrement utilisé dans toutes les industries liées au traitement des déchets.

d) *Refroidissement de process industriels*

La température de l'air ambiant est souvent directement liée aux performances de process industriels. Leurs performances sont ainsi amoindries de façon sensible en période de fortes chaleurs. La brumisation haute pression améliore de façon significative les performances des aérocondenseurs et aéroréfrigérants ainsi que des turbines à gaz : les rendements de ces process industriels sont directement liés à la température extérieure.

e) *Autres industries*

La brumisation est également utilisée dans d'autres domaines. On peut citer par exemple l'alimentaire : conditionnement, stockage et exposition de produits frais pour la maîtrise de l'humidité (produits de la mer, fruits et légumes, vinothèques, caves...), l'industrie plastique qui utilise la brumisation pour ses propriétés de suppression de l'électricité statique, la poterie, qui utilise la brumisation pour un meilleur contrôle du séchage.

B) Horticulture

Les systèmes de brumisation haute pression sont particulièrement utilisés dans le domaine des cultures sous serres pour maintenir un taux d'hygrométrie et abaisser la température. En effet, les plantes supportent mieux les élévations de température si le taux d'hygrométrie est élevé. En outre, le brumisateur peut également dans ce cas être utilisé pour diffuser tout produit de traitement soluble dans l'eau. La distribution du produit dans la serre peut alors être optimisée puisqu'il est réparti en quelques instants de façon homogène.



Figure 15 Brumisation sous serre horticoles. Source: Prime Tech [28]

C) Rafraîchissement extérieur et autres applications

Il existe de multiples applications de la brumisation pour le rafraîchissement extérieur sous diverses formes. Pour des installations en extérieur, le système de brumisation peut apporter une sensation de fraîcheur, qui sera d'autant plus importante que l'air environnant sera chaud et sec. Il existe maintenant des systèmes adaptables aux terrasses extérieures, avec possibilité de couplage avec un système de ventilation [28].



Figure 16 "Effet de brouillard" par brumisation Source: ValCo [19]

D'autres applications sont plus inattendues : les brumisateurs sont utilisées pour des « effets spéciaux » en extérieur (effet de brouillard artificiel). Cette forme de brumisation est par exemple utilisée dans des golfs, des parcs d'attraction, des parcs aquatiques, des piscines...

D) Domaine de l'élevage

C'est le domaine qui sera particulièrement développé dans cette étude. La brumisation haute pression est utilisée dans le domaine de l'élevage de petits animaux (volailles, lapins, ou porcs..), essentiellement pour lutter contre les coups de chaleur. Le refroidissement de l'air est



Figure 17 Brumisation en élevage

Source: Prime Tech [28]

en effet une technique primordiale lors des périodes de fortes chaleurs, afin d'éviter les mortalités accidentelles d'animaux et les pertes économiques liées. Il doit impérativement être couplé à un système de ventilation dynamique (*Voir 2.3.2 B*) . L'avantage du système de brumisation par rapport à d'autres systèmes de refroidissement (arrosage extérieur, pulvérisation basse pression) réside dans son efficacité. Le brouillard très fin créé par le système est immédiatement repris par les circuits d'air et vaporisé, ainsi toute l'eau consommée est efficace ce qui permet de substantielles économies d'eau [30]. Ce système est de loin le plus efficace pour refroidir l'air en cas de forte chaleur, en revanche il réclame un investissement plus important. La qualité de l'eau est primordiale dans ce type d'installation. Enfin, la brumisation influant également sur l'hygrométrie ambiante, il est primordial de surveiller ce paramètre en même temps que la température. Tous ces aspects seront développés dans cette étude, dans le cas des systèmes de brumisation utilisés dans le domaine de l'élevage avicole et en particulier dans le département des Côtes d'Armor. Les services sanitaires de ce département sont en effet à l'origine de cette étude et avaient préalablement établi des contacts privilégiés.

2.2 Les différents éléments techniques d'un système de brumisation à haute pression

Il existe différents fabricants de brumisateurs et différents systèmes. Les systèmes que nous avons pu étudier sur le terrain ou sur documentation technique sont fabriqués par les entreprises B.R.O. Micromist, PNR France, Vallorbs Techni Brume Diffusion (TBD), Tuffigo, Dutrie, Prime Tech [19 – 29]. Il en existe d'autres, et de nouveaux acteurs apparaissent régulièrement dans un secteur qui est en plein essor du fait des nombreuses applications possibles et d'une demande croissante notamment en climatisation extérieure après l'épisode de la canicule 2003. Dans le domaine de l'élevage, la configuration des systèmes varie peu, si ce n'est au niveau de la technologie des buses de pulvérisation (*Voir 2.2.4*). Il s'agit généralement de système de brumisation haute pression mono fluides. Le système présenté ici peut donc être considéré dans son principe général de fonctionnement comme celui qui est utilisé par une majorité d'éleveurs en France, et les quelques différences qui

peuvent exister sur certains composants sont généralement signalées.

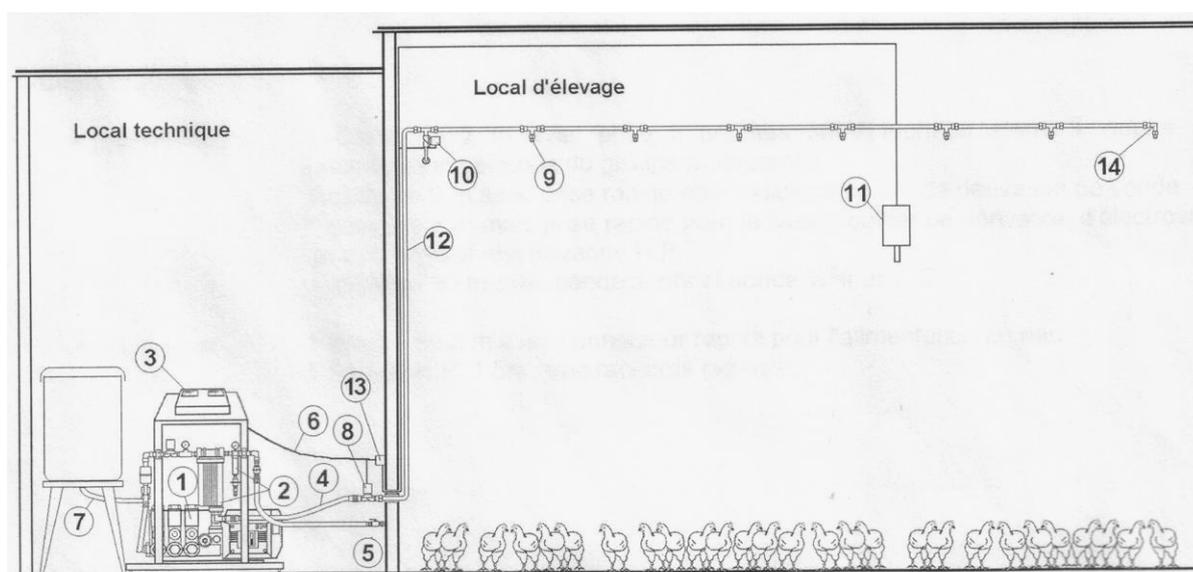


Figure 18 Schéma de principe d'une installation de brumisation, Source:PNR France, Document technique

1	Groupe motopompe	8	Electrovanne H.P. de commande O/F
2	Ensemble de filtration 100 μ et 5 μ	9	Té avec filtre/clapet et buse
3	Automate programmable	10	Té avec électrovanne H.P. de décharge
4	Flexible H.P. de liaison pompe/rampe	11	Sonde %Hr et T°C
5	Flexible B.P. d'arrivée d'eau	12	Rampe inox H.P.
6	Alimentation électrique, prise à 5 broches	13	Boîte de liaison électrique
7	Tuyau d'alimentation produits	14	Coude dernière buse

2.2.1 La machine (groupe motopompe)

Il s'agit d'une pompe à pistons, haute pression (de 50 à 110 bars), adaptée aux problèmes de pulvérisation ou d'atomisation des liquides. Elle est en principe dotée d'un régulateur de pression, d'une dérivation, d'un disjoncteur thermique et d'un dispositif anti coup de bélier. Elle est alimentée électriquement. Les débits sont modulables, de 0,2 à 1,2 m³/h, suivant les modèles.

2.2.2 La filtration principale

Les kits de brumisation sont généralement dotés d'un pré filtre à 100 μ m et d'un filtre à 5 μ m.

Le premier est constitué autour d'un tamis de grande capacité afin d'arrêter un grand nombre d'impuretés. Un robinet en partie basse permet d'éliminer ces impuretés. Ce genre de filtre est doté d'un manomètre pour contrôler la pression d'alimentation du



Figure 19 Filtre de brumisateur
Source: Prime Tech

réseau d'eau. La pression maximale supportée est de l'ordre de 16 bars et le débit de 25 l/min (=1,5 m³/h) environ avec une cartouche propre.

Le filtre de 5 µm peut être par exemple un filtre polypropylène équipé d'une cartouche grande capacité "bobinée" en polypropylène-coton. Pour ce genre de filtres (type AMEFP10) la pression maximale de service est de 8,75 bars et le débit de 17 l/mn (=1,02 m³/h) avec une cartouche propre.

La qualité de l'eau étant essentielle au bon fonctionnement de l'installation, les filtres très fins doivent en principe être entretenus régulièrement. Les constructeurs préconisent en particulier un changement régulier de la cartouche du filtre 5 µm (tous les 3 à 6 mois d'utilisation). En effet ce genre de cartouche n'est pas nettoyable et une cartouche trop encrassée "peut se désagréger en minuscules particules et entraîner des bouchages dans les tuyauteries et les buses"[31].

Enfin, les constructeurs proposent généralement la mise en place de dispositifs anti-calcaire à la demande, en cas de charge excessive de l'eau d'alimentation en calcaire.

2.2.3 La tuyauterie

Les raccords et tubes de l'installation de brumisation peuvent être de différentes natures. Ils sont spécialement dimensionnés et calibrés pour une utilisation en haute pression.

On rencontre des tubes en Inox (304L, 316L, 316Ti) ou en PVC. Les systèmes les meilleurs en terme de fiabilité et de durée de vie (donc les plus coûteux) sont ceux

qui utilisent des tuyaux en inox. Les rampes ne sont généralement pas démontables aisément pour une opération de nettoyage par exemple.

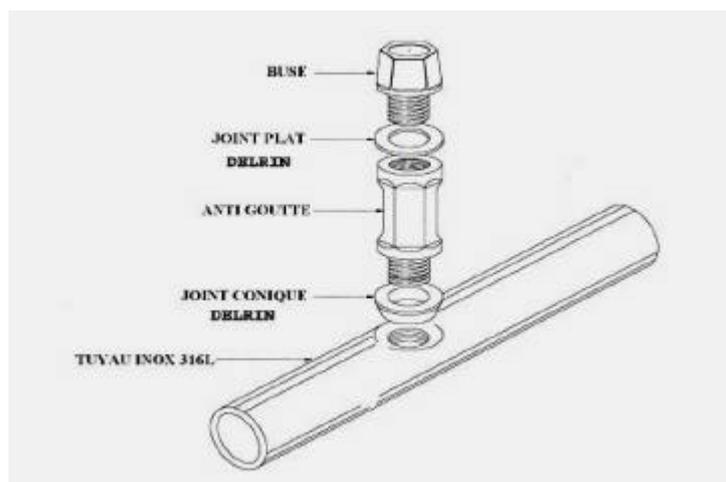


Figure 20 Exemple de fixation de buses sur la tuyauterie,
Source BRO Micromist

2.2.4 Les buses de pulvérisation

C'est dans ce domaine que les constructeurs se différencient le plus. Le rôle des buses de pulvérisation est crucial puisque de leur bon fonctionnement dépend la taille des gouttelettes pulvérisées, et par conséquent la qualité du brouillard, donc du refroidissement.

On distingue deux éléments: la buse d'atomisation elle-même et le dispositif sur lequel

elle est fixée, qui comprend généralement un système anti-gouttes, un clapet anti-retour, et dans certains cas un filtre intégré, visant à assurer une dernière protection de la buse contre les dépôts éventuels dans les rampes entre le groupe motopompe et les buses.

A) Buses d'atomisation

Les buses de diffusion sont différentes suivant les constructeurs. On distingue en particulier les diffuseurs comprenant une chambre de pressurisation (à gauche sur la figure) des atomiseurs "à impact".

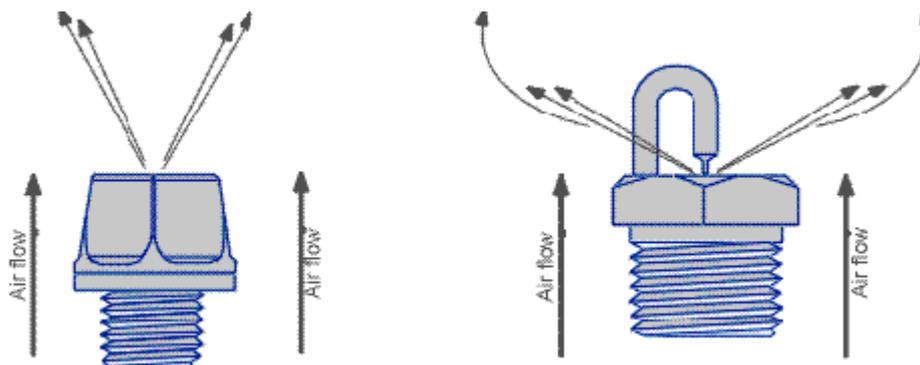


Figure 21: Différents types de buse, Source: Micromist

Dans le premier cas, il existe différents systèmes. De façon générale, le passage de l'eau est forcé à travers un vortex ou sur un cylindre, puis vers un orifice calibré ce qui permet d'obtenir un micro-brouillard de façon satisfaisante.

Dans le second cas, l'eau à haute pression passe en force à travers un orifice de petite taille et vient buter contre une aiguille dont la forme spéciale permet la création de micro-gouttelettes.

Les orifices des atomiseurs hydrauliques sont toujours de faible section et de ce fait la filtration doit être parfaite car les risques de bouchage sont importants.

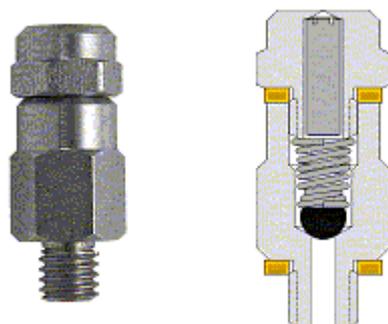


Figure 22 Exemple de buse et constitution interne, Source: ValCo

De manière générale, on sait qu'il existe de multiples configurations des buses d'atomisation, mais il n'est pas facile d'obtenir des informations précises sur le design des atomiseurs hydrauliques de chaque constructeur, qui veille à garder ses secrets de fabrication. L'efficacité de tel ou tel procédé est actuellement débattue.

Il semble cependant que dans le domaine de l'élevage, les buses à impact ne soient pas très répandues. Aujourd'hui cette

technologie tend à être dépassée par les atomiseurs à chambre de pressurisation qui ont plusieurs avantages [21]: diamètres des gouttelettes plus petits et plus constants, meilleure directivité, meilleure efficacité, conception plus solide...

B) Filtre/clapets anti-gouttes

En matière de brumisation dans l'élevage, il faut absolument éviter de mouiller la litière ou les animaux. A cet effet, un dispositif permet d'éviter le gouttage des buses lors de chaque arrêt du système. Là encore, les systèmes diffèrent suivant les constructeurs. Certains proposent un clapet qui fait également office de filtre ultime intégré à la buse afin d'éviter son encrassement. Ce système permet de protéger la buse, de prolonger sa durée de vie, notamment en cas de défaillance de la filtration principale et évite des pertes d'eau.

Le clapet s'ouvre à partir d'une certaine pression, de l'ordre de 6 bars.

2.2.5 L'automate

Les systèmes de brumisation sont proposés avec un automate qui permet la mise en

route, la régularisation et le contrôle du système. Cet automate est relié à une sonde de température et d'humidité relative. En position manuelle, il permet l'émission de brume en continu. En position automatique, il déclenche la brumisation d'après une consigne de température et/ou d'hygrométrie (ou d'horloge) et fonctionne en cycles proportionnels

automatiques. L'automate a d'autres fonctions optionnelles, comme l'aspiration de produits sanitaires ou de désinfection dans le circuit, la surveillance du groupe motopompe et de la sonde en matière de maintenance. Il peut également être couplé à d'autres systèmes de régulation, notamment de ventilation ou également à un système de détection incendie. Il offre en outre, suivant les modèles, des fonctions supplémentaires telles la sauvegarde des températures et de l'hygrométrie, le raccord à une imprimante pour le suivi de ces données...

Les modules de contrôle intégrés dans les systèmes de brumisation peuvent être remplacés ou complétés par d'autres systèmes de commande, comme des "ordinateurs climatiques" ou des centrales de régulation thermique. Les kits de brumisation peuvent donc fonctionner en mode autonome ou en mode "esclave".



Figure 23: Automate de programmation,
Source: collection personnelle M. Marquis

2.2.6 Autres éléments

D'autres éléments peuvent être présents sur les systèmes de brumisation.

A) Bacs et réserves

Sur certains systèmes, il est prévu de pouvoir ajouter des produits (de désodorisation, de désinfection, de gestion d'ambiance) à l'eau qui circule dans le système de brumisation. Dans ce cas, il existe un raccord d'aspiration de ces produits, qui constitue une « seconde entrée » dans le système.

Certains modèles disposent également d'une petite réserve d'eau autonome (20 à 40 L) qui peut faire également office de « bacs à produits ».

B) Electrovanne

L'électrovanne de décharge permet la purge du circuit à l'extérieur du bâtiment. Suivant les systèmes utilisés, il existe ou non un dispositif de purge automatique en fin d'utilisation.

L'électrovanne d'alimentation haute pression permet l'ouverture/fermeture du réseau de brumisation

C) Flexibles de raccord

Ces éléments permettent l'arrivée d'eau dans le système (flexible basse pression) et l'envoi de l'eau sous pression vers les rampes de brumisation (flexible haute pression)

2.3 Utilisation en élevage avicole

2.3.1 Les systèmes de brumisation en élevage

A) Intérêt et efficacité

Les systèmes de brumisation sont utilisés en élevage essentiellement pour lutter contre les « coups de chaleur ». En effet, une chaleur trop importante peut avoir de sévères répercussions sur les animaux d'élevage, notamment par le stress engendré. Dans le cas particulier des volailles, les animaux, qui n'ont pas de glandes sudoripares, cherchent d'abord à évacuer la chaleur de leur corps en augmentant la surface d'échange avec l'air ambiant, c'est-à-dire en écartant les ailes. Au bout d'un moment, si la température augmente encore, la volaille augmente son rythme respiratoire, pour évacuer de la vapeur d'eau. Le rythme normal est d'environ 25 respirations par minute mais il peut atteindre un maximum de 200 respirations par minute. Au-delà, un déséquilibre gazeux se crée, la température interne de la volaille monte et c'est la mort [32].

La brumisation haute pression associée à une ventilation dynamique a notamment fait la preuve de ses performances lors de la canicule de l'été 2003. Les élevages équipés de cette technique ont beaucoup moins subi les effets des coups de chaleur dus à une élévation de la température insupportable pour les animaux. La brumisation haute pression permet de réduire la température de 8°C à 12°C. Le refroidissement atteint par exemple 10°C pour une température extérieure de 40°C.

De plus, des études [33] ont montré que la brumisation était non seulement intéressante pour lutter contre les pics de chaleur (même en Bretagne nord!) mais également pour améliorer la croissance des animaux en période estivale.

L'efficacité de la brumisation haute pression en élevage est très liée à la ventilation qui lui est associée (voir 2.3.2 B).

Son intérêt par rapport aux autres systèmes de refroidissement (arrosage, "pad cooling", pulvérisation basse pression) réside dans une efficacité accrue et également dans la réduction des consommations d'eau ou d'électricité. Le coût d'investissement est toutefois relativement important, sachant qu'il s'agit d'une technique exclusivement adaptable aux bâtiments qui bénéficient d'ores et déjà d'une ventilation dynamique, ce qui suppose un investissement de base déjà important. Dans le Paysan Breton [32], P. Bégos estime le coût global d'une installation de brumisation entre 6000 et 7500 € pour 1000 m², sachant qu'une installation de brumisation permet de réduire significativement les débits d'extraction d'air. Le retour sur investissement est possible, d'après l'AFSSA Ploufragan [33], en 3 ans environ, même en Bretagne.

B) Autres utilisations

La mise en place d'un système de brumisation haute pression est un investissement important, mais ce dispositif, à condition d'être correctement calibré et utilisé, peut permettre d'effectuer d'autres opérations dans le domaine de l'élevage:

- ↳ Humidification et abattement des poussières: l'abaissement du taux de poussière peut être obtenu en brumisant de l'eau claire avec un fonctionnement en cycles courts.
- ↳ Traitement d'odeurs et gestion d'ambiance: d'après la société T.B.D [34], la technique de brumisation haute pression peut être utilisée pour neutraliser les nuisances olfactives en diffusant une formulation spéciale qui permet

**LA SOLUTION
NORA SYSTEM INSIDE® :**
2 exemples de tests
réalisés en bâtiments d'élevage

EN BÂTIMENT AVICOLE

Après analyses préalables et identifications des polluants, puis traitement par brumisation séquentielle :

- taux d'abattement des amines, acides gras volatils et hexanal : 100%
- taux de NH3 : avant traitement : 22 pm / après traitement : 2 ppm
- performances zootechniques comparées : augmentation de 9,8% du GMQ, baisse de 5% de l'IC.
- constat environnemental : amélioration du confort respiratoire des animaux entraînant une amélioration de la vitesse de croissance, une meilleure valorisation alimentaire et une baisse de la mortalité ; absence d'odeur dans le voisinage.

Figure 24: Intérêts du traitement d'ambiance, Source: TBD

non pas de masquer les odeurs mais de les détruire (procédé breveté par Phodé SA)

↳ Détrempage – Lavage – Désinfection:

Les conditions d'élevage des animaux sont soumises à des règles élaborées au regard de différents labels. Le vide sanitaire obligatoire entre deux lots, associé à un nettoyage et à une désinfection efficace, font partie de ces règles. Dans ce cadre l'utilisation d'un système de brumisation peut faciliter les opérations de détrempage et de désinfection en saturant le bâtiment en hygrométrie et en utilisant des produit spécialement prévus à cet effet. D'après les constructeurs, cette technique permet de réduire les consommations d'eau et de procéder à un nettoyage et une désinfection moins fastidieux.

↳ Désinsectisation

Dans la même idée que pour les utilisations précédentes, l'adjonction d'un produit de traitement permettrait d'éliminer de façon satisfaisante les insectes entre deux bandes.

Dans ces utilisations « annexes » des systèmes de brumisation, il apparaît que des précautions d'usage doivent être scrupuleusement respectées. En effet, si ces possibilités constituent des arguments de vente intéressants, la compatibilité des systèmes et des produits utilisés gagne à être testée et avérée. Nous avons en effet rencontré au cours de nos visites des brumisateurs fortement encrassés et dégradés du fait de l'utilisation de produits de traitements. Ces pratiques, hormis la désinfection, semblent d'ailleurs peu répandues dans les élevages que nous avons visités.



Figure 25 Buses encrassées,
Source: collection personnelle M. Marquis

Leur mise en œuvre doit être associée à un entretien scrupuleux des systèmes eux-mêmes, particulièrement au niveau des filtres et des buses d'atomisation.

2.3.2 Paramètres sensibles

L'efficacité des systèmes de brumisation haute pression dépend de plusieurs paramètres essentiels, qui sont parfois difficiles à maîtriser de façon satisfaisante.

A) Taille des gouttelettes

L'**efficacité** d'un système sera en premier lieu liée aux dimensions des gouttelettes qui sont produites. Celles-ci sont conditionnées par la pression de fonctionnement, le diamètre de l'orifice de la buse et ses caractéristiques.

En effet, un brouillard d'eau efficace est un brouillard qui offre la plus grande surface d'échange possible avec l'air. Cette surface d'échange sera d'autant plus grande que le nombre de microgouttelettes pulvérisées sera important. Pour que ce nombre soit important, il faut que les gouttelettes soient aussi petites que possible, ce qui provoquera de plus une évaporation (et par voie de conséquence un refroidissement) plus rapide.

Aujourd'hui il existe relativement peu de données sur la taille des gouttelettes que l'on peut obtenir à partir d'un brumisateuse haute pression et sur leur influence sur l'efficacité du système à refroidir l'air. Les travaux existants [35, 29] fournissent certains éléments :

- ↳ Le temps d'évaporation d'une gouttelette est d'autant plus court que l'air environnant est chaud et sec :

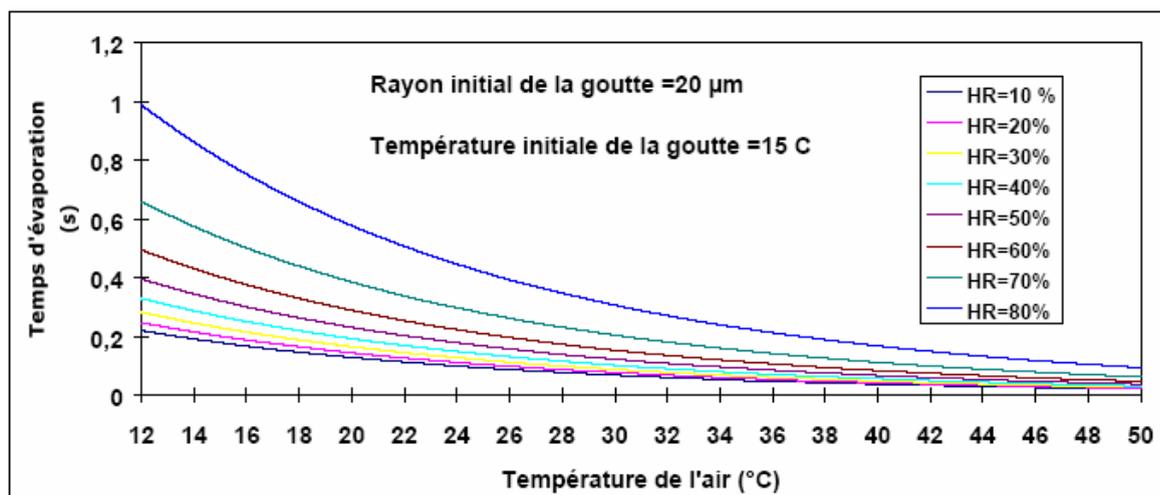


Figure 26 Temps d'évaporation en fonction des conditions climatiques de l'air, [35]

- ↳ A température fixe, le temps d'évaporation est d'autant plus court que la taille des gouttes est réduite et que l'humidité relative est faible.
- ↳ Il existe un seuil de taille au delà duquel une fraction seulement du liquide est évaporée, ce qui peut provoquer une diminution de la performance de rafraîchissement et également une humidification du milieu particulièrement indésirable dans le domaine de l'élevage. Ce seuil varie suivant le milieu (confiné ou non) dans lequel s'effectue l'évaporation.

D'autres facteurs liés à la taille des gouttelettes entrent en jeu dans l'efficacité de la brumisation.

Ainsi l'homogénéité du nuage de gouttelettes est primordiale. Elle correspond à la taille moyenne des gouttelettes qui sortent de la buse de pulvérisation. Les travaux effectués ont montré que cette homogénéité est directement liée au gradient de pression dans la buse d'atomisation et que les systèmes haute pression (i.e. >50 bars) favorisent la création d'un

nuage homogène.

En matière de brumisation haute pression avec des buses hydrauliques mono fluides on estime que la taille moyenne des gouttelettes à la sortie de la buse est de l'ordre de 20 μm pour un fonctionnement de l'ordre de 100 bars. Il s'agit d'un ordre de grandeur qui varie suivant la configuration des buses et les performances de chaque système. Il est difficile d'avoir une valeur fiable et représentative compte tenu du peu d'études indépendantes qui ont été réalisées sur le sujet. Cependant, au vu des conditions de fonctionnement et des différentes valeurs annoncées par les constructeurs [35, 29], il semble raisonnable de penser que ce genre de système n'est pas capable de fournir un nuage avec un diamètre moyen des gouttelettes inférieur à 17 μm .

B) Ventilation dynamique

Le maintien d'une température constante dans un bâtiment d'élevage dépend essentiellement du contrôle du système de ventilation et de brumisation. Une ventilation poussée au maximum de ses capacités ne permettra pas à la brumisation de faire son effet de refroidissement. La vitesse d'air trop importante entraîne dans son flux les gouttelettes vers l'extérieur du bâtiment sans que celles-ci aient eu le temps de faire échange avec l'air ambiant.

Afin d'éviter cet inconvénient, un automate approprié permettra de démarrer les cycles de pulvérisation à une température relativement basse (23/24°C) et de juguler toute montée en température par variation automatique des temps de cycles, sans que la ventilation change de régime. Un système plus élaboré peut également être mis en place – c'est souvent ce qui est fait – sur le modèle d'une centrale de régulation thermique, c'est à dire un automate ou un ordinateur qui est capable de coupler les systèmes de brumisation et de ventilation et d'adapter le régime de chacun en fonction de la consigne température/hygrométrie imposée.

Les bâtiments avec ventilation "dynamique" principalement utilisés en élevage sont de 3 types. A chaque type correspond une configuration du système de brumisation, sachant que le brouillard d'eau doit toujours être happé par le flux d'air engendré par le système de ventilation. Le nombre de buses mis en place est fonction du débit total du système de ventilation et du rendement de brumisation attendu. On considère par exemple qu'il faut environ 600 litres d'eau par heure pour refroidir un bâtiment de 1000m² disposant d'une capacité de ventilation de 160 000 m³/h.

a) *Bâtiment "transversal"*

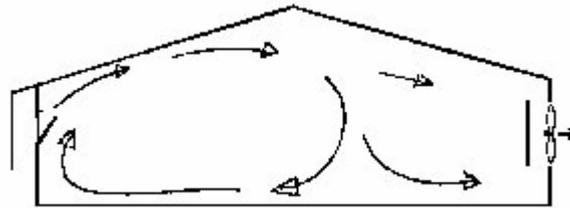


Figure 27 Bâtiment transversal, extraction latérale
Source PNR

Dans ce bâtiment l'entrée d'air se fait par un côté alors que l'extraction se fait par l'autre côté. Une seule rampe côté entrée d'air est suffisante. Toutefois ce système de ventilation n'est pas adapté à des grands bâtiments et peut notamment engendrer l'apparition de gradients de température d'un côté à l'autre. Le flux d'air est renvoyé directement sur les « passants ».

b) *Bâtiment à extraction haute*

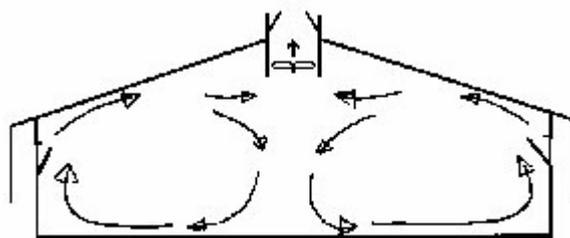


Figure 28 Bâtiment à extraction haute, Source PNR

Ce genre de bâtiment, dit de type "Colorado", est assez courant en élevage avicole. Les entrées d'air sont latérales et l'extraction se fait en partie haute. Ces bâtiments nécessitent l'installation de deux rampes de brumisation, une de chaque côté. La rampe doit être installée précisément au niveau de la jonction du courant d'air entrant dans le bâtiment et du plafond. Pour bien placer les rampes, les constructeurs préconisent de faire des essais avec des fumigènes. Pour ce genre de bâtiment, les buses doivent être placées de façon à ce que les jets de brume ne puissent pas heurter d'obstacle (câble de mangeoires, pipettes...) de manière à éviter un gouttage sur ces obstacles. Le flux d'air bénéficie d'un effet cheminée lors de son renvoi à l'extérieur.

Figure 29 Bâtiment à extraction latérale, collection personnelle



c) *Bâtiment à extraction latérale*

Ce type de bâtiment, dit « Britania », est le plus fréquent dans le domaine de l'aviculture. L'entrée d'air se fait en partie haute par des lanterneaux et l'extraction est latérale, par des ventilateurs et des turbines généralement équipés de capots. Dans ce genre d'installation, la ou les rampes de brumisation doivent être installées en dessous des entrées d'air, de façon à ce que les buses soient orientées dans le sens de circulation de la lame d'air. L'extraction se fait, là aussi, au niveau des « passants ».

On constate que dans la lutte contre les coups de chaleur, tout l'art de la gestion consiste à trouver le bon équilibre entre la brumisation et les débits de ventilation pour une efficacité optimale. Le couple ventilation/brumisation doit être correctement réglé, en particulier en période de fortes chaleurs, où il ne faut pas faire entrer trop d'air riche en camories. Car plus on fait entrer d'air, plus il faut refroidir. La gestion de ces paramètres doit être accompagnée d'autres mesures pour une efficacité optimale sur la santé des animaux: réduction de la densité pour les périodes à risque, modification des programmes lumineux, mise à jeun le matin...

C) *Fonctionnement en cycles*

Les études menées par l'AFSSA Ploufragan [33] ont montré que la brumisation en cycles courts était beaucoup plus efficace pour maîtriser la température intérieure et donc pour un meilleur gain de poids des animaux en finition. Chaque cycle comprend un temps de brumisation et un temps d'arrêt. Suivant les systèmes, le temps de fonctionnement et/ou le temps d'arrêt sont programmables, constants ou variables suivant les consignes de température et d'hygrométrie. Il est nécessaire de respecter un temps d'arrêt pour permettre au brouillard engendré de s'évaporer et au taux d'humidité relative de redescendre.

2.3.3 Conditions d'utilisation particulières

Les conditions d'utilisation des brumisateurs en élevage sont assez variables. Dans le cadre de cette étude, nous avons pu visiter trois exploitations différentes (*Voir en annexe 1, Questionnaires de visite*) et obtenir une caractérisation précise de deux autres exploitations, toutes ayant recours à la brumisation haute pression pour refroidir l'air de leur installation en cas de fortes chaleurs.

Les systèmes de brumisation, comme nous l'avons vu, connaissent de multiples applications dans de nombreux domaines. Dans celui de l'élevage avicole, que nous avons

particulièrement étudié, nous avons pu noter certaines spécificités de mise en œuvre qu'il peut être intéressant de connaître pour la suite de l'étude.

A) Eau utilisée

En ce qui concerne l'eau d'adduction utilisée pour la mise en œuvre des systèmes de brumisation, elle provient dans une majorité des cas de forages privés, exploités par les aviculteurs dans le cadre de leur activité et parfois également pour leur consommation personnelle.

Les chartes de qualité inhérentes aux différents labels mis en place par les groupements agricoles imposent des contrôles de qualité de l'eau utilisée pour l'abreuvement et cette eau est généralement traitée par chloration, même si ce traitement est parfois aléatoire.

B) Maintenance des installations

Comme souvent dans le milieu agricole, la mise en place, la maintenance et le nettoyage des installations de brumisation sont assurés par les exploitants agricoles, avec plus ou moins d'efficacité.

Les préconisations des fabricants ne sont ainsi pas vraiment respectées, en particulier en ce qui concerne l'entretien et le changement des filtres principaux et l'entretien des buses de pulvérisation. Dans certains cas, l'utilisation de produits de désinfection associée à un retrait des filtres principaux conduit à un encrassement important des buses (*voir Figure 25*) et probablement des tuyauteries. Les buses de pulvérisation, éléments sensibles du système, intègrent ou non des filtres dans leur support. Il semble que les dispositifs qui ne comprennent pas de filtres intégrés aux buses soient plus sujets à l'encrassement que les autres.

C) Fréquences d'utilisation

Les systèmes rencontrés sont utilisés très occasionnellement par les exploitants, de l'ordre de quelques jours par an lors des périodes chaudes. La brumisation ne peut pas être utilisée sur des animaux trop jeunes, qui sont trop sensibles aux variations de température et d'hygrométrie. Les installations sont parfois mises en œuvre pour le nettoyage et la désinfection ou pendant l'hiver pour l'humidification de l'air. Les utilisations pour la gestion d'ambiance sont rares car les produits existants provoquent généralement des bouchages au niveau des buses et l'utilité des pulvérisations de produits anti-odeurs n'est pas avérée.

D) Environnement

Les bâtiments d'élevage avicole sont soumis à des fortes températures, en particulier l'été. Les animaux peuvent supporter jusqu'à environ 37°C lorsqu'ils sont en fin de lot. L'eau circulant ou stagnant dans les systèmes de brumisation peut donc occasionnellement monter en température. Les bâtiments d'élevage visités étaient relativement isolés (distance des

plus proches habitations > 100 m) et il semble que cela soit souvent le cas du fait des nuisances olfactives. En outre, les installations d'élevages sont soumises à la réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et peuvent à ce titre être soumises à autorisation ou à déclaration (suivant la taille de l'exploitation). Elles peuvent également faire l'objet de prescriptions techniques particulières, notamment d'éloignement des habitations et d'isolement physique. L'ensemble de ces prescriptions techniques sont décrites dans un Arrêté Ministériel du 13/06/94 [42].

3 ANALYSE DES ELEMENTS POUVANT CONDUIRE A UN RISQUE DE LEGIONELLOSE DANS LE CADRE DE L'UTILISATION DE BRUMISATEURS D'ELEVAGE

3.1 Démarche et enjeux

3.1.1 Liens entre la légionellose et les brumisateurs

La première partie de ce rapport expose les conditions nécessaires à la prolifération des légionelles et donc au développement potentiel de la légionellose.

La deuxième partie, technique, présente le mode de fonctionnement et les caractéristiques techniques des brumisateurs utilisés en élevage.

En tenant compte de ces différents éléments, il s'agit maintenant de déterminer, si les brumisateurs utilisés en élevage peuvent constituer des réservoirs potentiels de légionelles.

A) Tableau comparatif récapitulatif

Tableau 3 Tableau récapitulatif des conditions légionellose et brumisateurs

Légionellose	Brumisateur
Température : 25-45 °C	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Eau habituellement froide mais <ul style="list-style-type: none"> ❖ Eau peut chauffer dans les tuyaux du système à cause de la température de la pièce (pouvant atteindre 37°C en élevage de poulets de 42 j) ❖ Eau peut chauffer dans la réserve si elle est en plein soleil ou dans un local exposé
Ph : entre 5 et 8	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Eau du forage ou du réseau aux alentours de 7
Eau stagnante	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Possibilité d'eaux stagnantes <ul style="list-style-type: none"> ❖ Eau peut stagner au niveau de la réserve si celle-ci présente un volume important ❖ Eau peut stagner au niveau des tuyaux si les purges ne sont pas effectuées régulièrement ❖ Eau peut stagner au niveau des buses si il n'y pas purges et de clapets anti-retour
Développement de biofilm et de calcaire	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Développement possible de biofilm <ul style="list-style-type: none"> ❖ Un biofilm se développe rapidement si le système n'est pas nettoyé et désinfecté régulièrement, plus encore si l'eau stagne

Aérosolisation Taille des gouttelettes inférieures à 5 µm Inhalation	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Si les filtres anti-calcaire ne sont pas nettoyés, ceci va créer des conditions optimales pour la légionelle ❖ De même si les buses sont encrassées ✓ Aérosol formé sous haute pression ✓ Tailles des gouttelettes formées inférieures à 5 µm ✓ Inhalation possible si exploitant ou autres personnes restent sous la brume
---	---

B) Références existantes

L'examen de la plausibilité de la diffusion d'aérosols contenant des légionelles du fait de l'utilisation de brumisateurs haute pression n'est pas un exercice tout à fait nouveau. Un tel travail n'a vraisemblablement jamais été mené dans le domaine de l'élevage mais il existe des exemples qui méritent d'être cités en parallèle de ce travail. Des situations particulières ont permis de prendre en compte ce risque même si les études ne sont pas légion, elles.

En premier lieu, on peut citer la récente Circulaire du 03/08/2004 « relative aux matériels de prévention et de lutte contre les fortes chaleurs dans les établissements de santé et les établissements d'hébergement pour personnes âgées ». Ce texte est aujourd'hui le seul appendice réglementaire qui prend en compte le risque de prolifération de légionelles et donc d'émergence de légionellose dans les installations collectives de brumisation. Il liste un ensemble de recommandations et de précautions d'emploi vis-à-vis de ces installations de brumisation collective susceptibles d'exposer des personnes « à risque ». Il s'agit d'un premier pas qui illustre l'importance grandissante de cette question au sein des autorités sanitaires.

D'autres références sont disponibles dans la littérature :

- En 1992 une étude épidémiologique de type cas-témoin a été publiée [36] à propos d'une épidémie de légionellose ayant eu lieu en octobre-novembre 1989 à Bogalusa en Louisiane (USA). Cette étude a permis d'identifier avec certitude la source de contamination : il s'agissait d'un brumisateur ultrasonique utilisé dans une épicerie. Cet humidificateur utilisait une réserve d'eau froide stagnante et n'était pas entretenu de façon régulière. Des études complémentaires ont montré que l'introduction d'une bactérie dans le réservoir de ce type de machines conduisait effectivement à leur diffusion sous forme d'aérosol inhalable dans l'air ambiant. Il s'agit à ce jour du seul cas recensé et étudié d'une épidémie de légionellose liée à l'utilisation d'un brumisateur. Toutefois l'analogie n'est pas totale avec le domaine qui nous intéresse puisque les brumisateurs ultrasoniques créent un brouillard de gouttelettes

sensiblement plus petites (de l'ordre de quelques microns) que les brumisateurs haute pression utilisés en élevage (15 à 30 μm). Ce diamètre moyen plus petit favorise l'absorption directe des aérosols au niveau des bronches. Cependant les auteurs soulignent les risques liés aux conditions d'utilisation de tous types de brumisateurs et recommandent la conduite d'autres études dans ce domaine.

- En janvier 1995 un article [37] paraît dans le journal de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Il vise à démontrer que les systèmes de refroidissement par évaporation ne transmettent pas la légionellose. Cet article ne concerne pas exclusivement les brumisateurs, il existe en effet beaucoup de climatiseurs fonctionnant sur le principe de l'évaporation mais ne produisant pas d'aérosol de fines gouttelettes supérieures à 1 μm . A propos des systèmes de brumisation, les auteurs affirment que « leur utilisation doit faire l'objet d'une surveillance attentive », en particulier au niveau des médias filtrants et des réservoirs intégrés qui doivent être systématiquement vidangés. S'il affirme la faiblesse du risque dans les refroidisseurs qui ne produisent pas d'aérosols, cet article n'en donne pas moins de nombreuses recommandations quant à leur utilisation. L'eau utilisée doit en particulier être propre et ne pas stagner dans les conduites et il est recommandé de procéder régulièrement à des opérations de nettoyage et de désinfection.

Par ailleurs, certaines installations de brumisation haute pression sont susceptibles de provoquer une exposition de la population beaucoup plus importante que dans le cadre de l'élevage. On peut notamment citer:

- La gare St Charles à Marseille est équipée dans l'un de ses halls d'une installation de brumisation haute pression pour le refroidissement de l'air ambiant. Ce dispositif, d'un type similaire à ceux qui sont utilisés en élevage, a été mis en oeuvre par la société B.R.O. Micromist. On est ici dans le cadre d'un refroidissement de bâtiments de grands volumes, puisqu'il concerne une



Figure 30 Brumisation en gare de Marseille, Source BRO Micromist

superficie de 2500 m² environ. Suite à l'installation de ce dispositif, la DRASS de la région PACA s'est posé la question d'un risque de légionellose lié à la brumisation, d'autant plus que le nombre de personnes potentiellement exposées était énorme. Devant le manque de connaissances, le principe de précaution a été appliqué, et un

système de traitement préventif a été mis en œuvre, sur la base d'un traitement permanent à l'aide d'une pompe à chlore injectant à 0,4 ppm et d'un choc chloré hebdomadaire avec une injection de chlore entre 30 et 50 ppm dans l'ensemble du réseau de brumisation. On peut donc considérer dans cet exemple que le risque de légionellose lié à l'utilisation de la brumisation haute pression a été considéré comme réel et a été pris en compte dans une démarche de prévention¹ [22].

- Le même type de démarche a été adopté dans l'installation de brumisation existant au sein de l'Hôtel Palmeraie Golf Palace de Marrakech (*voir figure 16*). Cette installation, servant à rafraîchir les terrasses et à créer des effets spéciaux de brouillard autour de la piscine et du golf, est dotée d'un système de désinfection préventif pour éviter la prolifération des légionelles. Le constructeur du système mis en œuvre (KGBV-Valco Europe) affirme que son dispositif de brumisation, qui est applicable dans tous les domaines (industrie, élevage, etc..), « par sa conception et son fonctionnement (vidange systématique des canalisations et de la pompe à chaque coupure), n'est pas propice au développement de la bactérie à l'origine de la maladie du légionnaire. Cependant, afin d'éliminer les souches qui pourraient être présentes dans les canalisations en amont du système, un système de traitement de l'eau par lampe UV ou traitement chimique (inodore et conforme à la législation) est installé à l'amont de chaque système ». [24]

Ces deux exemples liés à la mise en œuvre de brumisateurs montrent bien une prise en compte effective du risque légionellose et la plausibilité de son émergence à partir de système de brumisation haute pression.

Ces différents éléments, bibliographiques mais également « de terrain », viennent renforcer la vraisemblance du risque étudié et cautionner la pertinence de la question qui nous a été posée dans le cadre de cette étude.

Ainsi, il apparaît que l'utilisation de brumisateurs haute pression en élevage pourrait, sous certaines conditions d'utilisation, présenter des conditions propices au développement de légionelles. Une étude plus approfondie est donc nécessaire pour caractériser les situations à risques.

3.1.2 Population exposée

Il n'est pas aisé d'évaluer l'importance de la population exposée au risque de contracter la légionellose par l'utilisation d'un brumisateur en élevage.

¹ Source : Société B.R.O. Micromist, M. Ribière

Nous pourrions penser que le champ n'est pas très large puisqu'il ne concerne que les éleveurs de volaille ou de porcs utilisant des brumisateurs haute pression. Or, une population plus importante pourrait être concernée (famille, voisins, salariés).

A) Dénombrement des élevages

Selon les données de AGRESTE, on dénombrait en France en 2000, 663 800 exploitations toutes activités confondues. Les élevages porcins et avicoles représentaient 22600 exploitations soit 3,4% de l'ensemble.

Selon le recensement de 2000, on dénombre 61 989 exploitations en Bretagne dont 9102 élevages porcins et 31580 élevages avicoles (toutes catégories) [38].

Pour la même année en Côtes d'Armor, sur 16302 exploitations on dénombrait 2868 exploitations porcines et 5122 exploitations avicoles (6500 en comptant les dindons, oies, canards, cailles) [39].

Il ne nous a pas été possible d'évaluer le nombre d'éleveurs utilisant des brumisateurs haute pression malgré des demandes appuyées auprès des différents organismes concernés (Chambres d'Agriculture, Groupements d'éleveurs).

Cependant, ce nombre ne doit pas être négligeable étant donné que la plupart des groupements demandent à leurs éleveurs d'investir dans ces techniques pour pouvoir adhérer aux chartes de qualité propres aux groupements.

B) Personnes pouvant être directement exposées

Pour caractériser le risque, il est primordial d'évaluer l'exposition potentielle. Ainsi, les chefs d'exploitation ne travaillent pas souvent seuls. Généralement, ils emploient des salariés ou sont aidés par un co-exploitant (souvent le conjoint).

Ainsi, en 2000, les exploitations agricoles bretonnes employaient plus de 100 000 actifs permanents dont 6 sur 10 étaient exploitants ou co-exploitants [40].

Tableau 4 : Nombre d'actifs en exploitations agricoles en Bretagne [40]

Nombre d'actifs	Côtes d'Armor	Finistère	Ille-et-Vilaine	Morbihan	Bretagne
Chefs d'exploitation	16 302	14 057	17 972	13 658	61 989
Conjoints participant travaux	4 764	4 352	5 714	4 050	18 880
Autres actifs familiaux	1 462	3 803	1 801	1 399	8 465
Salariés permanents	3 325	3 857	1 903	1 225	10 310

Parmi ces actifs, selon l'INSEE, les hommes représentent 78,1% des chefs d'exploitations, 59,5 % des co-exploitants, 31,9% des conjoints et 78,9 % des salariés. La population est donc essentiellement masculine, population plus sensible que les femmes [41]. D'autre part, il serait intéressant de connaître l'âge moyen des exploitants pour préciser encore la part de personnes potentiellement sensibles.

Ainsi, l'âge moyen de l'exploitant et du co-exploitant breton passe de 49 ans en 1988 à 46 ans en 2000. La part des agriculteurs de moins de 40 ans est aujourd'hui de 32 %. La tranche 50-54 ans se démarque avec 16 % des agriculteurs. On retrouve tout de même 13 563 chefs d'exploitations âgés de plus de 55 ans soit 21,8 %, ce qui représente un nombre non négligeable de personnes potentiellement sensibles [40].

Tableau 5 : Age moyen des exploitants agricoles en Bretagne en 2000 [40]

Âge	Côtes d'Armor	Finistère	Ille-et-Vilaine	Morbihan	Bretagne
< 35 ans	2 763	2 194	2 785	2 192	9 934
35 - 39 ans	2 562	2 409	2 620	2 126	9 717
40 - 44 ans	2 623	2 350	2 594	2 162	9 729
45 - 49 ans	2 240	1 919	2 573	1 936	8 668
50 - 54 ans	2 705	2 146	3 127	2 400	10 378
55 - 59 ans	1 623	1 291	1 961	1 279	6 154
60 ans et +	1 876	1 748	2 312	1 563	7 409
TOTAL	16 302	14 057	17 972	13 658	61 989

C) Autres personnes exposées

Outre les exploitants et salariés travaillant directement sur le lieu de brumisation, d'autres personnes peuvent être exposées.

a) *Travailleurs occasionnels*

Des personnes extérieures viennent travailler dans les bâtiments ou à proximité et sont exposées. C'est, par exemple, le cas des ouvriers des groupements ou des coopératives qui viennent chercher les animaux quand leur période d'élevage est terminée. Ils passent ainsi un certain temps exposés car souvent la brumisation est mise en marche pour améliorer leurs conditions de travail en période de décharge.

b) Voisinage

D'autre part, les personnes habitant dans les environs peuvent être exposées par les systèmes de ventilation. En effet, même si par le biais de la réglementation ICPE [43], ces exploitations doivent être situées à plus de 100 m des habitations, le risque n'est pas exclu puisque les aérosols peuvent être transportés sur de longues distances. Il faut dans ce cas étudier le système de ventilation et les protections éventuelles (capots, haies).

3.1.3 Démarche

A la demande de la DDASS des Cotes d'Armor et de la CIRE Ouest, nous avons donc cherché à caractériser le risque de légionellose lié à l'utilisation de la brumisation haute pression en élevage, en adoptant la démarche qui suit.

A) Recueil d'informations

Nous avons réalisé une étude bibliographique portant sur *Legionella pneumophila* (voir première partie).

Pour recueillir des informations sur les brumisateurs et leurs modes de fonctionnement, la documentation technique des fabricants et des installateurs de systèmes de brumisation a été utile (voir seconde partie).

Malgré nos demandes et nos recherches nous n'avons pas réussi à obtenir de véritables informations sur le nombre d'établissements utilisant de tels équipements sur la région, ce qui aurait été vraiment intéressant pour évaluer la population exposée.

B) Utilisation

Nous souhaitons connaître les modes d'utilisation, fréquences de maintenance des utilisateurs.

N'ayant pas réussi dans un premier temps à obtenir des informations pratiques auprès des techniciens des chambres d'agriculture, nous avons donc décidé de visiter des élevages avec l'accord des exploitants. Trois visites ont été organisées, auxquelles il faut ajouter les deux visites réalisées par la DDASS 22 au cours de l'année 2004.

D'autre part, comme il pouvait s'avérer intéressant de connaître la concentration en légionelles de l'eau utilisée pour la brumisation, nous avons effectué des prélèvements lors de nos visites. Les analyses ont été réalisées par le laboratoire LERES de l'ENSP, qui cherchait par la même occasion à tester une nouvelle méthode de détection des légionelles.

C) Bilan

Au niveau des analyses, les résultats étaient tous négatifs. Mais comme expliqué précédemment, l'eau étant très froide en cette période de l'année, les légionelles n'étaient pas dans des conditions optimales de croissance et pouvaient demeurer sous la forme viable non cultivable.

Il en aurait peut être été autrement si nous avions visité les exploitations durant les mois d'été.

Concernant les visites, nous avons pu observer les conditions d'utilisation de plusieurs systèmes de brumisation (même si nous ne les avons pas vu fonctionner étant donné la saison).

Ces informations nous ont permis d'identifier les situations potentielles à risque et d'en déduire des recommandations.

3.2 Identification des éléments et des situations à risque

3.2.1 Méthode

Dans l'analyse des éléments susceptibles de conduire à un risque de légionellose, nous avons identifié les **points** « à risque » comme les éléments matériels ou comportementaux qui renforcent la plausibilité de ce risque d'apparition de légionellose.

Pour ce faire, nous avons tout d'abord distingué **trois groupes** de points « à risque » : **l'eau** d'alimentation, les éléments constitutifs du **système** de brumisation et **l'exposition** des personnes découlant des pratiques de brumisation.

Pour chaque point à risque, nous avons identifié les **paramètres** pouvant influencer globalement sur l'apparition d'un risque de légionellose et également la **nature** du risque concerné. En effet, à chaque point identifié, le risque peut être de trois types : risque de **prolifération** des légionelles, risque de **diffusion** des légionelles ou risque **d'inhalation** des légionelles.

Enfin, les paramètres sensibles d'apparition du risque ont été affectés d'un "score" sur une échelle à trois graduations, suivant que le paramètre ait une grande influence (+++) ou une influence moins importante (+) sur la probabilité d'apparition de légionellose.

3.2.2 Identification des éléments à risque

A) L'eau d'alimentation

Il s'agit d'un élément essentiel dans notre démarche d'analyse du risque. Nous l'avons vu, l'eau utilisée pour la brumisation haute pression dans le domaine de l'élevage

peut être de qualité variable. Le premier point à risque est donc la **nature** de l'eau utilisée. Le risque encouru dans cet élément est le risque de **prolifération** des bactéries.

Trois paramètres sensibles d'apparition du risque ont été identifiés et notés:

- **l'origine** de l'eau utilisée (=eau du réseau d'eau potable ou d'un forage privé) - **Sensibilité: ++**
- la **température** de l'eau utilisée et ses variations potentielles - **Sensibilité: +++**
- le **traitement** de l'eau utilisée (=présence ou non d'un traitement de type chloration ou équivalent, particulièrement s'il s'agit de l'eau d'un forage), **Sensibilité +++**

B) Éléments du système de brumisation

Points à risque identifiés :

a) Réserve d'eau

(Risque de prolifération)

La présence d'une réserve d'eau plus ou moins importante en dehors de la machine de brumisation est un facteur de risque important. Plusieurs paramètres sensibles entrent en jeu :

- Durée de **stagnation** (=liée au volume de la réserve) – **Sensibilité : ++**
- **Position** (=avant ou après l'installation de traitement) - **Sensibilité : ++**
- **Localisation** (= exposition à la chaleur) - **Sensibilité : +**

b) Bacs à produits

(Risque de prolifération)

La présence ou non d'un bac ou d'un raccord d'aspiration pour les produits de traitement ou encore d'une réserve d'eau autonome peut constituer une porte d'entrée supplémentaire dans le système pour les bactéries. Les paramètres à prendre en compte sont les suivants :

- **Produits** utilisés (=favorisent ou non l'encrassement du système) **Sensibilité : +**
- **Stagnation** de l'eau ou des produits dans le bac(=purges systématique ou non) **Sensibilité : ++**
- Le bac constitue ou non une **seconde entrée** dans le système (=en plus de l'alimentation en eau « normale ») **Sensibilité : +**

c) Filtres principaux

(Risque de prolifération)

Les paramètres sensibles sont :

- La **taille** des filtres (=les filtres permettent ou non une élimination efficace de la majorité des impuretés) - **Sensibilité : +**
- **L'encrassement** éventuel - **Sensibilité : ++**

- Le **nettoyage** (=effectué régulièrement ou non, possible facilement) - **Sensibilité : ++**

d) *Tuyaux*

(Risque de prolifération)

Les paramètres sensibles sont :

- Les **matériaux** mis en œuvre (=tuyau en Inox, PVC ou autre) - **Sensibilité : +**
- La **pression** de fonctionnement (= la haute pression est défavorable à l'encrassement des tuyaux) - **Sensibilité : +**
- La **stagnation** de l'eau ou des produits dans les tuyaux (=purges systématique ou non) - **Sensibilité : ++**
- Le **nettoyage** (=effectué régulièrement ou non, possible facilement) - **Sensibilité : ++**

e) *Buses de pulvérisation et dispositifs embarqués*

(Risques de prolifération et de diffusion)

Les buses sont les éléments sensibles du système de brumisation. Les paramètres sensibles sont :

- **L'encrassement** éventuel (=présence ou non d'un filtre embarqué, efficacité, nettoyage régulier)- **Sensibilité : +++**
- La **stagnation** (= présence ou non d'un dispositif anti-gouttes) - **Sensibilité : +**
- La **taille** des gouttelettes (=fonction de la technologie utilisé) - **Sensibilité : +**

C) *Pratiques d'utilisation*

(Risque d'inhalation)

L'émergence de la légionellose est liée au potentiel d'exposition, donc aux pratiques d'utilisation. Les risques d'épidémies de légionellose seront très faibles si personne n'est exposé aux émissions des systèmes de brumisation. Cette exposition dépend de plusieurs paramètres :

- La **fréquence** (=les sujets vont sous le brumisateur en marche ou non, à quelle fréquence...) - **Sensibilité : ++**
- La **durée** (=les sujets exposés le restent longtemps ou non) - **Sensibilité : +**
- Les **caractéristiques** des sujets exposés (il s'agit de sujets à risque ou non) **Sensibilité : +++**
- La **diffusion** des aérosols. Ce paramètre concerne plus particulièrement l'exposition des populations environnantes. Il s'agit de déterminer si les aérosols issus des brumisateurs sont rejetés à l'extérieur des bâtiments et s'ils peuvent permettre aux bactéries de parcourir des distances importantes. Ce paramètre sera plus ou moins

sensible suivant la configuration des bâtiments (extraction haute, ventilation munie de capots de rabattements...) – **Sensibilité : +**

3.2.3 Identification des situations à risque

A partir de l'analyse qui a été menée et en retenant les paramètres les plus sensibles pour les points à risques les plus significatifs, nous avons pu élaborer un schéma d'identification des situations à risque. Ce schéma constitue à la fois une synthèse des éléments que nous avons pu étudier et un outil sommaire d'aide à la décision en matière de gestion du risque de légionellose lié à l'utilisation de brumisateurs haute pression en élevage (*voir page suivante*)

Précisions pour la lecture et la bonne utilisation de l'organigramme :

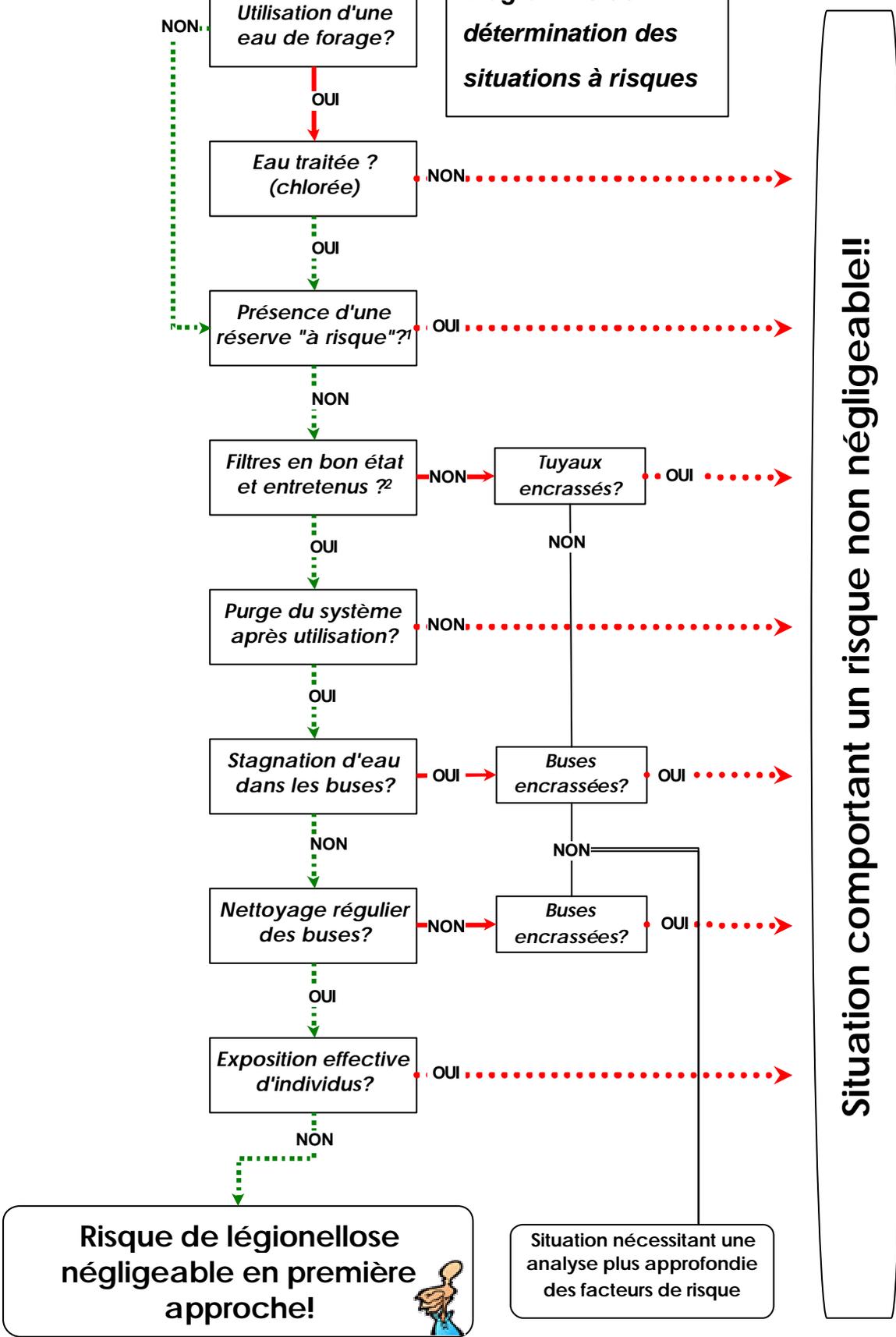
1 : On considère comme « réserve à risque », une réserve d'eau qui réunirait au moins deux des conditions suivantes :

- située avant l'opération de traitement de l'eau (chloration ou autre),
- de très grand volume comparé aux besoins journaliers de l'exploitation,
- potentiellement exposée à de fortes chaleurs (dans un local ou en extérieur)

2 : Les filtres seront considérés en bon état quand ils ne présenteront pas de dégradation ou d'engorgement susceptible d'affecter leur efficacité.

Ils seront considérés comme « entretenus » si les préconisations des fabricants en matière d'entretien et de changements périodiques sont appliquées.

Diagramme de détermination des situations à risques



4 RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

4.1 Recommandations

Les réflexions menées dans cette étude ont montré la plausibilité de l'existence d'un risque non négligeable de légionellose liée à l'utilisation de brumisateurs haute pression dans certaines situations.

Face à ces situations à risque, il est possible d'élaborer des recommandations impératives et pourtant simples à mettre en place. Ces « bonnes pratiques » vont notamment concerner l'eau utilisée, les éléments du système et l'exposition des sujets concernés. Ces mesures simples gagneront à être complétées par des actions plus poussées qui pourront garantir l'innocuité des systèmes de brumisation haute pression dans les élevages.

4.1.1 Mesures simples de réduction des risques

- Il est conseillé de désinfecter l'eau utilisée (à l'aide de chlore ou d'un désinfectant équivalent) avant de l'utiliser si elle provient d'un forage et de contrôler régulièrement la qualité de la désinfection (tous les mois environ).
- Au niveau du système de brumisation, une désinfection par choc chloré (ou éventuellement thermique) est recommandée en plus du nettoyage entre deux lots.
- La purge du système est nécessaire après chaque utilisation. Plus généralement, toute phénomène de stagnation d'eau dans le système doit être évité en particulier en périodes de fortes chaleurs
- Il est indispensable de s'assurer régulièrement (tous les 6 mois maximum) de l'intégrité et de la propreté des dispositifs filtrants et anti-calcaires. En cas de défaillance, il est impératif de procéder à leur remplacement immédiat. Il est fortement recommandé d'appliquer les recommandations des constructeurs en la matière.
- Le dispositif de vidange, s'il existe, doit être entretenu de façon à ne pas nuire à la qualité de l'eau.
- En cas d'inutilisation prolongée du système, veiller à un nettoyage complet et régulier du dispositif, en particulier avant la remise en service.

- Au niveau de l'exposition, il faut éviter de s'exposer à l'action du brumisateur quand il est marche, surtout si la personne exposée est potentiellement dans la catégorie des personnes sensibles.

L'application de ces mesures simples permet de réduire considérablement le risque de légionellose.

4.1.2 Recommandations plus complexes à mettre en oeuvre

D'autres recommandations peuvent être formulées mais les actions préconisées doivent être confrontées à d'autres enjeux, notamment économiques, qu'il convient de bien prendre en compte également.

- Il est recommandé d'utiliser de préférence le réseau d'eau potable pour le raccordement du système.
- Il est conseillé de ne pas utiliser de citerne ou de réserve de grand volume où l'eau pourrait stagner longuement. Dans l'idéal, l'eau du réseau ou du forage d'adduction devrait arriver directement au brumisateur.
- Concernant le choix du système de brumisation, plusieurs paramètres entrent en jeu. Outre les coûts variables suivant les dispositifs, les performances et les garanties sanitaires des systèmes sont souvent différentes. Au vu des résultats de notre étude, si l'on se place dans une dynamique de prévention des risques de légionellose, on optera pour des composants optimaux :
 - Automate de couplage avec le système de ventilation
 - Systèmes de purges automatiques par aspiration après chaque utilisation
 - Systèmes sans réserve d'eau intégrée
 - Tuyaux en inox plutôt qu'en PVC
 - Buses filtrantes avec dispositifs anti-gouttes
 - Composants (filtres, tuyaux, buses) permettant un démontage-remontage facile et un nettoyage aisé.
- Il est important de prendre en compte et de limiter les utilisations autres que la brumisation pour refroidissement. En effet, il a été vu que certains produits entraînent un encrassement des buses et un colmatage des filtres. Il faut donc choisir le système en conséquence.

4.2 Analyse critique et perspectives

4.2.1 Légionellose et brumisateurs, un problème avéré ?

Nous avons essentiellement étudié le risque d'occurrence de la légionellose du fait de l'utilisation de brumisateurs haute pression à l'intérieur des bâtiments d'élevage. La diffusion des aérosols consécutives à l'utilisation de ces dispositifs n'a pas été étudiée formellement dans le cadre de nos investigations. Il pourrait s'avérer intéressant d'engager des études dans ce sens. Cependant, il faut souligner que le principe du refroidissement par brumisation haute pression suppose une évaporation totale et rapide des gouttelettes à l'intérieur du bâtiment. On peut donc raisonnablement penser que, dans le cadre d'une utilisation normale et d'un couple ventilation-brumisation correctement dimensionné, la diffusion d'aérosols à l'extérieur du bâtiment sera relativement limitée. Cette diffusion d'aérosols sera également liée à la configuration des bâtiments. Des bâtiments à extraction haute (type « Colorado ») favoriseront l'émission d'aérosols alors que des bâtiments à extraction latérale (type « Britania »), réduiront ces émissions, notamment du fait de la présence de capots de rabattement anti-odeurs.

Dans le cadre de l'élevage, nous avons donc vu que la diffusion de légionelles via la brumisation est tout à fait plausible. Cependant, l'exposition réelle des personnes concerne essentiellement les éleveurs puisque l'exposition des populations environnantes semble relativement limitée en première approche. Compte tenu de l'ensemble des conditions à réunir, non seulement pour permettre la diffusion des bactéries par le système, mais également pour leur absorption par les personnes exposées (rappelons que le flux de brume créé par le brumisateur est en principe très rapidement évaporé et diffusé par le système de ventilation), on est en droit de se poser la question de la priorité d'une telle question en santé publique. Les élevages semblent la plupart du temps avoir à faire face à des préoccupations autrement plus significatives. Remarquons cependant qu'une étude scientifique de la diffusion des aérosols issus des brumisateurs haute pression dans l'environnement pourrait venir étayer utilement ce débat en mettant en évidence la faiblesse de l'exposition ou au contraire l'existence réelle d'un risque pour les populations environnantes.

En outre, la multiplication des dispositifs de brumisation haute pression dans de multiples domaines (pouvant parfois concerner des établissements largement ouverts au public) nous amène à penser qu'il s'agit d'un domaine encore peu pris en compte en matière de réglementation sanitaire. D'autant plus que, de l'aveu même des constructeurs, l'épisode caniculaire de 2003 a certes dynamisé les ventes mais a également très certainement engendré une baisse de qualité et de sécurité dans les conditions de mise en œuvre des systèmes. Difficile d'y voir clair aujourd'hui dans la nuée de constructeurs qui inondent le marché, gageons que ceux qui sortiront du lot sauront dissiper ce brouillard technique et réglementaire sans s'attirer les foudres des autorités sanitaires !

CONCLUSION

Dans le cadre des ateliers de santé environnementaux, nous avons étudié l'éventualité d'un risque de légionellose lié à l'utilisation de systèmes de brumisation haute pression en élevage avicole. A partir de tous les éléments techniques et bibliographiques rassemblés, nous avons élaboré une méthodologie pour identifier les situations à risque. Les résultats obtenus montrent que ce risque n'est pas négligeable dans toutes les situations mais qu'il reste généralement limité du fait d'une faible exposition de la population.

Cette étude nous a permis de travailler sur un sujet novateur et d'appréhender ainsi la difficulté de l'appréciation des risques dans un contexte peu étudié. Le caractère pratique et concret de ce sujet a été particulièrement intéressant.

La méthodologie proposée pour l'identification des situations à risque est certes perfectible, mais elle constitue une première approche appréciable d'un problème peu exploré à ce jour. Les compléments utiles qui pourraient être apportés à ce travail concernent notamment la diffusion des aérosols dans l'environnement immédiat des bâtiments et les données quantitatives sur l'étendue de l'utilisation des systèmes de brumisation en élevage.

Ce projet a été pour nous une première expérience personnelle en santé environnementale à l'origine de contacts enrichissants. Nous avons pu découvrir à la fois les enjeux d'une démarche scientifique et les réalités d'une enquête de terrain.

Nous espérons que notre travail pourra être profitable aux différents acteurs mentionnés et qu'il permettra de lever une partie du voile (brumeux) sur cette interrogation nouvelle.

Bibliographie

- [1] ALLOT F. Etude du risque lié aux légionelles au CHU de Brest : identifier les déterminants et proposer un modèle de gestion du risque. Mémoire Ingénieur du Génie Sanitaire Septembre 2004 . ENSP : 50 p.
- [2] Office Fédéral de la Santé Publique, division épidémiologie et maladies infectieuses *Légionelles et légionellose : particularités biologiques, épidémiologie, aspects cliniques, enquêtes environnementales, prévention et mesure de lutte*. Office Fédéral de la Santé Publique, division épidémiologie et maladies infectieuses, Berne, 1999 : 50 p.
- [3] DEMILLAC R., LEGEAS M., DEGUEN S. Evaluation comparée du risque sanitaire lié à la teneur en légionelles dans l'eau à l'hôpital et dans les établissements thermaux. 2005 Convention DGS ENSP n° 03-005
- [4] JARRAUD S., REYROLLE M., ETIENNE J. *Legionella* et légionellose. In *Précis de bactériologie clinique*, Freney J., Renaud F., Hansen W *et al* (eds) Paris : Editions Eska, 2000. Chapitre 80, pp1389-1405.
- [5] Conseil Supérieur d'hygiène Publique de France. *Gestion du risque lié aux légionelles*, Novembre 2001. Editions Lavoisier, Avril 2002. 62 p.
- [6] Circulaire DGS/SD7 B n° 2004_42 du 4 février 2004 relative à l'organisation des Services du Ministère chargé de la Santé pour améliorer les pratiques d'évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact.
- [7] BRUCKER G. *Infections nosocomiales et environnement hospitalier* [en ligne]. Editions Flammarion, collection Médecine-Sciences , 1998 (consultation le 25 mars 2005). Chapitre 8 : Légionelloses. Disponible sur Internet :
- <http://rese.intranet.sante.gouv.fr/santenv/interven/legionel/biblio/brucker.pdf>
- [8] Décret n° 86.770 du 10 Juin 1986 fixant la liste des maladies dont la déclaration est obligatoire en application de l'article L.11 du Code de la Santé Publique
- [9] Légionelles : évaluer et gérer les risques dans les bâtiments. Les rendez-vous du CSTB, Paris, 16 décembre 1999 et 16 mars 2000. *INRS Documents pour le Médecin du Travail* Deuxième trimestre 2000 ; **82**.
- [10] CAMPESE C., JARRAUD S., DECLUDT B. *et al*. *Les légionelloses déclarées en France en 2003* [en ligne]. Institut de Veille Sanitaire. Saint Maurice. Centre National de Référence des Légionelles, Lyon, Juillet 2004 [consultation le 25 Mars 2005]. Disponible sur Internet :

http://www.invs.sante.fr/presse/2004/communiqués/legio_0907/legio_fr_2003_090704.pdf

[11] CAMPESE C, JARRAUD S, BITAR D, MAINE C, CHE D - *Les légionelloses survenues en France en 2004*, BEH, 2005 ;26 :129-32

[12] Institut de Veille Sanitaire *La surveillance épidémiologique de la légionellose en France : organisation et principaux résultats* [en ligne]. Institut de Veille Sanitaire, Saint Maurice, 4 Juin 2004, format Power Point [consultation 03 Avril 2005]. Disponible sur Internet : http://www.invs.sante.fr/surveillance/legionellose/surv_legio_france.ppt

[13] THOS A-L. Eléments de modélisation de l'exposition aux légionelles dans les établissements de santé et dans les établissements thermaux. Mémoire Ingénieur du Génie Sanitaire Septembre 2003. ENSP : 50 p.

[14] Décret n° 94-352 du 4 mai 1994 relatif à la prévention du risque biologique pour les travailleurs.

[15] Circulaire DGS n° 97/311 du 24 avril 1997 relative à la surveillance et à la prévention de la légionellose

[16] Circulaire DGS/VS4/98/771 du 31 Décembre 1998 relative à la mise en œuvre de bonnes pratiques d'entretien des réseaux dans les établissements de santé et aux moyens de prévention du risque lié aux légionelles dans les bâtiments recevant du public contenant des installations à risque.

[17] Arrêté du 19 juin 2000 relatif au contrôle des sources d'eaux minérales dans les établissements thermaux.

[18] Circulaire DGS n° 2002/273 du 02/05/02 relative à la diffusion du rapport du Conseil Supérieur d'Hygiène Public de France relatif à la gestion du risque lié aux légionelles .

[19] VAL-Co Europe, fabricant de systèmes de brumisation haute pression [en ligne] (Consultation le 17/02/2005), <http://www.kgbv.nl/home/fr>

[20] PNR France, buses et systèmes de pulvérisation pour applications industrielles [en ligne] (Consultation le 17/02/2005), <http://www.pnr.fr/>

[21] MicroMist Systems: Misting and fogging systems, [en ligne] (Consultation le 17/02/2005), <http://www.micromist.com/>

[22] Société B.R.O. Micromist, filiale de Micromist à Feytiat (87), France, [en ligne] (Consultation le 17/02/2005), <http://perso.wanadoo.fr/bro-micromist.fr/fr/principale.htm>

[23] Techni Brume Diffusion (TBD), Fabricant de brumisation haute pression, La Séguinière (49), [en ligne] (Consultation le 17/02/2005), <http://www.tbd.fr/index.htm>

[24] KGBV Vallorbs Europe, Le Système de brumisation Haute Pression Polair™, [en ligne] (Consultation le 17/02/2005),

<http://www.kgbvallorbseurope.com/pageLibre000100d9.html>

[25] Tuffigo automatisme et régulations, fabricant de système de brumisation haute pression [en ligne] (Consultation le 17/02/2005), <http://www.tuffigo.com/>

[26] « The Fog System », Dutrie, fabricant de système de brumisation haute pression [en ligne] (Consultation le 17/02/2005), <http://www.dutrie.com/htfr/frameset.htm>

[27] Brum'Tech fabricant de système de brumisation haute pression [en ligne] (Consultation le 17/02/2005), www.brumtech.com

[28] Prime Tech, systèmes de refroidissement par évaporation avec atomisation à haute pression de l'eau, [en ligne] (Consultation le 15/04/2005), http://www.primetech.com.br/2003_fran/index.html

[29] Dossier Brumisation, Système de brumisation pour abaissement de température et mesures de diamètre moyen des gouttelettes, Société B.R.O. Micromist, septembre 2004

[30] BEGOS P., Volailles: Prévention des coups de chaleur, *Paysan Breton*, Semaine du 23 au 30 Avril 2004, p. 16

[31] Refroidissement d'ambiance par émission de brume, Elevage, Documentation technique PNR France

[32] *Prévention des coups de chaleur dans les poulaillers*, document interne de la chambre d'agriculture du Morbihan

[33] VALACONY H., BALAINE L., TAVAREZ M., Utilisation d'un système de brumisation haute pression dans la lutte contre le coup de chaleur en Bretagne, AFSSA-Ploufragan, *Sciences et Techniques Avicoles*, **27**, Avril 1999

[34] "Fiches Systèmes Agricoles", Société TBD, fournisseur de système de brumisation haute pression, [en ligne], (consultation le 27/02/05), Disponible sur internet : www.tbd.fr

[35] BELARBI R., Développement d'outils méthodologiques d'évaluation et d'intégration des systèmes évaporatifs pour le rafraîchissement passif des bâtiments, Thèse de Doctorat en Génie Civil, Université de La Rochelle, Juillet 1998

[36] MAHONEY F.J., HOGE C.W., FARLEY T.A., BARBAREE J.M., BREIMAN R.F., BENSON R.F. and MC FARLAND L.M. 1992. Communitywide outbreak of Legionnaires' disease associated with a grocery store mist machine. *Journal of Infectious Diseases*, **165**, 736-739.

[37] PUCKORIUS, THOMAS, AUGSPURGER, Why Evaporative Coolers Have Not Caused Legionnaires Disease, *ASHRAE Journal*, January 1995

[38] Agreste Recensement Agricole 2000. [en ligne]. Consulté le 10 avril 2005. Disponible sur Internet

<http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/ulf/agreste.resnat.region.RESNAT53.pdf>

[39] Agreste Recensement Agricole 2000. [en ligne] consulté le 10 avril 2005. Disponible sur Internet

<http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/ulf/agreste.resnat.region.RESNAT22.pdf>

[40] Paysan Breton Profil de l'exploitant Breton 2000 [en ligne] Consulté le 10 avril 2005
Disponible sur Internet http://www.paysan-breton.fr/exploitant_breton.php

[41] INSEE Population Active Agricole 2000 [en ligne]. Consulté le 10 avril 2005.
Disponible sur Internet

http://www.insee.fr/ffc/chifde_fiche.asp?ref_id=NATTEF10201&tab_id=13/

[42] Arrêté du 13 juin 1994 fixant les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les élevages de volailles et (ou) de gibiers à plumes soumis à autorisation au titre de la protection de l'environnement, *Journal Officiel du 23 décembre 1994*

[43] Circulaire DHOS/E4/E2/DGAS/2C/DGS/7A n° 377 du 3 août 2004 relative aux matériels de prévention et de lutte contre les fortes chaleurs dans les établissements de santé et les établissements d'hébergement pour personnes âgées [en ligne] (Consulté le 18/04/05) Disponible sur internet : www.cclin-sudouest.com/textes/circ030804.doc

Liste des annexes

Annexe 1 : Questionnaire des visites réalisées le 02 Mars 2005

Ateliers de santé environnementale – Evaluation du risque légionellose lié à l'utilisation de système de brumisation dans les élevages avicoles

5 QUESTIONNAIRE D'ENQUETE VERSION DU 02/03/05

- **Nom de l'exploitant / exploitation:** X
- **Lieu et date de visite:** X 02/03/05

- **Caractéristiques de l'exploitation (date de création, nombre de bâtiments, superficie...):** 1992, 1 bâtiment 1500 m²

Caractéristiques du système de brumisation:

- *Date d'installation* 1998
- *Type de système (marque, constitution, éléments...) dérivé de PNR (NORAY Industrie , Quintin l'Hermitage) installé par le vendeur*

1 ligne de buses situées sous l'entrée d'air (centrale par la toiture) (5 m de hauteur)

5 buses par caisson de ventilation, 50 buses

- *Alimentation en eau:*

Réseau public **Forage particulier** **Puits** **Autre:**

Traitement (chlorage ou autre): **Oui** **Non**

Présence d'une réserve d'eau spécifique: **Oui** **Non**

Si oui, caractéristiques:

- *Pression (basse ou haute) et débit:* haut débit (110 bars)
- *Automatisation:* **Oui** *selon température humidité*
- *Présence de clapets anti-goutte, anti-retour? Filtres? De quel types? Présence de dispositifs anti-calcaires?*

Clapets anti-gouttes avec filtres, mais pas anti-calcaires

Dans la machine, filtre 5 μ m et pré filtre 100 μ m

- *Fonctionnement: Cycles? 30 sec fonctionnement 180 secs arrêt*
Caractéristiques? Peut passer en manuel

- *Y a-t-il stagnation de l'eau dans le système?*

Oui **Non** *Si oui, combien de temps et à quel endroit?*

- *Fréquence d'utilisation? / année?*

Sur un lot, s'utilise à partir de 22 jours. Il n'y a pas de durée moyenne, cela dépend des années. Sert aussi l'hiver pour ré humidifier l'ambiance. Le système n'a pas servi depuis six mois.

Entretien du système:

- *Fréquence de changement des filtres? ?*

▪ *Purges du système: **Oui** **Non** (l'eau s'évacue naturellement) Si oui,
fréquence et modalités:*

▪ *Nettoyage des buses: **Oui** (une fois par an, à l'eau) **Non** Si oui,
fréquence et modalités:*

- *Problèmes d'étanchéité éventuels au niveau des joints des buses ou autres? non*

▪ *Maintenance régulière: **Oui** **Non** Si oui, fréquence et modalités:*

Autres usages éventuels?(Désinfection ou traitement d'ambiance...)

Désinfectant, bactéricide, fongicide dans le bac de pompage

Systèmes de ventilation

- *Caractéristiques (dynamique avec extraction?) extraction latérale (Brittania)*

- *Disposition (nb de ventilateurs, débit d'air...) 10 ventilateurs et 4 grosses turbines*

- *Caractéristiques des entrées d'air? Caisson au niveau du toit 10 caissons. S'abaissent*

- *Distance des habitations les plus proches? Sa propre résidence est à 100 m, mais elle n'est pas située en face des ventilateurs*

5.1 Présence ou non d'un système d'arrosage extérieur des bâtiments

Aucun système d'arrosage extérieur

Questions diverses et remarques:

- *Température et variations à l'intérieur du bâtiment? Peut monter jusqu'à 34 °C*
- *Caractéristiques de l'exposition: qui manipule le brumisateur? Combien de temps? Est ce que la personne reste dans le local pendant la brumisation? Caractéristiques des personnes exposées? Elle seule. Reste parfois exposée.*

Ateliers de santé environnementale – Evaluation du risque légionellose lié à l'utilisation de système de brumisation dans les élevages avicoles

QUESTIONNAIRE D'ENQUETE VERSION DU 02/03/05

- **Nom de l'exploitant / exploitation:** X
- **Lieu et date de visite:** X 02/03

- **Caractéristiques de l'exploitation (date de création, nombre de bâtiments, superficie...):** 1992, 2 X 1500 m²

Caractéristiques du système de brumisation:

- **Date d'installation** 1998

- **Type de système (marque, constitution, éléments...) PNR** 60 buses par bâtiment
Installé seul 2 systèmes (un en boucle , un en ligne) canalisation en plastique sauf buses inox. Non démontables à part les buses

- **Alimentation en eau:**

Réseau public **Forage particulier** **Puits** **Autre:**

Traitement (chlorage ou autre): **Oui** (parfois peroxyde d'hydrogène)

Non

Présence d'une réserve d'eau spécifique: **Oui** (pas d'eau stagnante non chlorée) Non

Si oui, caractéristiques:

- **Pression (basse ou haute) et débit:** haut débit 100 bars

- **Automatisation:** **Oui** (selon température, age des poussins) **Non**

- **Présence de clapets anti-goutte, anti-retour? Filtres? De quel types? Présence de dispositifs anti-calcaires? Clapet anti-goutte avec filtre, pas de filtre anti-calcaire**

Dans la machine, filtre 5 µm et pré filtre 100 µm

- **Fonctionnement: Cycles?** 30 secs fonctionnements arret 3 min
Caractéristiques?

- Y a-t-il stagnation de l'eau dans le système?

Oui (peut rester une nuit) **Non** Si oui, combien de temps et à quel endroit?

- Fréquence d'utilisation? / année? Varie 2002 1 jour, 2003 8-10 j, 2004 1 j

Entretien du système:

- Fréquence de changement des filtres?

- Purges du système: **Oui** (une fois avant l'été) **Non** Si oui,
fréquence et modalités:

- Nettoyage des buses: **Oui** (1 fois par an, peroxyde d'hydrogène)
Non Si oui, fréquence et modalités:

- Problèmes d'étanchéité éventuels au niveau des joints des buses ou autres? Non mais bavure de inox au montage

- Maintenance régulière: **Oui** **Non** Si oui, fréquence et modalités:

Autres usages éventuels? (Désinfection ou traitement d'ambiance...)

Désinfection tous les deux mois entre chaque lot, pas de traitement d'ambiance (bouche les buses)

Systèmes de ventilation

- Caractéristiques (dynamique avec extraction?)

1 bâtiment (Brittonia : extraction latérale avec entrée d'air par le toit par caisson)

1 bâtiment entrée d'air par le coté, sortie par le toit)

- Disposition (nombre de ventilateurs, débit d'air...) 22 ventilateurs dans chaque 12000 m³ air /heure
- Caractéristiques des entrées d'air? 1 m³ air /kg automatique sur cycle de 3 min
- Distance des habitations les plus proches? 150 m mai pas dans les vents

5.2 Présence ou non d'un système d'arrosage extérieur des bâtiments

non

Questions diverses et remarques:

- *Température et variations à l'intérieur du bâtiment? 36-37°C*
- *Caractéristiques de l'exposition: qui manipule le brumisateur? Combien de temps? Est ce que la personne reste dans le local pendant la brumisation? Caractéristiques des personnes exposées? Travaille seul , ne va jamais dessous*

Ateliers de santé environnementale – Evaluation du risque légionellose lié à l'utilisation de système de brumisation dans les élevages avicoles

QUESTIONNAIRE D'ENQUETE VERSION DU 02/03/05

- **Nom de l'exploitant / exploitation:** X
- **Lieu et date de visite:** 02 mars 2005 – X
- **Caractéristiques de l'exploitation (date de création, nombre de bâtiments, superficie...):** un bâtiment, construit en 1988, superficie 1000 m²

Caractéristiques du système de brumisation:

- **Date d'installation :** 1997
- **Type de système (marque, constitution, éléments...):** Dynabrume Tuffigo, 70 buses (10buses/entrée d'air)
- **Alimentation en eau:**
Forage particulier, traitement par chloration (irrégulier) et parfois autres produits. Réserve d'eau spécifique (environ 30L), température de l'eau de forage très basse
- **Pression et débit:** haute pression, pas d'idée du débit précis
- **Automatisation :** **Oui**, utilisé par un automate externe en couplage avec la ventilation
- **Présence de filtres et dispositif anti gouttes et anti retour, filtres démontés, buses encrassées (par produits de désinfection ?)**
- **Fonctionnement:** en cycles variables (base 30 sec) pour être à 65 % H et T° : 26, 27 °C
- **Stagnation de l'eau dans le système :** au niveau de la réserve interne du brumisateur, parfois dans les tuyaux s'il y a utilisation deux fois dans le même lot du brumisateur.
- **Fréquence d'utilisation / année :** concerne un ou deux lots dans l'année, peut fonctionner de pas du tout à un mois (dépend des vides sanitaires)

Entretien du système:

- **Fréquence de changement des filtres :** variable, filtres souvent bouchés par désinfectants
- **Purges du système:** entre deux lots, parfois nettoyage à l'eau de javel, quand remise en route.
- **Pas de nettoyage des buses, les buses encrassées sont démontées et retournées au fabricant pour nettoyage. Pas de problèmes d'étanchéité au niveau des joints des buses.**
- **Maintenance régulière:** Non, bricolage et installation par l'électricien du coin.
- **Aucun autres usage**

Systèmes de ventilation

- Système dynamique aération haute avec extraction basse (Brittania), 16 ventilateurs de 9000 m³/h, 2 de 12500 m³/h et une turbine de 40000m³/h, soit un débit total de 209000 m³/h. Habitations les plus proches à 110, 120 m (l'exploitant et son voisin).

Système d'arrosage extérieur des bâtiments: présence d'un ancien système qui n'est plus utilisé (gaspillage d'eau) et gain en température pas très intéressant.

Questions diverses et remarques:

En fin de lot, les poulets ne supportent plus une température supérieure à 33 °C environ.

Le brumisateur est manipulé par l'exploitant et son épouse. Ils ne trouvent pas désagréable de se trouver en dessous quand le brumisateur fonctionne, au contraire en cas de fortes chaleurs, il est agréable de le mettre en marche en particulier pendant les périodes de chargement/déchargement de la volaille (présence de main d'œuvre)