

Epidémie de légionellose dans le Pas-de-Calais

Novembre 2003 à janvier 2004

Rapport de la mission d'appui

**Philippe BRETIN
Isabelle CAPEK
Pierre André CABANES
Frédéric MARCEL
Michèle MERCHAT**

23 juillet 2004

SOMMAIRE

1	LA MISSION	7
1.1	<i>Le contexte.....</i>	7
1.1.1	Les légionelloses	7
1.1.2	La situation dans le Pas-de-Calais	7
1.2	<i>La lettre de mission.....</i>	7
1.3	<i>La méthode de travail.....</i>	8
1.3.1	Les réunions	8
1.3.2	Les visites sur le terrain	9
1.3.3	Les documents consultés	9
1.3.4	Les avis et le rapport de la mission	9
2	LES METHODES	10
2.1	<i>Les investigations épidémiologiques et environnementales.....</i>	10
2.1.1	Les enquêtes épidémiologiques	10
2.1.2	Les investigations environnementales.....	11
2.1.3	L'enquête microbiologique.....	11
2.2	<i>L'évaluation de la dispersion atmosphérique d'aérosols potentiellement contaminés dans la région de Lens.....</i>	12
2.2.1	Situations modélisées.....	12
2.2.2	Hypothèses de calcul.....	13
2.3	<i>Etude de la gestion du risque légionelles chez Noroxo.....</i>	13
3	LES RESULTATS	14
3.1	<i>Les investigations épidémiologiques et environnementales.....</i>	14
3.1.1	Les enquêtes épidémiologiques	14
3.1.2	Les investigations environnementales.....	15
3.1.3	L'enquête microbiologique.....	15
3.2	<i>L'évaluation de la dispersion atmosphérique d'aérosols potentiellement contaminés dans la région de Lens.....</i>	21
3.2.1	Résultat des simulations pour la première vague épidémique.....	21
3.2.2	Tentative d'interprétation des résultats en terme de nombre de germes.....	21
3.2.3	Simulations pour la deuxième vague de l'épidémie	22
3.2.4	Période de redémarrage de l'exploitation	23
3.3	<i>Maîtrise du risque légionelles dans les circuits de refroidissement humides chez Noroxo....</i>	24
3.4	<i>Risques d'émission d'aérosols pendant les opérations de nettoyage chez Noroxo.....</i>	25
3.5	<i>Maîtrise du risque légionelles dans les circuits de refroidissement humides chez Mac Cain</i>	27
4	DISCUSSION.....	28
4.1	<i>Commentaires sur les méthodes.....</i>	28
4.2	<i>Discussion sur les résultats</i>	28
4.2.1	Les caractéristiques de l'épidémie.....	28
4.2.2	Les hypothèses envisagées concernant la source de l'épidémie.....	29
4.2.3	Discussion concernant l'installation Noroxo	31
4.2.4	Les modifications apportées par Noroxo pour la réouverture	37
5	RECOMMANDATIONS.....	38
6	BIBLIOGRAPHIE	41
	ANNEXES	43

Liste des tableaux

Tableau 1 : comparaison entre les concentrations en eau modélisées en provenance des TAR et les taux d'attaque pour la première partie de l'épidémie	21
Tableau 2 : comparaison entre les concentrations en eau modélisées en provenance de jets haute pression et les taux d'attaque pour la deuxième partie de l'épidémie.	22
Tableau 3 : distance et temps de disparition d'aérosols émis ponctuellement pendant une opération de nettoyage de citerne.....	23
Tableau 4 : formation potentielle d'aérosols lors du nettoyage des tours de refroidissement	25
Tableau 5 : formation potentielle d'aérosols lors du nettoyage des échangeurs de priorité 1	26

Liste des figures

Figure 1 : distribution tri-journalière des cas de légionellose selon la date de début des symptômes .	17
Figure 2 : carte des cas de légionelloses dans la région de Lens	19

Liste des Annexes

Annexe 1 : lettre de mission	45
Annexe 2 : avis intermédiaires émis par la mission d'appui.....	47
Annexe 3 : gestion du risque légionelles dans l'installation Mac Cain	51
Annexe 4 : rapport de l'Ineris : évaluation de la dispersion atmosphérique d'aérosols potentiellement contaminés dans la région de Lens	55
Annexe 5 : rapport de Michèle Merchat : Etude des moyens mis en œuvre pour la gestion du risque légionelles chez Noroxo	57

ABREVIATIONS UTILISEES

ATP	Adénosine Tri-Phosphate
AP-PCR	Arbitrary Primed-PCR
Cire	Cellule inter-régionale d'épidémiologie
CNRL	Centre national de référence des légionelles
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment
Ddass	Direction départementale des affaires sanitaires et sociales
DMI	Département des maladies infectieuses
Drire	Direction régionale de l'industrie de la recherche et de l'environnement
Ewgli	European Working Group for Legionella Infections
FISH	Fluorescent In Situ Hybridization
InVS	Institut de veille sanitaire
Misp	Médecin inspecteur de santé publique
PCR	Polymerase chain reaction
PFGE	pulsed-field gel electrophoresis
TAR	Tour aéro-réfrigérante
UFC	Unité formant colonie

1 LA MISSION

1.1 Le contexte

1.1.1 Les légionelloses

Les légionelloses sont des pneumopathies communautaires ou nosocomiales, acquises par inhalation d'aérosols contaminés par des légionelles. Les légionelles sont des bactéries dont l'origine est vraisemblablement aquatique et qui contaminent les réseaux de distribution d'eau. Classées en 50 espèces et 64 sérogroupes, toutes ne sont pas pathogènes pour l'homme. *Legionella pneumophila* est responsable de plus de 90 % des légionelloses, pneumopathies communautaires ou nosocomiales, acquises par inhalation d'aérosols contaminés. Le sérotype 1 est le plus fréquemment mis en cause dans les légionelloses (80 %). L'incubation (durée entre la contamination et l'apparition des premiers symptômes) est classiquement de 2 à 10 jours avec une moyenne de 5 à 6 jours.

En France, les légionelloses sont surveillées dans le cadre des maladies à déclaration obligatoire (déclaration des cas correspondant à une définition précise faite par les médecins, transmise à la Ddass puis à l'InVS) ; par ailleurs, le CNRL recueille de manière exhaustive les souches d'origine humaine isolées.

Au niveau local, le signalement et la notification obligatoire de cette maladie permettent à la Ddass de réaliser une enquête afin d'identifier les expositions à risque, de rechercher d'autres cas liés à ces expositions et de prendre les mesures environnementales de contrôle appropriées. Au niveau national, ils ont pour objectifs de connaître la fréquence, les tendances et les principales caractéristiques épidémiologiques de cette maladie et d'identifier des cas groupés. Au niveau européen, l'objectif principal du réseau Ewgli est d'identifier des cas groupés pouvant être rattachés à une source commune d'exposition lors d'un voyage afin de prendre les mesures de prévention appropriées.

Cette surveillance permet d'identifier des cas sporadiques dont l'origine est rarement identifiée et des cas groupés dont l'origine est systématiquement recherchée. Ces groupes de cas, plus ou moins importants, sont souvent liés à la contamination de tours aéro-réfrigérantes (12 épidémies entre 1998 et 2003).

1.1.2 La situation dans le Pas-de-Calais

Depuis le 11 novembre 2003 une importante épidémie de légionellose sévissait dans la région de Lens. Le 31 décembre 2003, on déplorait dans cette région 52 cas, dont 6 décès. Les investigations épidémiologiques et environnementales réalisées par les services de l'Etat sous l'autorité du Préfet du Pas de Calais avaient permis d'identifier et d'arrêter une source de contamination : les tours aéro-réfrigérantes de l'entreprise Noroxo située sur la commune de Harnes. Pendant cet arrêt et malgré les nettoyages effectués avant la reprise de l'activité de l'entreprise, des cas ont continué à apparaître et l'existence d'une autre source de contamination était alors envisagée.

1.2 La lettre de mission

Une lettre de mission (annexe1) a été cosignée le 31 décembre 2003 par le Directeur de la prévention des pollutions et des risques et par le Directeur général de la santé demandant à un groupe d'experts nationaux d'apporter leur soutien technique au Préfet du Pas-de-Calais et à ses services. Il était demandé :

- d'examiner le détail des investigations réalisées,
- de répondre aux interrogations des services du Préfet du Pas-de-Calais,
- de proposer un éclairage et des orientations complémentaires éventuelles.

Un rapport devait clore la mission ; le secrétariat scientifique était assuré par l'Ineris et l'InVS.

Les membres de la mission sont :

- Philippe Bretin (InVS ; département santé environnement),
- Isabelle Capek (InVS ; département des maladies infectieuses),
- Pierre André Cabanes (EDF-GDF ; service des études médicales),
- Frédéric Marcel (Ineris ; direction des risques chroniques),
- Michèle Merchat (Climespace ; service Recherches Appliquées & Développement).

Suite à cette lettre de mission, les membres de la mission d'appui se sont réunis par téléphone et ont décidé que Monsieur Pierre André Cabanes serait rapporteur de cette mission, que l'Ineris assurerait le secrétariat du volet modélisation de la mission et que l'InVS (DMI) assurerait le secrétariat des autres volets. Michèle Merchat a par ailleurs obtenu l'accord et le soutien de Climespace pour réaliser une étude détaillée de la gestion des risques sur les circuits de refroidissement humides de la zone d'étude.

1.3 La méthode de travail

1.3.1 Les réunions

La mission a participé à de nombreuses réunions organisées localement par la Préfecture, la Drire ou la Cire, avec les services déconcentrés concernés, et dans certains cas l'entreprise Noroxo :

- réunion à la préfecture du Pas-de-Calais le 31 décembre 2003 avec deux des membres de la mission d'appui,
- réunion téléphonique le vendredi 2 janvier 2004 matin avec Ddass, Drire et Cire,
- réunion le 5 janvier : Drire, Noroxo et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion à la Drire à Douai le mardi 6 janvier matin avec Ddass, Drire et Cire,
- réunion téléphonique le mercredi 7 janvier matin avec Cire et Drire,
- réunion téléphonique le vendredi 9 janvier matin avec la Drire,
- réunion le 12 janvier : préfecture, Noroxo, Drire et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le mardi 13 janvier à la préfecture du Pas-de-Calais : Préfecture, Drire, Ddass, Cire, Noroxo et experts d'Exxon en première partie puis uniquement les services en deuxième partie,
- réunion le mercredi 14 janvier au ministère de l'écologie et du développement durable (Medd),
- réunion le 21 janvier : Medd, Drire, Noroxo et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 22 janvier : Drire et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 25 janvier à l'usine Noroxo avec Préfecture, Ddass, Drire, Cire et experts Noroxo, sur les conditions de redémarrage de l'installation,
- réunion le 28 janvier : Drire et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 30 janvier : Drire, Noroxo, tiers expert et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 4 février : Drire, Noroxo, tiers expert et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 6 février : Drire, Noroxo, tiers expert et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 25 février : Drire, Noroxo et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 2 mars : Drire et 1 membre de la mission d'appui (visite des sites Noroxo et Mac Cain),
- réunion le 5 mars : Drire, Noroxo et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 16 mars : Drire, Noroxo et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 18 mars : Drire, Noroxo et 1 membre de la mission d'appui.

1.3.2 Les visites sur le terrain

Une visite de l'entreprise Noroxo a été effectuée le mardi 6 janvier 2004 après-midi avec la Dire, la Ddass et la CIRE ; elle a permis de visualiser les installations du site : 2 tours aéro-réfrigérantes et des échangeurs, et de poser des questions aux personnes de Noroxo accompagnant la mission au cours de cette visite. Une nouvelle visite a été faite le 25 janvier 2004, concernant plus particulièrement les circuits de stockage et traitement des eaux usées. D'autres visites ont été effectuées à plusieurs reprises par une partie des membres de la mission.

1.3.3 Les documents consultés

Des documents ont été fournis par la Cire, la Ddass et la Dire au fur et à mesure de l'avancée des investigations et en fonction des demandes de la mission, certains étant établis sous forme de tableaux de bord régulièrement mis à jour. Ces documents concernent l'étude épidémiologique, les résultats des investigations environnementales, les résultats des analyses sur des prélèvements humains et environnementaux, la conception et le fonctionnement des installations de Noroxo, le suivi par l'entreprise des mesures de nettoyage mises en œuvre, les traitements chimiques et leurs conditions de mise en œuvre, les données météorologiques, la localisation et les caractéristiques des installations susceptibles de présenter des risques dans la zone de l'épidémie, l'organisation de la production et de la distribution de l'eau potable...

La mission s'est aussi largement appuyée sur le projet de rapport de synthèse produit par la Cire, la Ddass et la Dire, ainsi que sur le rapport "Evaluation de la dispersion atmosphérique d'aérosols potentiellement contaminés dans la région de Lens" de Laurence Rouïl (Ineris) et le rapport "Etude des moyens mis en œuvre pour la gestion du risque légionelles chez Noroxo" de Michèle Merchat.

Par ailleurs, de nombreux articles scientifiques et rapports d'investigations antérieures ont été consultés.

1.3.4 Les avis et le rapport de la mission

La mission s'est attachée à examiner l'ensemble des investigations réalisées par les services de l'Etat et à analyser les facteurs pouvant être la ou les causes de cette épidémie. Pour cela, les mesures prises par l'entreprise Noroxo ont été particulièrement examinées et des modélisations des possibilités de dissémination à partir de cette entreprise ont été effectuées.

Des avis préliminaires ont été remis au Préfet du Pas-de-Calais, au Directeur général de la santé et au Directeur de la prévention des pollutions et des risques les 16 janvier 2004 et 9 mars 2004 (annexe 2Annexe 2).

Le présent document rapporte et commente les méthodes utilisées pour les investigations épidémiologiques et environnementales, les modélisations effectuées pour l'évaluation de la dispersion atmosphérique d'aérosols potentiellement contaminés dans la région de Lens et l'évaluation de la maîtrise du risque légionelles chez Noroxo. Puis les résultats de ces investigations, modélisations et évaluations sont synthétisés et commentés afin d'éclaircir les différents facteurs ayant pu intervenir dans l'apparition et le déroulement de cette épidémie. Enfin, ce rapport énonce des recommandations concernant les différents axes de recherche et d'études qui pourraient aider à une meilleure compréhension des épidémies de légionelles et améliorer la maîtrise du risque légionelles en milieu industriel.

2 LES METHODES

2.1 Les investigations épidémiologiques et environnementales

L'alerte a été donnée le 28 novembre 2003 par le signalement à la Ddass du Pas-de-Calais de deux cas communautaires de légionellose survenus en 5 jours dans la commune de Harnes. Dès le déclenchement de cette alerte, la Ddass et la Drire se sont rendues (le 28 novembre après-midi) sur les deux principaux sites industriels situés à proximité et équipés de tours aéro-réfrigérantes (Noroxo et Mac Cain). Au vu des derniers résultats d'analyse communiqués sur site par les exploitants, et compte tenu des difficultés déjà rencontrées par Noroxo en matière de taux de légionelles dans ses circuits, une décision d'arrêt de l'installation Noroxo était prise et notifiée le samedi 29 novembre. Le 2 décembre, au total, 9 cas de légionelloses ayant débuté en novembre 2003 et résidant à Harnes étaient recensés auprès des médecins généralistes du secteur et auprès du centre hospitalier de Lens.

2.1.1 Les enquêtes épidémiologiques

2.1.1.1 *Une enquête épidémiologique*

Une enquête épidémiologique descriptive était initiée par la Ddass et la Cire.

Une définition des cas a été établie : un cas était défini comme une personne, résidant ou ayant effectué des déplacements dans un rayon de 12 km autour de Harnes dans les 10 jours précédant le début des signes cliniques, ayant présenté, à partir du 1^{er} novembre 2003, une légionellose à *Legionella pneumophila 1* (Lp1) caractérisée par une pneumopathie radiologiquement confirmée et répondant aux critères de légionellose confirmée (isolement de *Legionella* dans un prélèvement clinique ou augmentation de quatre fois du titre sérique d'anticorps avec un deuxième titre minimum de 128 ou présence d'antigène soluble urinaire ou immunofluorescence directe positive sur un prélèvement clinique) ou probable (titre unique d'anticorps sériques élevés ≥ 256) tels que définis pour la déclaration obligatoire des maladies à l'autorité sanitaire. Les cas nosocomiaux certains (hospitalisés pendant la totalité de la période d'incubation de 10 jours) n'ont pas été retenus pour l'enquête.

Une recherche rétrospective et prospective a été menée auprès des établissements de soins de la région de Lens et des hôpitaux référents de la région Nord-Pas-de-Calais.

La personne malade, ou son entourage proche, a été interrogé par téléphone à l'aide d'un questionnaire standardisé portant sur les circonstances de survenue de la maladie, les antécédents médicaux, le mode de vie, les expositions professionnelles et personnelles ainsi que les déplacements effectués pendant les 10 jours précédant le début des signes de la maladie.

L'analyse descriptive temps lieu personne a été effectuée au fur et à mesure de l'apparition des cas, et complétée par une analyse des facteurs de risque et des lieux fréquentés ; des tableaux, une courbe épidémique et des cartes ont été établis et mis à jour régulièrement. Les données ont été saisies après anonymisation et analysées avec le logiciel Epi Info 6.04d. La cartographie a été réalisée à l'aide du logiciel ArcView 3.

2.1.1.2 *Une enquête analytique*

Cette enquête, de type cas-témoins, avait pour objectifs d'identifier des facteurs associés à la survenue de la maladie notamment des facteurs liés à l'hôte, à son habitat ou à ses habitudes de vie.

Pour cette enquête, ont été retenus les cas confirmés de l'enquête descriptive survenus depuis le 1^{er} novembre 2003 et recensés au 15 janvier 2004 dans une zone comportant Harnes et les 10 communes limitrophes où au moins deux cas avaient été observés. Trois témoins ont été appariés à chaque cas selon des critères de sexe, d'âge (tranche d'âge de 10 ans) et commune de résidence. Les sujets (cas ou témoins) ayant été hospitalisés ou

ayant séjourné à l'étranger pendant tout ou partie de la période d'incubation ont été exclus de l'enquête. Après accord des cas et des témoins pour leur participation à l'enquête, les interviews des sujets ont été effectués à leur domicile à l'aide d'un questionnaire standardisé portant sur les 10 jours précédant le début des signes cliniques du cas et recherchant les antécédents des sujets, les caractéristiques de leur domicile, leurs habitudes et les déplacements effectués. Un temps passé à l'extérieur a été calculé à partir des éléments recueillis sur le lieu, la durée et le moyen de transport utilisé au cours des déplacements.

L'analyse statistique a comporté une analyse univariée avec un seuil conservateur de 0,25 pour retenir les variables incluses dans le modèle multivarié. L'analyse par régression logistique conditionnelle été effectuée ensuite (par étapes descendantes et test des interactions entre les variables avec un seuil de significativité de 0,05) pour aboutir au modèle final.

2.1.2 Les investigations environnementales

Des enquêtes environnementales visant à identifier la ou les sources potentielles de contamination ont été menées par la DIRE et la Ddass en parallèle avec l'enquête épidémiologique dans les 53 communes situées dans un rayon de 12 km autour de Harnes :

- les installations à risque potentiel ont fait l'objet d'un recensement et de contrôles par les services de la DIRE et de la Ddass : tours aéro-réfrigérantes (TAR), autres systèmes de climatisation/réfrigération, stations de lavage de voitures, réseau public d'eau potable, forages privés d'eau potable, forages industriels, stations d'épuration, jets d'eau et fontaines décoratives, engins de nettoyage des réseaux d'assainissement et des voiries, canaux ; des prélèvements itératifs pour recherche de légionelles ont été effectués sur toutes ces installations, jusqu'à l'extinction de l'épidémie ;
- des contrôles ont été réalisés sur les circuits d'eau chaude sanitaire au domicile de tous les cas.

Une méthode expérimentale de mesure de concentration de *Legionella* dans l'air mise au point par le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) a été utilisée pour évaluer l'émission de légionelles par la lagune de l'entreprise Noroxo et par d'autres installations potentiellement à risque. Les prélèvements ont été analysés par PCR et par culture (ce travail a fait l'objet d'un rapport de synthèse).

2.1.3 L'enquête microbiologique

2.1.3.1 *Les prélèvements chez les patients*

Les antigènes urinaires ont été recherchés par les laboratoires des établissements recevant les malades. Les sérologies (immunofluorescence indirecte) ont été effectuées par le laboratoire de biologie spécialisé de l'Institut Pasteur de Lille, puis confirmées en cas de positivité par le Centre national de référence des légionelles (CNRL).

Les prélèvements bronchiques ont été directement adressés au CNRL pour mise en culture et les souches *Legionella* isolées ont été identifiées par immunofluorescence directe.

2.1.3.2 *Les prélèvements environnementaux*

Les analyses des prélèvements environnementaux ont été effectuées par le laboratoire de l'Institut Pasteur de Lille et les souches isolées ont été transmises au CNRL pour identification.

2.1.3.3 *Comparaison des souches humaines et environnementales*

Les souches d'origine clinique et environnementale ont été comparées au CNRL par une technique de typage moléculaire basé sur l'amplification génique (AP-PCR) puis confirmé par l'analyse des profils de macro restriction de l'ADN génomique par électrophorèse en champ pulsé (PFGE).

2.2 L'évaluation de la dispersion atmosphérique d'aérosols potentiellement contaminés dans la région de Lens

Le transport par voie aérienne des bactéries de type légionelle a été étudié en simulant la dispersion atmosphérique de gouttelettes d'eau, potentiellement contaminées, issues d'une installation industrielle et mises en suspension dans le milieu aérien par les dispositifs et procédés de refroidissement et traitement d'eau de process. On retrouve dans ces équipements les circuits de refroidissement dits "évaporatifs" comportant une tour de refroidissement ou tour aéro-réfrigérante (TAR) et également les systèmes de traitement d'eau à base de lagunage dotés de dispositifs d'aération créant une émulsion en surface susceptible de mettre en suspension des aérosols. Ces gouttelettes d'eau sont donc retenues comme traceur du comportement dispersif des bactéries relarguées par ces voies. Les émissions d'aérosols ne sont pas homogènes en terme de contamination dans le temps et dans l'espace. Le traceur permet de représenter les zones de contamination possible (probabilité de présence de germe) mais pas les zones de contamination avérée.

2.2.1 Situations modélisées

Suivant les conclusions de l'enquête épidémiologique qui suggéraient deux vagues épidémiques, l'Ineris a simulé à l'aide d'un modèle de dispersion atmosphérique un certain nombre de situations reprenant les faits marquants de cette période pour Noroxo, du fonctionnement normal des installations à la période d'arrêt où des nettoyages de grande envergure du circuit de refroidissement ont été engagés ainsi que la prise en compte de sources d'émission jugées a priori secondaires mais qui s'avèreront être en mesure de jouer un rôle non négligeable dans la dispersion d'aérosols potentiellement contaminés dans l'environnement, comme la lagune de traitement des eaux process.

Les caractéristiques d'émission retenues pour les TAR sont celles des installations du site Noroxo. En effet, ces tours faisaient l'objet d'investigations poussées de la Drire, suite à la présence constatée de *Legionella* dans les circuits de refroidissement depuis plusieurs mois déjà. De plus l'arrêt de la ventilation des TAR fin novembre coïncidait parfaitement avec l'affaiblissement de cette première vague épidémique.

Les calculs de dispersion réalisés avec un modèle gaussien de seconde génération prennent en compte les paramètres météorologiques et simulent de façon simplifiée le relief et les effets perturbants des bâtiments.

Cinq scénarios ont plus précisément été étudiés :

- période relative à la première vague de l'épidémie ; hypothèse de source : tours aéro-réfrigérantes ;
- période relative à la deuxième vague de l'épidémie ; hypothèse de source : phase de nettoyage du circuit de refroidissement sur l'ensemble du site ;
- période relative à la deuxième vague de l'épidémie ; hypothèse de source : nettoyage des camions transportant des boues en provenance de la société Seac ;
- période relative à la deuxième vague de l'épidémie mais correspondant à la remise en fonctionnement de la ventilation forcée du circuit de refroidissement et du redémarrage de la production ; hypothèse de source : tours aéro-réfrigérantes ;
- ensemble des périodes de contamination possible ; étude du processus de contamination possible à partir des émissions diffuses de la lagune.

Afin de pouvoir multiplier les analyses de sensibilité (du fait du manque de données d'entrée et des nombreuses hypothèses envisagées) et de reproduire les chroniques horaires des

périodes étudiées avec des temps de calcul raisonnables, un modèle simple, de type gaussien, a été jugé comme le plus approprié pour mener ces investigations.

2.2.2 Hypothèses de calcul

Parmi les hypothèses adoptées, l'une des plus déterminantes est que les aérosols simulés ne subissent pas de changement de phase (pas d'évaporation ni de coagulation). Des calculs complémentaires ont été faits en supposant le rejet complètement gazeux aboutissant à des distances d'impact très importantes et sans commune mesure avec les observations faites au cours de cette étude. Enfin, en l'absence de publication sur le sujet, aucune considération concernant la durée de vie des germes en dehors du milieu aquatique n'est prise en compte.

2.3 Etude de la gestion du risque légionelles chez Noroxo

Les conditions de gestion du risque légionelles par l'entreprise Noroxo ont été étudiées à partir des documents fournis par l'entreprise (plans des installations, schémas de process, caractéristiques et spécifications d'utilisation des produits de nettoyage et de traitement, carnet de suivi, protocoles et rapports d'intervention, contrats de prestation, projets de stratégie de gestion, tierce expertise...), et par l'administration (arrêtés préfectoraux, rapports et courriers Dire). Les installations ont été visitées plusieurs fois. Une recherche bibliographique a été réalisée et des contacts ont été pris avec de nombreux experts.

Ont été examinées :

- les conditions de fonctionnement des installations avant leur arrêt du 2 décembre, afin de comprendre les raisons de la contamination du circuit de refroidissement par des légionelles et de leur multiplication,
- les modifications apportées sur l'installation avant redémarrage et notamment les opérations de nettoyage,
- la gestion des installations entre le 22 décembre et le 31 décembre,
- la stratégie de gestion du risque élaborée par Noroxo en février 2004 pour l'obtention de l'arrêté préfectoral de réouverture.

3 LES RESULTATS

3.1 Les investigations épidémiologiques et environnementales

3.1.1 Les enquêtes épidémiologiques

3.1.1.1 *L'enquête descriptive*

Au total, 86 cas confirmés de légionellose à *Legionella pneumophila* 1 ont été inclus dont 84 avec présence d'antigènes urinaires et deux avec séroconversion Lp1.

Les cas sont survenus entre le 5 novembre 2003 et le 22 janvier 2004. L'aspect de la courbe épidémique, évoluant en deux vagues successives, suggérait l'hypothèse d'une source intermittente et persistante de contamination (figure 1).

Tous les cas résidaient ou avaient fréquenté des lieux situés dans un rayon de 12 Km autour de Harnes dans les dix jours précédant le début des symptômes (figure 2). Quarante huit d'entre eux (56 %) résidaient ou avaient effectué des déplacements à Harnes ou dans les quatre communes limitrophes de Harnes. Aucun lieu de fréquentation commun à tous les cas n'a pu être identifié.

Le taux d'attaque global sur la zone des 22 communes de résidence des cas était de 3,9 pour 10 000 habitants. Les taux d'attaque les plus élevés ont été retrouvés dans la commune de Harnes (23 cas ; $16,7/10^4$) et 2 communes avoisinantes : Annay (5 cas ; $10,5/10^4$) et Fouquières-les-Lens (7 cas ; $10,1/10^4$). Avec 23 cas et le taux d'attaque le plus élevé parmi les résidents, la commune de Harnes apparaissait comme l'épicentre de l'épidémie.

L'âge médian des cas était de 75,5 ans [min-max : 32-92] et sexe ratio homme/femme était de 1,5.

Le délai médian entre la date de début des signes et la date du diagnostic était de 4 jours [min-max : 0-29]. Dix-huit cas (21 %) ont nécessité une assistance respiratoire et 10 ont développé une insuffisance rénale nécessitant une épuration extra-rénale. Dix-huit cas (21 %) sont décédés (âge médian 76,5 ans [46-92]).

Un ou plusieurs facteurs individuels favorisant la survenue d'une légionellose ont été retrouvés chez 78 cas (92 %) : consommation d'alcool (51 %), maladies cardio-vasculaires (51 %), tabagisme (34 %), silicose (20 %), bronchite chronique (16 %), diabète (16 %).

3.1.1.2 *L'enquête analytique*

L'enquête analytique a porté sur 59 cas et 177 témoins de 12 communes. L'âge médian des cas et des témoins étaient comparables ainsi que le sexe ratio. Les cas étaient répartis de manière équivalente sur la courbe épidémique.

L'analyse univariée a mis en évidence un facteur de risque lié à l'hôte : la silicose (OR=2,8 ; IC 95 % 1,1-7,1 ; $p<0,03$). Parmi les facteurs liés à l'habitat ou au mode de vie, les sujets ayant été exposés plus de 100 minutes par jour à l'air extérieur pendant les 10 jours précédant le début des signes avaient un risque significativement plus élevé de développer une légionellose que ceux qui n'étaient pas sortis ou étaient restés dehors moins de 100 minutes (OR=2,9 ; IC 95 % 1,1-7,9 ; $p<0,04$).

Dans le modèle final de l'analyse multivariée, 3 facteurs de risque restaient indépendamment et significativement associés à la survenue de la maladie : la silicose, le tabagisme et le fait d'avoir été exposé plus de 100 minutes par jour à l'air extérieur.

3.1.2 Les investigations environnementales

Les recherches de légionelles sur le réseau d'eau chaude sanitaire au domicile des cas se sont révélées positives chez 5 cas (5,8 %). Les souches isolées étaient différentes de la souche épidémique, les concentrations étaient comprises entre 50 et 3 900 000 UFC/L.

Au total, 33 entreprises exploitant des TAR ont été identifiées dans les 53 communes de la zone des investigations.

Trois d'entre elles ont présenté, pendant la période d'étude, des concentrations en légionelles anormalement élevées ($>10^4$ UFC/l), dont l'entreprise Noroxo située à Harnes, et deux autres entreprises situées dans des communes limitrophes de Harnes. Une autre entreprise située à Harnes (Mac Cain) présentait des résultats corrects en matière de concentrations en légionelles mais a fait l'objet d'une mesure de fermeture préfectorale après identification de la souche épidémique.

L'étude de l'historique de surveillance des légionelles dans l'entreprise Noroxo a montré l'existence d'épisodes fréquents de contamination élevée du circuit des TAR par *Legionella* ($>10^6$ UFC/L). Ainsi l'analyse du 15 octobre 2003, réalisée donc 3 semaines avant le début de l'épidémie, était élevée (730 000 UFC/L) ; les traitements mis en œuvre alors avaient permis de ramener cette contamination en dessous du seuil de détection de la méthode (<100 UFC/l, mesurée le 30 octobre 2003). Mais les prélèvements réalisés le 20 novembre suivant montraient une rapide recontamination du circuit (600 000 UFC/L). Les investigations environnementales qui ont été conduites chez Noroxo à partir du 28 novembre ont confirmé l'existence de cette contamination, qui récidivait malgré les mesures de désinfection mises en œuvre par l'entreprise (1000 UFC/L le 30 décembre). La présence de légionelles a aussi été retrouvée à des concentrations élevées dans plusieurs bassins du circuit de collecte et de traitement des eaux usées de l'entreprise, et en particulier dans la lagune aérée (jusqu'à $2,1 \times 10^8$ UFC/L).

Les recherches de légionelles dans les installations de climatisation ou de réfrigération d'établissements recevant du public se sont révélées négatives.

Les recherches faites dans les stations de lavage de voitures ont montré la présence de légionelles ou d'une flore bactérienne importante dans 3 installations (sur 137 investiguées et 160 prélèvements réalisés).

Il n'a pas été retrouvé de légionelles au dessus du seuil de détection dans les réseaux publics d'eau potable, les forages, les jets d'eau et fontaines décoratives, les engins de nettoyage des réseaux d'assainissement, les engins de nettoyage des voiries.

Les prélèvements réalisés dans les stations d'épuration n'ont pas permis d'isoler de légionelles, mais pour plusieurs prélèvements il n'était pas possible de conclure du fait de flore bactérienne élevée.

Les prélèvements atmosphériques réalisés à proximité de la lagune de Noroxo avec aérateurs de surface en fonctionnement et TAR à l'arrêt ont permis la culture de *Legionella* (330 UFC/m³ dans les prélèvements effectués à 270 m de la lagune et 5400 UFC/m³ dans ceux à proximité immédiate de la lagune). Les prélèvements réalisés autour d'autres sites (TAR, lagunes, stations d'épuration) ont montré la présence de légionelles par PCR pour certains mais pas par culture.

3.1.3 L'enquête microbiologique

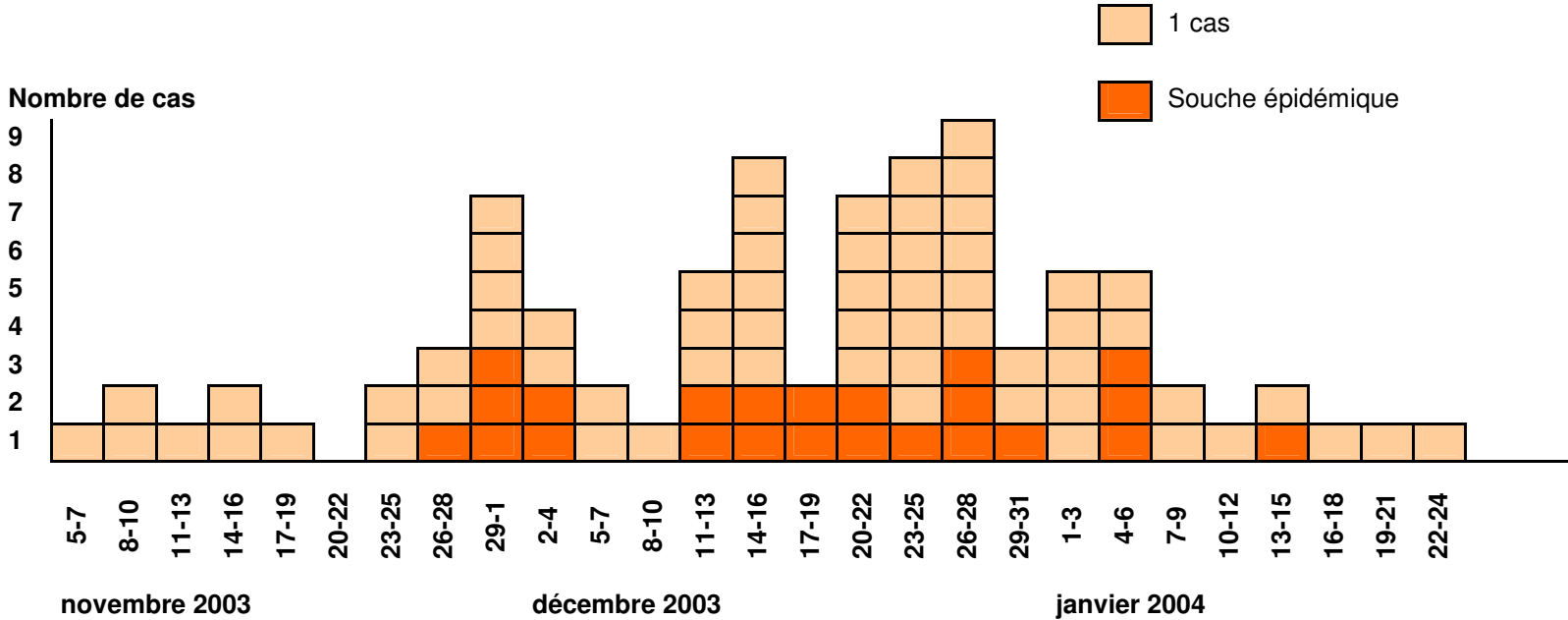
Quarante neuf cas de légionellose ont bénéficié de prélèvements bronchiques. Une souche de *Legionella pneumophila* séro-groupe 1 a été isolée chez 23 d'entre eux (47 %), soit chez 27 % de l'ensemble des cas. Toutes les souches cliniques ont été adressées au CNRL : toutes ces souches étaient identiques entre elles et différentes de celles déjà répertoriées par le CNRL. Elles ont été identifiées chez des cas survenus pendant les différentes phases

de l'épidémie et chez des cas résidant dans toute la zone. La plus éloignée a été identifiée chez un patient résidant à 12 km de Harnes et ne s'étant pas rapproché de cette commune.

Les investigations environnementales ont permis l'identification de nombreuses souches de Légionelles. A l'issue de ces investigations la souche épidémique n'a été retrouvée que sur le site industriel de l'entreprise Noroxo (TAR, lagune, eaux issues du décanteur, entrée du bassin de confinement et boues d'ensemencement de la lagune), dans une station de lavage de voitures et dans une TAR de l'usine Mac Cain, toutes deux situées à Harnes et distantes de moins de 3 kilomètres de l'entreprise Noroxo.

Figure 1 : distribution tri-journalière des cas de légionellose selon la date de début des symptômes

Mission d'appui Légionellose dans le Pas-de-Calais.



3.2 L'évaluation de la dispersion atmosphérique d'aérosols potentiellement contaminés dans la région de Lens

3.2.1 Résultat des simulations pour la première vague épidémique

Ces simulations concernent la première partie de la courbe épidémique, entre le 8 novembre et le 9 décembre. La dispersion d'eau à partir des TAR a été simulée pendant la période du 6 au 28 novembre, le décalage avec la courbe épidémique tenant compte d'une durée d'incubation de 2 à 10 jours.

Les concentrations calculées recouvrent bien la distribution géographique des cas observés (cf carte annexe 2 du rapport Ineris) et sont cohérentes avec les taux d'attaque déterminés à partir des densités de population, comme représenté dans le tableau 1.

Ainsi Annay, commune à proximité du site, sous les vents dominants et où les concentrations calculées sont les plus élevées, connaît un taux de contamination plus important que les autres communes. Les communes de Lens ou Henin-Beaumont, qui n'étaient pas sous l'influence des panaches d'aérosols, connaissent un faible taux de contamination. En revanche le cas de Noyelles qui enregistre un taux d'attaque relativement important par rapport aux concentrations calculées pose question.

Tableau 1 : comparaison entre les concentrations en eau modélisées en provenance des TAR et les taux d'attaque pour la première partie de l'épidémie

Site	Distance à Noroxo et direction	taux d'attaque ¹ 1 ^{ère} vague (pour 10 ⁴)	Concentration en eau pour une température de rejet de 20 °C	Concentration en eau pour une température de rejet de 15 °C
Annay	1600 m N	8,5	15,5 µg/m ³	19 µg/m ³
Wingles	5600 m NW	3,5	3,3 µg/m ³	3,8 µg/m ³
Lens	4600 m SW	0,3	0,78 µg/m ³	0,96 µg/m ³
Harnes Ouest	1000 m S	7,6	4,3 µg/m ³	6,3 µg/m ³
Harnes Est	2000 m SE	1,5	0,38 µg/m ³	0,6 µg/m ³
Noyelles	3000 m S	8,2	1,4 µg/m ³	1,7 µg/m ³
Henin Beaumont	6000 m SE	0,4	0,14 µg/m ³	0,26 µg/m ³

En conclusion, l'analyse effectuée sur ce premier épisode confirme globalement la présence possible de germes issus des tours aéro-réfrigérantes de l'installation Noroxo, dans les zones où des cas de maladie ont été déclarés. Les zones touchées peuvent s'étendre dans un rayon de 10 km autour de l'usine, même si le risque s'affaiblit nettement au-delà de 2 km. Les concentrations calculées s'appuient sur de nombreuses hypothèses et une grande prudence est requise pour leur interprétation. Les conclusions valent d'un point de vue essentiellement qualitatif.

3.2.2 Tentative d'interprétation des résultats en terme de nombre de germes

Sachant que le degré de contamination des tours était de l'ordre de 600 000 à 700 000 germes/litres d'eau entraînée dans la période incriminée, et en supposant leur répartition uniforme, il est possible de déduire à partir des concentrations dans l'air en gouttelettes, une concentration en nombre de germes par m³ d'air. Ceci suppose en outre que les germes soient transportés sans transformation et qu'ils aient une durée de vie suffisante.

Ce calcul simple permet de déduire qu'une concentration en eau contaminée de **1 µg/m³** équivaut grossièrement à **7.10⁻⁴ germes/m³ d'air**. Une personne ayant une capacité

¹ soit le nombre de cas, recensés dans la période, rapporté au nombre d'habitants de la commune.

respiratoire moyenne de 1,2 m³/heure devrait alors rester exposée 50 jours pour inhaler l'équivalent d'un germe (ou probabilité qu'une personne sur 50 inhale un germe en une journée pour une exposition unitaire de 1µg/m³).

Ainsi dans les zones les plus exposées (Annay jusqu'à 22 µg/m³) la durée d'exposition des individus devrait se situer autour de 40 heures, alors que pour la plupart des communes concernées (exposées à des concentrations de l'ordre de 5 à 10 µg/m³), la durée d'exposition nécessaire est de l'ordre de 5 à 10 jours.

3.2.3 Simulations pour la deuxième vague de l'épidémie

La partie de la courbe épidémique considérée est celle postérieure au 9 décembre. Durant la première partie de cette période, l'exploitation de Noroxo était à l'arrêt (arrêt des ventilateurs des TAR le 2 décembre au soir). Le personnel était mobilisé pour le nettoyage de l'ensemble du circuit de refroidissement du 8 décembre au 17 décembre. La ventilation des TAR était remise en service le 22 décembre, jusqu'à un nouvel arrêt le 3 janvier au soir. Ces deux phases, représentées par différentes hypothèses d'émission, ont fait l'objet de simulations afin d'évaluer leur contribution possible à l'épidémie de légionellose.

3.2.3.1 *Phase de nettoyage à l'aide de jets à haute pression*

Les hypothèses relatives à la phase de nettoyage ont été bâties en fonction des informations recueillies au cours de réunions de travail de la mission d'appui avec l'exploitant et la DIRE ainsi que des visites effectuées sur le site. Des opérations décrites en réunion du 5 janvier, mentionnant l'utilisation de jets à haute pression en hauteur ont été retenues. En effet, ce dispositif génère par principe des aérosols potentiellement porteurs des bactéries suite au décapage ou décollage des revêtements ou agglomérations de biofilms.

Grâce à une représentation simple du terme source, les possibles distances d'impact de ces travaux ont été appréhendées. Elles demeurent significatives du point de vue de la dispersion. Etant donné les approximations faites pour évaluer les émissions, cette modélisation doit surtout être considérée d'un point de vue qualitatif.

Le tableau 2 présente les résultats de concentration en eau obtenus, en regard des taux d'attaque dans la 2^{ième} vague de l'épidémie.

Tableau 2 : comparaison entre les concentrations en eau modélisées en provenance de jets haute pression et les taux d'attaque pour la deuxième partie de l'épidémie.

Site	Distance à Noroxo et direction	Taux d'attaque ² dans la 2 ^{ième} vague (pour 10 ⁴)	Concentration en eau pour une hauteur de rejet de 15m (µg/m ³)
Annay	1600 m N	7,33	14.7
Wingles	5600 m NW	2,32	2.6
Lens	4600 m SW	0,52	0
Harnes Ouest	1000 m S		7.9
Harnes Est	2000 m SE	4,63	0
Noyelles	3000 m S	5,54	0
Henin	6000 m SE	4,41	1.35

Il est intéressant de noter que les concentrations dans l'environnement sont du même ordre de grandeur que celles calculées pour la première vague. Cela s'explique par les hauteurs de rejets, qui favorisent la dispersion en champ lointain, et par les débits considérés, finalement relativement importants.

² soit le nombre de cas ramené au nombre d'habitants dans les communes étudiées

3.2.3.2 Phase de nettoyage des camions approvisionnant les boues de ré-ensemencement de la lagune

Le site Noroxo de Harnes dispose d'une lagune contribuant au traitement des effluents aqueux des procédés. Le maintien de l'activité bactérienne nécessite un ré-ensemencement régulier de la lagune afin de maintenir sa capacité à traiter les effluents. Pour cela, Noroxo importe des boues issues d'une station de traitement des eaux d'une autre société spécialisée dans la chimie fine. Des analyses ont révélé des concentrations très élevées de *Legionella* dans ces boues (10^{10} UFC/L), avec présence de la souche épidémique.

Les camions transportant les boues sont lavés à la lance après livraison sur le site de Noroxo. Comme précédemment, ces jets sont susceptibles de générer des aérosols. Ceux-ci impactant des surfaces porteuses de très grandes quantités de bactéries, il est légitime de s'interroger sur la dispersion d'aérosols potentiellement contaminés suite à ces opérations de nettoyage.

La période de nettoyage proprement dite, même si elle se renouvelle plusieurs fois dans la journée, peut être relativement courte (de l'ordre du 1/4 d'heure). Ne disposant d'aucun élément précis sur les heures et durées de lavage durant ces journées, plutôt que de modéliser des situations moyennes, il a été jugé plus pertinent de simuler des conditions météorologiques types, compatibles avec celles observées durant les journées en question et d'évaluer jusqu'à quelle distance et combien de temps après la fin du rejet, la présence d'aérosols potentiellement contaminés pouvait être observée.

Les résultats obtenus après mise en œuvre du logiciel PHAST³, généralement utilisé pour simuler des rejets intermittents de type accidentel, sont consignés dans le tableau 3 ci-dessous. Pour chaque situation, la distance à laquelle les gouttelettes d'eau liquide disparaissent ainsi que le temps au bout duquel le nuage atteint cette distance sont donnés.

Tableau 3 : distance et temps de disparition d'aérosols émis ponctuellement pendant une opération de nettoyage de citerne

Caractéristique des situations	Distance à laquelle les aérosols disparaissent	Temps au bout duquel cette distance est atteinte
18 déc : 2.5 m/s classe E	850 m	620 s
31 déc : 1.5 m/s classe F	1 300 m	1 400 s
7 janv: 4 m/s classe D	190 m	60 s
8 janv : 8 m/s classe A	70 m	10 s

Ainsi une situation de forte stabilité (classe F et E) conduit à des distances d'impact importantes.

3.2.4 Période de redémarrage de l'exploitation

L'hypothèse d'une nouvelle émission d'aérosols contaminés au moment du redémarrage de l'exploitation étant plausible, le calcul de la dispersion de gouttelettes dans l'environnement a été effectué sur plusieurs périodes partant de la remise en fonctionnement de la ventilation forcée du circuit de refroidissement jusqu'à l'arrêt total de l'exploitation, soit entre le 22

³ Une évaluation de ce modèle est disponible sur le site www.ineris.fr

décembre 2003 et le 4 janvier 2004. Les caractéristiques du terme source sont identiques à celles définies pour le premier épisode de l'épidémie, dans la mesure où aucune hypothèse n'est faite dans cette modélisation sur la concentration en germes des aérosols émis. Les résultats de ces calculs n'apportent pas d'information nouvelle par rapport aux calculs effectués pour la première vague de l'épidémie.

3.3 Maîtrise du risque légionelles dans les circuits de refroidissement humides chez Noroxo

L'étude détaillée des conditions de mise en œuvre des traitements préventifs et curatifs contre la prolifération des légionelles ainsi que l'analyse de la gestion globale du risque sanitaire sur le site Noroxo montre :

- que les moyens mis en œuvre avant l'arrêt du début décembre 2003, pour lutter contre la prolifération des légionelles dans les TAR et leur dissémination dans l'environnement étaient insuffisants :
 - des défauts de conception favorisaient la formation de biofilm : stagnation d'eau, vitesses d'écoulement trop faibles dans de nombreuses portions du circuit, difficultés pour assurer le nettoyage mécanique de certains échangeurs, absence de purges pour drainer les dépôts sur les points bas ;
 - la stratégie de traitement ne permettait pas non plus d'éviter la formation de biofilm ni de lutter efficacement contre la prolifération des légionelles qui se développent dans ce milieu. En fonctionnement normal, l'ensemble du circuit n'a donc pas été nettoyé efficacement. L'efficacité des désinfections était ponctuelle, la re-contamination de l'eau à partir du biofilm persistant était récurrente. De plus, les conditions de mises en œuvre des traitements chimiques préventifs et curatifs n'étaient pas adaptées : interaction entre biocides, concentration en oxydants résiduels faibles, appareillages sous dimensionnés. Sur un circuit aussi complexe avec une hydraulique difficile à maîtriser, seule l'injection du biodispersant⁴ en continu et sans complément de produit anti-mousse aurait permis l'élimination progressive du biofilm, et évité ensuite qu'il se forme à nouveau.
- que le nettoyage mécanique d'une portion du circuit (tour, condenseurs) tel qu'effectué lors de l'arrêt de décembre 2003 n'a pu avoir qu'une efficacité partielle. Les conditions de mise en œuvre du nettoyage chimique n'ont certainement pu que fragiliser par endroit les dépôts biologiques (injection ponctuelle de biodispersant associé à un anti-mousse).
- que, lors du redémarrage, des bactéries et voire même des « morceaux » de biofilms ont pu être facilement libérés dans l'eau sous l'effet des forces hydrauliques. En effet, la période suivant la remise en service d'un circuit après nettoyage mécanique des parties accessibles (tours et/ou condenseurs), est critique ; il est difficile de s'assurer que les dépôts aient été tous éliminés ; un traitement préventif permet de réduire le risque de recontamination de l'eau. De plus, dans le cas spécifique de Noroxo, pendant la période de décembre, le biofilm sur toutes les surfaces en contact avec l'eau a été fortement fragilisé par des traitements chimiques successifs peu ou pas efficaces.
- que les dérives des paramètres indicateurs vers des seuils critiques n'étaient pas totalement interprétés (Légionelles, flore totale) ou pas représentatifs (ATP) et que le

⁴ en l'état actuel des connaissances

personnel exploitant manquait de connaissance sur le risque lié aux circuits de refroidissement qui constituent un écosystème spécifique favorable au développement de Légionelles.

L'étude des possibilités de contamination des TAR par la souche épidémique amène à écarter l'alimentation en eau d'appoint par forage ou la remontée des eaux usées jusqu'à la purge de la lagune. Les autres possibilités sont principalement la voie aérienne :

- systèmes d'aération de la lagune,
 - opérations de lavage de citernes sur l'aire de lavage située à 300 m des TAR, notamment pour les camions de livraison des boues d'ensemencement,
 - dégazage des citernes de camions lors d'opérations de pompage de boues de divers bassins,
 - nettoyage du filtre-presse (pressage de boues)
 - opérations de dépotage des boues d'ensemencement en provenance de l'usine SEAC,
- Il est aussi possible qu'il y ait eu contamination directe du bassin des TAR par le flexible lors d'opérations de pompage des boues.

3.4 Risques d'émission d'aérosols pendant les opérations de nettoyage chez Noroxo

Après arrêt des installations le 2 décembre, des travaux de nettoyage des systèmes de réfrigération ont été mis en œuvre durant la période du 8 au 20 décembre 2003. Certaines opérations étaient de nature à provoquer la dissémination d'aérosols fortement contaminés. En effet, les traitements chimiques successifs avant l'arrêt (21 et 29 novembre et le 2 décembre) ont permis de neutraliser les bactéries dans l'eau circulante, et ont très probablement fragilisé, sans les éliminer, les biofilms présents sur les surfaces en contact avec l'eau. Ainsi, lors des opérations de nettoyage mécanique à l'aide d'eau sous pression, les aérosols ont pu être fortement « concentrés » en légionelles. La présence de chlore dans l'eau du jet haute pression ne garantit pas un abattement des légionelles (temps de contact incertain, consommation du chlore par la matière organique).

- nettoyage des tours

Tous les éléments internes des tours ont été nettoyés par brossage et désinfectés par bain de javel à 1000 mg/l pendant une demi journée. Certains éléments ont été en outre nettoyés au jet haute pression avec de l'eau chlorée (1000 mg/l) entre le 13 décembre à 6h00 et le 17 décembre à 21h59.

Tableau 4 : formation potentielle d'aérosols lors du nettoyage des tours de refroidissement

Date	Equipement	Type d'appareil	Pression en bars	Lieu	Aérosols
du 12 au 15/12	Séparateurs de gouttelettes	Type karcher	500 80 et 120	Au sol sur palette de bois	+
le 13/12	Collecteurs	Furet	500	Sommet des tours	++
le 17/12	Passerelles et bardage	Pistolet et lance	500 et <25	Sommet des tours	++
le 17/12	Bassins	Pistolet	500	Niveau sol	+

- nettoyage des condenseurs

L'usine de Noroxo comporte 79 échangeurs dont 59 tubulaires, 7 platulaires et 13 autres systèmes (refroidissement direct du moteur des pompes par l'eau des tours).

Le nettoyage mécanique d'une partie des échangeurs s'est effectué du vendredi 12 décembre (23h30) au lundi 15 décembre (4h).

Les systèmes ayant une température de peau⁵ comprise entre 25 et 60°C et/ou débit d'eau inférieur à 0,5 m/s ont été classés échangeurs de priorité 1. Cela représentait 15 échangeurs dont 10 ont été nettoyés au furet haute pression (500 bars) entre le 8 et le 17 décembre. Les opérations au jet haute pression ont été réalisées de jour et de nuit.

Après ouverture, toutes les pièces déposées étaient mises à disposition sur aire de lavage et nettoyées au jet haute pression (500 bars).

Les surfaces d'échanges ont été nettoyées sur place au furet ou lance haute ou basse pression.

Les condenseurs tubulaires sont en position verticale à 10 ou 15 mètres du sol. Le furet de la taille du tube ou faisceau, pénètre par le haut pour être dirigé vers le bas, jusqu'à ce qu'il sorte du tube (tel un écouvillon). Les dépôts entraînés sont « poussés » vers le bas et tombent en pluie sur le sol. D'importants aérosols peuvent être générés au moment où le furet arrive en fin de tube.

Tableau 5 : formation potentielle d'aérosols lors du nettoyage des échangeurs de priorité 1

Date	Horaires	Élément	Type appareil	Hauteur	Pression	Durée (h)	Aérosols
8-9/12	22h à 5h59	E2422	Tubulaire à calandre	Sol	Furet 500	4	++
11/12	8h à 16h59	E3423	Tubulaire tube	Sol	Circulation <25	1	-
		E2422	Tubulaire à calandre	Sol	Furet 500	4	++
		T2710/2750/2760	« autres »	15 m	Furet 500	4	+++
12/12	8h à 16h59	E2370	Platulaire	10 m	Furet 500	4	+++
		E2731	Tubulaire tube	Sol	Circulation <25	?	-
		E3412	Tubulaire tube	Sol	Furet <25	2	+
15/12	8h à 16h59	E2470	Tubulaire tube	Sol 10 m	Furet 500	4 4	++ +++
		E3321	Tubulaire tube	Sol	Circulation <25	3	-
		E3413	Tubulaire tube	Sol	Circulation <25	1	-
		E3429	Tubulaire à calandre	Sol	Circulation <25	1	-

Le nettoyage des échangeurs de priorité 2 (soit 9 échangeurs identifiés selon un historique d'encrassement) a consisté en une circulation inverse d'eau javellisée à un débit maximum avec injection au plus près de l'appareil sur la tuyauterie d'arrivée d'eau de réfrigération, d'un mélange air/azote à une pression de 4 bars et contrôle ponctuel du résiduel de chlore dans l'eau circulante (5 mg/l).

Certains échangeurs ne pouvant pas être isolés, ont du être traités par groupe.

⁵ température de l'eau sur les surfaces de la surface d'échange (la plus chaude du circuit de refroidissement)

L'azote a été utilisé dans le but de favoriser le décrochage des dépôts par effet mécanique des bulles.

Le dégazage de l'azote s'est produit au niveau de « boîtes » de collecte de l'eau en provenance des échangeurs, qui sont pour certaines à 15 m de hauteur, ces dégazages pouvant s'accompagner d'envols de gouttelettes fines.

Ces opérations ont été effectuées entre le 12 (8h) et le 15 décembre (16h59).

3.5 Maîtrise du risque légionelles dans les circuits de refroidissement humides chez Mac Cain

L'annexe 3 précise les conditions de gestion du risque dans l'installation Mac Cain.

La société Mac Cain, installée à Harnes, possède sur son site des tours de refroidissement sur deux circuits primaires fermés indépendants. L'eau dans chaque tour est pulvérisée sur un échangeur dans lequel circule l'eau du circuit condenseur qui est en circuit fermé. Les circuits secondaires ouverts sur l'extérieur dans lesquels des légionelles sont susceptibles de se développer et d'être diffusées dans l'environnement ont un volume respectivement de 15 et 10 m³.

Les résultats d'analyses de l'eau des circuits de refroidissement montrent que des légionelles ont été détectées en août 2003 sur le circuit Ferguson (7050 UFC/L non *L. pneumophila*), puis le 29 décembre 2003 sur le circuit Samifi (souche épidémique à 100 UFC/L) et le 12 janvier 2004 sur le circuit Ferguson (2200 UFC/L *L. p* souche non épidémique). A noter que sur les 14 analyses réalisées entre le 4 octobre 1999 et le 2 mars 2004 sur le circuit Samifi, des légionelles n'ont été détectées qu'une seule fois, le 29 décembre 2003.

Un traitement préventif avait été réalisé le 1^{er} décembre 2003.

Suite aux résultats du prélèvement du 29/12/03, l'arrêt du site a été demandé par la Préfecture (arrêt le 19/01/04), non pas pour concentration élevée, mais pour détection de la souche épidémique dans le circuit Samifi.

Une procédure de nettoyage a été mise en place intégrant les remarques faites par la Drire.

Les tours et les entrées d'air coté ventilateurs **ont été complètement bâchées.**

Après un détartrage chimique, l'eau additionnée de biodispersant a circulé purge fermée pendant environ 2 heures dans le but de nettoyer toutes les surfaces en contact avec l'eau.

Un biocide oxydant a été rajouté pour désinfecter. L'eau a circulé en boucle, y compris dans les tours, sans ventilation et sans pression, pendant plus de 6 heures (concentration en chlore résiduel entre 20 et 70 mg/l). Après neutralisation, les circuits ont été vidangés. Les circuits ont été rincés par circulation d'eau (pendant 17 minutes). Un deuxième nettoyage était prévu selon la turbidité de l'eau au moment du remplissage et a été réalisé. La turbidité de l'eau a diminué lors du second nettoyage/désinfection par rapport au premier : 157 à 85 NTU sur le circuit Ferguson et 150 à 80 sur le circuit Samifi.

Toutes les informations (chlore libre, turbidité) ont été enregistrées toutes les 10 min. au début des opérations puis toutes les demi-heures.

Aucun bras mort n'a été repéré, et les zones de faible circulation hydraulique identifiées sont inévitables (points de purges, piquages pour manomètres, vannes de prélèvement, by-pass de pompes et purgeurs d'air). Ces différentes zones ont été traitées par ouverture et fermeture des vannes à plusieurs reprises lors de chaque étape afin que les différents produits puissent agir.

Les opérations de nettoyage se sont terminées le 23/01/04. Le jour même, avant redémarrage des équipements, un traitement préventif a été réalisé : injection d'un biocide non oxydant associé à un biodispersant.

Pendant les opérations de nettoyage, toutes les précautions ont été prises pour éviter l'envol d'aérosols.

L'état des parties internes des tours était contrôlé annuellement (dernier contrôle en juillet 2003). Au regard des documents fournis, rien ne permet de penser que le risque de dissémination de légionelles ait été augmenté du fait de la gestion des tours.

4 DISCUSSION

4.1 Commentaires sur les méthodes

Les modalités de l'investigation épidémiologique et environnementale sont conformes à la bonne pratique d'une enquête à visée décisionnelle ayant pour objectif la détermination d'une origine à l'épidémie afin de prendre les mesures de contrôle nécessaires.

L'enquête analytique a utilisé une méthodologie cas-témoins classique pour répondre à l'objectif fixé. Il faut cependant souligner qu'une analyse statistique plus complexe à partir d'une estimation d'un "budget espace-temps" est en cours de réalisation.

L'investigation environnementale a été effectuée très largement avec un recensement sur 53 communes de toutes les sources possibles de légionelles, privées, publiques et industrielles. La méthode de prélèvements d'eau et d'analyse de ces prélèvements a été classique et a respecté les recommandations de bonnes pratiques. Les prélèvements d'air ont été effectués pour la première fois en milieu extérieur ; la méthode reste à valider cependant on peut noter qu'elle a permis de mettre en évidence la souche épidémique non seulement par PCR mais aussi par culture, prouvant ainsi l'existence dans l'air d'une souche vivante.

Les analyses microbiologiques des souches humaines et environnementales ont été effectuées par les méthodes de référence dans les conditions habituelles par le CNRL ; les résultats du CNRL peuvent être admis sans contestation.

La modélisation de la propagation par voie aérienne des légionelles par les TAR a été effectuée en simulant la dispersion de gouttelettes d'eau d'un diamètre moyen de 5 µm comme traceur. La granulométrie effective des aérosols n'est pas connue. Par ailleurs les phénomènes d'évaporation ou de coalescence n'ont pas été pris en compte. D'autre part aucune hypothèse relative à la possible présence de bactérie n'a été incorporée (durée de vie, conditions de développement, fixation éventuelle sur des particules...). Il est donc important de limiter l'interprétation des résultats au champ qualitatif : possibilité de présence des germes à une certaine distance des installations.

4.2 Discussion sur les résultats

4.2.1 Les caractéristiques de l'épidémie

Il s'agit de la plus importante épidémie de légionellose constatée en France :

- en nombre de cas identifiés (86 dont 23 pour lesquels la souche épidémique est retrouvée ; 18 décès soit 21 %) ;

- en durée : du 5 novembre 2003 au 22 janvier 2004, soit 2 mois et demi, avec une courbe à deux bosses suggérant une source persistante mais avec des pics de dissémination de légionelles ;
- en dispersion géographique : jusqu'à 12 km de la source (1 cas avec une souche épidémique identifiée n'ayant pas quitté son domicile dans le délai compatible avec la période d'incubation de la maladie) ce qui est supérieur aux distances habituellement retenues [1] ;
- survenue à une époque de l'année inhabituelle : en hiver alors que les épidémies en France se déclarent habituellement en été (entre début novembre et mi janvier, la température moyenne de l'air était d'environ 5 °C et l'humidité relative était en moyenne de 90 %).

Parmi les facteurs de risque identifiés, l'enquête analytique met en évidence 3 facteurs de risque indépendants :

- un facteur de risque répertorié classiquement, le tabagisme ;
- un facteur de terrain non identifié à ce jour, la silicose. Il faut noter que cette épidémie est survenue sur le secteur géographique d'un ancien bassin minier ; il est possible que la prévalence importante de la silicose dans cette région ait favorisé l'extension de l'épidémie de légionellose ;
- un facteur d'exposition "avoir été exposé à l'air extérieur plus de 100 minutes par jour", qui correspond une exposition environnementale à l'air extérieur.

La souche épidémique était identifiée pour la première fois ; elle n'était pas connue dans la base du millier de souches humaines répertoriées par le CNRL. Elle présente peut-être des caractéristiques particulières qui méritent d'être étudiées (voir chapitre recommandations).

Il faut noter que les facteurs d'exposition ont été étudiés sur la base de la possibilité d'une acquisition de la maladie dans les 10 jours précédents le début des signes cliniques. Or une étude a rapporté l'apparition de cas jusqu'à 20 jours après l'exposition [2].

4.2.2 Les hypothèses envisagées concernant la source de l'épidémie

La recherche des sources de cette épidémie a mobilisé des moyens importants. Toutes les hypothèses ont été envisagées et de nombreuses analyses ont été réalisées sur une aire géographique importante englobant les communes où sont survenus les cas.

L'eau des réseaux publics d'eau potable ne peut être incriminée comme vecteur de légionelles qui se seraient ensuite développées dans des réseaux d'eau chaude sanitaire ou dans d'autres installations utilisant cette eau : outre qu'on n'a trouvé de légionelles ni dans les réseaux d'eau potable, ni dans les forages, on n'a pas non plus trouvé la souche épidémique parmi les souches de légionelles identifiées dans les installations d'eau chaude sanitaire des cas. De plus la zone est desservie par plusieurs réseaux d'eau potable indépendants.

La souche épidémique, seule souche de légionelles identifiée chez les malades pour lesquels une culture a pu être réalisée, n'a été retrouvée dans leur environnement que sur la commune d'Harnes, qui est la commune ayant eu le taux d'attaque le plus élevé. L'enquête environnementale et l'enquête épidémiologique apparaissent de ce point de vue parfaitement cohérentes.

A Harnes, la souche épidémique a été retrouvée dans plusieurs installations de Noroxo et dans 2 autres lieux :

- la station de lavage de voitures située à 300 m de l'usine Noroxo,

- la TAR de l'usine Mac Cain située à 3 km environ de Noroxo.

La souche épidémique a été aussi retrouvée en concentration extrêmement élevée dans les boues d'ensemencement de la lagune en provenance de l'entreprise Seac, située à environ 25 km de Harnes, ce qui semble clairement signer la façon dont la souche épidémique est entrée dans la région de Lens. Les investigations menées sur les installations de l'entreprise Seac ont confirmé la présence de la souche épidémique en concentration élevée (10^8 UFC/L) dans sa station d'épuration. Cependant la recherche de cas de légionellose à proximité de cette entreprise a été négative.

Concernant la station de lavage de voitures

Les 2 prélèvements effectués le 15 décembre par la Ddass sur les lances haute pression de la station de lavage ont montré la présence de Lp1 (1600 Lp1/L). Sur les deux prélèvements, le CNRL a identifié la souche épidémique parmi les souches analysées.

Les prélèvements ayant été faits au premier jet, il faut noter que chaque lance était placée pendant les périodes de non utilisation dans un fourreau non percé en partie basse et dans lequel de l'eau restait en stagnation. L'eau prélevée a donc pu comprendre à la fois de l'eau du circuit de lavage et de l'eau ayant stagné dans le fourreau.

Cette station de lavage a été fermée le 24 décembre au vu des résultats montrant la présence de légionelles, pour un nettoyage et une désinfection, puis elle a été remise en service le 27 décembre (avant connaissance de l'identification de la souche). Le prélèvement de contrôle du 29 décembre montrait l'absence de légionelles.

Bien qu'il n'y ait pas eu d'analyse de l'eau d'alimentation du circuit de lavage avant désinfection, il y a tout lieu de penser que celle-ci n'était pas contaminée par la souche épidémique qui est plutôt arrivée par voie aérienne et a colonisé l'eau stagnant dans les fourreaux. Cette opinion est étayée : 1) par le fait qu'aucune autre installation en relation avec le réseau d'eau potable n'ait été trouvée contaminée par la souche épidémique, 2) par la proximité entre la station de lavage et la TAR de Noroxo (300 m).

La diffusion de légionelles dans l'environnement par la station de lavage ne peut être écartée, toutefois :

- la quantité de légionelles diffusée n'a pu être que très limitée, puisque la presque totalité des envols de gouttelettes en provenance des buses de lavage proviennent du réseau et non des quelques gouttes d'eau baignant la buse,
- l'enquête auprès des cas a montré qu'ils ne fréquentaient pas cette station de lavage et que seuls quelques uns d'entre eux avaient circulé à proximité.

Concernant l'installation Mac Cain

Cette installation possède 2 circuits de refroidissement indépendants.

Dès la déclaration des deux premiers cas à Harnes le 28 novembre 2003, des prélèvements ont été faits sur les 2 seules installations d'Harnes connues comme ayant des TAR humides sur leurs circuits de refroidissement : Noroxo et Mac Cain. Les prélèvements ont été faits en double sur les 2 bâches de l'installation Mac Cain (circuit Samifi et circuit Ferguson) et analysés par 2 laboratoires différents (soit 4 analyses). Aucune des analyses ne donnait un résultat supérieur au seuil de détection. Les 2 prélèvements réalisés le 22 décembre donnaient des résultats inférieurs au seuil de détection. Un des 2 prélèvements réalisés le 29 décembre (circuit Samifi) montrait une faible présence de légionelles (100 UFC/L). Le CNRL identifiait la souche épidémique sur ce prélèvement. Les 2 prélèvements suivants du 6 janvier étaient inférieurs au seuil de détection. Un des 2 prélèvements du 13 janvier montrait la présence significative de légionelles non Lp1 (2 200 UFC/L), sur le circuit Ferguson.

Les analyses d'autocontrôle réalisées avant l'épidémie le 28 août montraient la présence de légionelles non Lp1 en quantité significative (7.10^3 UFC/L) sur le circuit Ferguson, l'analyse réalisée sur le circuit Samifi étant inférieure au seuil de détection. Sur les 14 analyses

réalisées sur le circuit Samifi entre le 4 octobre 1999 et le 2 mars 2004 , des légionelles n'ont été détectées qu'une seule fois, le 29 décembre.

Ces résultats d'analyse sont le reflet d'une gestion qui paraît correcte, du risque légionelles dans l'installation Mac Cain, installation dont les volumes d'eau des circuits ouverts sur l'extérieur sont beaucoup plus faibles que ceux de l'installation Noroxo (10 + 15 m³ versus 1200 m³).

L'installation a fonctionné pendant toute la durée de l'épidémie jusqu'au 19 janvier où elle a été arrêtée suite aux prélèvements du 29 décembre (reprise de l'activité le 23/01/04).

Les prélèvements réalisés par le CSTB dans le panache de la TAR de Mac Cain le 14 janvier ne mettaient pas en évidence la présence de légionelles, ni en culture, ni par la méthode FISH, alors que les prélèvements réalisés dans le panache de la plupart des autres TAR montrait la présence de légionelles en méthode FISH.

Considérant la présence de légionelles en quantité limitée et la détection tardive de la souche épidémique dans cette installation, celle-ci ne peut être considérée comme responsable de l'épidémie. Il faut aussi considérer le fait que l'épidémie s'est arrêtée alors que cette installation fonctionne toujours. On ne peut toutefois pas exclure qu'elle ait pu participer à la diffusion de la souche épidémique en fin d'épidémie et que les opérations de nettoyage réalisées pendant l'arrêt aient été efficaces. A noter que cette installation a une puissance du même ordre de grandeur que celle de Noroxo (12 260 kW pour Mac Cain, 11 600 kW pour Noroxo).

La contamination de l'installation Mac Cain par la souche épidémique s'est, selon toute vraisemblance, faite par voie aérienne à partir des émissions de Noroxo.

4.2.3 Discussion concernant l'installation Noroxo

Cette entreprise est la seule à présenter une contamination généralisée de ses installations par la souche épidémique : TAR, lagune, eaux issues du décanteur, entrée du bassin de confinement et boues d'ensemencement de la lagune.

On constate globalement que l'arrêt de toute activité dans cette entreprise s'est accompagné d'un arrêt définitif de l'épidémie : arrêt définitif des ventilateurs des TAR le 3 janvier au soir, dernière livraison de boues d'ensemencement de la lagune le 8 janvier, arrêt des aérateurs de la lagune le 20 janvier, dernier cas de légionellose le 22 janvier 2004.

Comme dit précédemment, la souche épidémique est manifestement entrée chez Noroxo par l'intermédiaire des camions de livraison des boues d'ensemencement de la lagune. Cette entreprise est donc la première à avoir été contaminée par la souche épidémique.

La date de contamination ne peut être déduite des analyses réalisées. Le premier prélèvement ayant permis d'identifier la souche épidémique est celui réalisé sur le circuit des TAR le 28 novembre. L'analyse rétrospective des souches identifiées par le laboratoire d'autocontrôle sur le prélèvement du 15 octobre fait sur le circuit des TAR n'a pas permis de retrouver la souche épidémique. L'examen des dates de livraison des boues (cf rapport de Michèle Merchat) montre que ces livraisons se sont accélérées à partir du mois d'octobre, après plusieurs mois d'arrêt. Cette augmentation des livraisons de boues, probablement déjà contaminées par la souche épidémique, a augmenté la probabilité de contamination, par voie aérienne, du circuit des TAR. Cette contamination a pu se faire de plusieurs manières : opérations de dépotage des boues, systèmes d'aération de la lagune, nettoyage des citernes (notamment celles des camions de livraison des boues), filtration des boues de la lagune, démarrage des citernes lors d'opérations de pompage... Le démarrage de l'épidémie début

novembre apparaît ainsi n'être pas un fait du hasard mais vraisemblablement une conséquence de l'activité d'ensemencement.

Une question apparaît toutefois : pourquoi cette souche n'a-t-elle pas provoqué de cas de légionellose dans l'environnement de la société Seac, celle-ci étant équipée notamment d'une TAR (contaminée par la souche épidémique) pour refroidir les effluents de sa station d'épuration dans laquelle la présence de légionelles à des concentrations élevées a été confirmée ? Plusieurs hypothèses peuvent être envisagées : émission moins importante de légionelles en fonction des caractéristiques techniques des installations de Seac, population exposée moins nombreuse et/ou moins sensible, modification de la virulence de la souche dans les installations Noroxo suite au changement de milieu.

La souche épidémique a été retrouvée dans plusieurs installations de l'entreprise Noroxo. L'examen des relations entre les différents bassins de stockage et des opérations de transferts de boues montre qu'elle a pu contaminer la quasi-totalité des bassins et réseaux de collecte des eaux usées. Des émissions occasionnelles d'aérosols contaminés ont pu se produire lors de différentes opérations comme vu plus haut. Les installations et opérations qui ont pu émettre des aérosols de légionelles de façon significative sont les TAR, les opérations de nettoyage du circuit d'eau des TAR, les aérateurs de la lagune et le lavage des camions citerne de livraison des boues d'ensemencement.

4.2.3.1 Les tours aéro-réfrigérantes

Les circuits de refroidissement par voie humide sont fréquemment identifiés comme responsables d'épidémies de légionellose. Naturellement colonisés par les légionelles, ils peuvent favoriser leur prolifération. Les TAR peuvent disséminer ces légionelles dans l'environnement car elles génèrent des aérosols dont l'émission est minimisée par les constructeurs mais reste inévitable du fait de la conception actuelle des tours et des importants débits d'air éjectés.

Les 2 TAR de Noroxo sont des installations de très forte puissance (2X5800 kw), bien que ne fonctionnant pas à leur puissance nominale lors du déclenchement de l'épidémie. Selon les données du constructeur⁶, l'émission de gouttelettes d'eau est estimée à 90 litres/heure pour chaque TAR, soit plus de 4 tonnes d'eau par jour pour l'ensemble de l'installation [3]. L'ensemble du circuit de refroidissement a un volume d'environ 1200 m³ ; il représente plusieurs km de canalisations, et comprend 79 échangeurs dans lesquels les températures des surfaces d'échange peuvent être très favorables au développement des légionelles. La maîtrise de la croissance des légionelles dans cet environnement est complexe.

L'historique des analyses de légionelles réalisées en autocontrôle par l'entreprise sur le circuit des TAR montre des détections régulières dans des concentrations variables et souvent élevées ($\geq 10^4$ UFC/L). L'examen des actions préventives et curatives mises en place par l'entreprise avant l'arrêt de décembre 2003 montre qu'elles n'étaient effectivement pas de nature à réduire de manière efficace le risque de croissance des légionelles.

L'analyse du 28 novembre réalisée en pleine période d'épidémie a permis de retrouver des légionelles en quantité notable dans le circuit des TAR (2400 UFC/L) et d'identifier la présence de la souche épidémique. L'arrêt des ventilateurs des TAR survenu le 2 décembre au soir s'est accompagné d'une diminution de l'épidémie avec un décalage dans le temps compatible avec les délais d'incubation retenus habituellement (2 à 10 jours), une absence de cas étant observée les 9 et 10 décembre.

Ces éléments extrêmement cohérents amènent à considérer les TAR comme très probablement responsables de cette première vague de l'épidémie.

⁶ le constructeur estime l'émission de gouttelettes à 0,006 % du débit de circulation de l'eau dans le circuit, lui-même estimé en moyenne à 3000 m³/h.

Les lieux de domicile ou de circulation des cas survenus avant le 9 décembre se répartissent dans un rayon de 6 km autour de l'usine. La modélisation des émissions de gouttelettes par les TAR en fonction notamment des caractéristiques météo pendant cette période montre une bonne cohérence entre les taux d'attaque par commune et les concentrations modélisées. Ces éléments renforcent la conclusion précédente.

Les ventilateurs des TAR sont restés à l'arrêt du 3 décembre à 0 h au 22 décembre à 10 h 30.

Pendant cette période, l'entreprise a réalisé des opérations de nettoyage, désinfection et d'amélioration du circuit (élimination de certains bras morts).

Contrairement à ce qui était attendu, l'épidémie s'est poursuivie après le 10 décembre, avec une nouvelle vague plus puissante que la précédente. Les ventilateurs étant à l'arrêt, ce redémarrage de l'épidémie ne peut pas être expliqué par le fonctionnement des TAR, même s'il est possible que quelques cas survenus après le 12 décembre soient encore liés à la même cause.

Les ventilateurs des TAR ont été remis en fonctionnement le 22 décembre, jusqu'à leur arrêt définitif le 3 janvier au soir.

Les 14 analyses réalisées entre le 22 décembre et le 2 janvier à différents points du circuit des TAR montrent 3 fois la présence de légionelles, à des taux de 1000 UFC/L (30/12/03), 200 UFC/L (02/01/04) et 50 UFC/L. (02/01/04). L'analyse du 30 décembre permettait d'identifier la souche épidémique. Bien que les concentrations détectées soient faibles, ces résultats montrent que la souche épidémique était toujours présente dans le circuit d'eau de refroidissement. L'étude des conditions de mise en œuvre des opérations de nettoyage et désinfection du circuit montre qu'elles n'ont pu complètement éliminer le biofilm, mais qu'elles l'ont en revanche fragilisé. Ainsi, sous les forces hydrauliques, des fragments de biofilm ou des bactéries en « grappes » ont pu être entraînés dans le circuit après redémarrage, sans que les analyses soient en mesure de les repérer, la répartition des légionelles dans l'eau étant alors extrêmement hétérogène.

Cette hypothèse pourrait expliquer, au moins en partie les cas survenus entre le 24 décembre (si on prend un délai minimum de 2 jours d'apparition des premiers signes) et la fin de l'épidémie (dernier cas le 22 janvier). Si cette hypothèse est juste pour le dernier cas, cela suppose un délai de survenue des premiers signes de 19 jours, ce qui est élevé par rapport aux délais rapportés habituellement par la bibliographie mais qui n'est pas impossible puisqu'une étude a rapporté l'apparition de cas jusqu'à 20 jours après l'exposition [2].

Pour les cas survenus à partir du 24 décembre, les lieux de domicile étaient répartis jusqu'à une distance de 12 km (dont 1 cas domicilié à 12 km de Noroxo, non sorti de chez lui, avec isolement de la souche épidémique). Cette distance est élevée par rapport aux données bibliographiques concernant les épidémies causées par des TAR. Une étude rapporte cependant une distance de contamination de 3,2 km [1]

4.2.3.2 Opérations de nettoyage du circuit d'eau et des TAR

Les opérations de nettoyage ont débuté le 8 décembre et se sont terminées le 17 décembre.

Ces opérations sont susceptibles d'avoir provoqué d'importants envols d'aérosols.

De nombreux échangeurs sont situés en hauteur (15 à 20 m). Les eaux de lavage des échangeurs dont les têtes avaient été déconnectées tombaient en pluie sur le sol, l'utilisation des « furets » émettant des jets sous forte pression (500 bars) a pu générer une quantité importante d'aérosols au moment où la tête du furet arrivait en fin de tube au niveau de la tête déconnectée de l'échangeur. Le dégazage de l'azote utilisé pour favoriser l'érosion du biofilm s'est produit au niveau de « boîtes » de collecte de l'eau en provenance des échangeurs, qui sont pour certaines à 15 m de hauteur, ces dégazages pouvant s'accompagner d'envols de gouttelettes fines. Pendant ces opérations, l'eau de rinçage

transitait par l'ensemble du circuit de refroidissement, y compris les aéro-réfrigérants, ce qui a pu provoquer des envols au niveau du retour en pluie des eaux au sommet des tours, bien que les buses d'aspersion aient été démontées. Enfin des jets haute pression ont été utilisés pour certaines opérations réalisées au sol sur l'aire de lavage.

Les aérosols émis pendant les opérations de nettoyage ont pu être extrêmement chargés en légionelles, puisque le nettoyage avait justement pour but d'arracher le biofilm. L'efficacité du chlore utilisé pendant ces opérations est très limitée du fait de sa forte consommation par la matière organique présente (biofilm), ne permettant pas une concentration en chlore résiduel suffisante. De plus, les bactéries au sein des « lâchés » de biofilm peuvent être protégées par les éléments du dépôt biologique. Cette protection augmente le temps de contact nécessaire avec l'éventuel chlore résiduel pour assurer une désinfection.

La diffusion d'aérosols a été modélisée pour la période du 11 et le 15 décembre, ce qui n'est pas complètement représentatif de la période de nettoyage (8 au 17). Ceci peut expliquer un moins bon recoupement entre les concentrations d'aérosols et les taux d'attaque par commune enregistrés après le 9 décembre. La modélisation montre cependant la possibilité d'envols d'aérosols à grande distance pendant cette période.

Il n'est pas relaté dans la bibliographie d'épidémies de légionellose liées au nettoyage de circuits d'aéro-réfrigérants. Ce risque est cependant considéré comme suffisamment réel pour que ces opérations fassent l'objet de recommandations dans les guides de gestion des installations pour éviter l'envol d'aérosols.

L'hypothèse que les opérations de nettoyage aient entraîné des envols d'aérosols fortement concentrés en légionelles peut être sérieusement envisagée pour expliquer le redémarrage de l'épidémie. La cohérence des dates est frappante : après 2 jours sans cas les 9 et 10 décembre, l'épidémie reprend très brusquement à partir du 11 décembre, soit 3 jours après le début des opérations de nettoyage. Ces travaux s'étant terminés le 17 décembre avec le rinçage des tours, l'impact de la période de travaux sur l'épidémie peut être envisagé au moins jusqu'au 27, et sans doute un peu après. Comme vu précédemment, les cas survenus à partir du 24 peuvent être aussi expliqués par le redémarrage de l'installation survenu le 22 décembre. On constate effectivement un nombre élevé de cas dans la période du 22 au 28 décembre, qui pourraient être dus à l'addition des 2 sources de contamination.

Si l'hypothèse d'une contamination à partir des opérations de nettoyage est valide, les cas explicables par cette hypothèse et non par le redémarrage de l'installation sont survenus entre le 11 et le 24 décembre inclus. Pendant cette période, les lieux de domicile et de déplacement des cas étaient situés dans un rayon de 6 km.

A noter que l'envol d'aérosols pendant les travaux ne peut pas expliquer l'ensemble des cas survenus après le 9 décembre : 36 jours séparent la fin des travaux (17 décembre) et la date de début des signes du dernier cas (22 janvier).

4.2.3.3 Aérateurs de la lagune

L'analyse de l'eau de la lagune réalisée le 8 janvier a montré qu'elle était fortement chargée en légionelles ($2,1 \times 10^8$ UFC/L le 8 janvier).

La présence de la souche épidémique a été mise en évidence dans la lagune et son introduction par les boues d'ensemencement ne fait aucun doute.

La lagune était aérée par 2 systèmes (cf rapport de M. Merchat) :

- 3 aérateurs de surface à turbine rapide, l'eau étant projetée en l'air par l'action de la turbine,
- 4 aérateurs flottants injectant de fines bulles d'air en profondeur.

Les prélèvements atmosphériques réalisés par le CSTB le 15 janvier [4] à proximité de la lagune avec l'ensemble des aérateurs en fonctionnement et TAR à l'arrêt ont permis la culture de *Legionella* : 330 UFC/m³ dans les prélèvements effectués à 270 m de la lagune en aval par rapport au vent, 5400 UFC/m³ dans ceux à proximité immédiate de la lagune, inférieur à la limite de quantification dans ceux situés à 60 m de la lagune en amont par rapport au vent. Ces résultats paraissent cohérents entre eux.

Les prélèvements réalisés autour d'autres sites (TAR, lagunes, stations d'épuration) ont montré la présence de légionelles par PCR pour certains mais pas par culture. Le fait que la culture de légionelles ait été possible sur des prélèvements atmosphériques était considéré comme une observation remarquable par le CSTB, qui émettait 2 hypothèses pour l'expliquer :

- aérosols encapsulés par les composés présents dans la lagune, protégeant les germes du stress du à l'aérosolisation,
- résistance spécifique accrue des légionelles isolées (principalement Lp1).

Les analyses réalisées le 2 mars [5] avec aérateurs de surface à l'arrêt et aérateurs de fond en fonctionnement montraient la présence de légionelles en concentration plus faible au bord de la lagune (40 à 88 UFC/ m³) et l'absence à 200 m en aval par rapport au vent.

La différence entre les 2 mesures laisse penser que les aérateurs de surface étaient principalement responsables de l'émission de légionelles dans l'air.

La contamination des TAR par les aérosols émis par la lagune est donc possible, la distance entre les 2 installations étant de 300 m.

On peut alors s'interroger sur le rôle qu'aurait pu jouer la lagune dans la contamination directe des personnes.

La simulation réalisée par l'Ineris concernant le transport d'aérosols à partir de la lagune souffre de l'absence de données permettant de modéliser l'émission, ce qui ne permet pas de s'appuyer fortement sur ces résultats.

On peut tenter une comparaison des mesures du CSTB avec la simulation de l'émission de gouttelettes via les TAR faite par l'Ineris, en prenant pour hypothèse que les gouttelettes émises sont chargées en légionelles de la même façon que l'eau du circuit. Cette comparaison montre que les concentrations émises par les TAR seraient beaucoup plus faibles. Un calcul fait par l'Ineris pour les conditions atmosphériques du 15 janvier aboutit à une concentration en gouttelettes d'eau dans l'air en provenance des TAR et à 300 m de celles-ci de 775 µg/m³, ce qui correspondrait à 0,5 UFC/m³ (en prenant 7 X 10⁵ UFC/L pour la concentration en légionelles dans le circuit des TAR). Ce chiffre est à comparer à 330 UFC/m³ mesurés par le CSTB à 270 m de la lagune.

Cette comparaison laisserait entendre que l'épidémie pourrait être principalement liée à l'activité des aérateurs de la lagune plutôt qu'au fonctionnement des TAR.

Plusieurs arguments de nature épidémiologique vont à l'encontre de cette conclusion :

- la forme bi modale de la courbe épidémique ne peut être expliquée par le fonctionnement des aérateurs, qui est resté régulier pendant toute l'épidémie,
- l'arrêt des aérateurs à turbine survenu le 20 janvier n'a eu aucune influence sur l'épidémie, qui était déjà terminée à ce moment là (dernier cas le 22). Il faudrait donc supposer que l'épidémie s'est arrêtée toute seule, ce qui supposerait une perte de virulence des légionelles présentes dans la lagune, et aussi une perte de virulence ou une non virulence de la souche épidémique qui a continué à être introduite par les camions-citernes en provenance de la station Seac,

- il n'est pas rapporté dans la bibliographie d'épidémies de légionellose dues aux stations d'épuration.

Par ailleurs il faut rester prudent sur cette comparaison :

- la méthode développée par le CSTB est d'un grand intérêt mais est encore à considérer comme expérimentale,
- bien que les résultats du CSTB apparaissent cohérents entre eux, on ne dispose que d'une seule analyse ayant permis le dénombrement de légionelles dans l'air à distance de la lagune. Or une forte variabilité est possible (pour cette analyse 24 m³ d'air ont été prélevés, ce qui correspond environ à 8000 UFC recueillies ; le piégeage d'une amibe ou d'une vacuole de protozoaire cilié peut suffire pour modifier fortement le résultat [6 ; 7 ; 8],
- on ne trouve pas de cohérence entre la concentration en légionelles dans la lagune et la concentration en légionelles mesurée dans l'air : en supposant une concentration égale de légionelles dans les gouttelettes et dans la lagune (2,1 E8 UFC/L), il faudrait une concentration en eau de 1570 µg/m³ pour expliquer la concentration de 330 UFC/m³ mesurée dans l'air à 270 m de la lagune. Cette concentration en eau est à comparer à la concentration modélisée à 300 m des TAR : 775 µg/m³. Il n'est pas plausible que les aérateurs de la lagune émettent 2 fois plus d'aérosols que les TAR. Ce calcul montre qu'on ne peut pas passer, par une simple règle de 3, des concentrations de légionelles dans l'eau aux concentrations de légionelles dans l'air,
- on ne dispose pas d'analyses de légionelles dans l'air à proximité des TAR de Noroxo pendant leur fonctionnement, ce qui serait une meilleure comparaison que celle réalisée à partir d'une simulation. En particulier le débit de gouttelettes émises par les TAR a été pris égal à une fraction du débit circulant, sans qu'on ait d'assurance que le débit réel ne soit pas très supérieur,
- la concentration en légionelles dans la lagune le 15 janvier était probablement plus élevée qu'en début d'épidémie : un calcul simple montre que les concentrations en légionelles dans la lagune sont en rapport direct avec les quantités apportées par les boues, qui ont augmenté progressivement entre octobre et janvier (les apports de boues en octobre ne représentent que 10 % des apports réalisés d'octobre à janvier),
- la répartition des légionelles dans l'eau n'est en fait pas connue, elle est certainement très hétérogène et peut être très différente entre la lagune et le circuit des TAR, ce qui peut modifier fortement la probabilité d'inhalation d'une particule contaminée,
- on ne connaît pas la dose infectante,
- la souche épidémique peut avoir acquis une virulence dans le circuit des TAR et pas dans la lagune, dans laquelle les légionelles sont en quantité égale à la charge apportée par les boues d'ensemencement, donc probablement peu différentes des légionelles présentes dans l'installation Seac. Ceci pourrait expliquer l'absence d'épidémie autour de l'installation Seac.

Il faut enfin noter que l'hypothèse d'une micro encapsulation des aérosols de légionelles du fait des propriétés physico-chimiques de la lagune est une hypothèse d'étude qui mériterait d'être vérifiée.

On ne peut toutefois pas écarter la possibilité que la lagune ait participé à la dissémination de légionelles, avec une probabilité diminuant avec la distance. La coïncidence de la courbe épidémique avec le fonctionnement des TAR et avec les activités de nettoyage suggère que l'effet de la lagune ait été marginal.

4.2.3.4 Lavage des camions-citernes

Le lavage de citernes ayant transporté des boues très chargées en légionelles (10¹⁰ UFC/L) est susceptible d'avoir provoqué des envols de gouttelettes très chargées. Ces opérations ont été réalisées à l'aide d'un jet à forte pression.

Ces opérations sont survenues de façon répétée pendant la période de l'épidémie, mais avec une fréquence de plus en plus importante au fil des mois, ce qui ne correspond pas à la dynamique de l'épidémie. Les livraisons de boues ont été arrêtées le 8 janvier, alors que l'épidémie était en très forte décroissance. La plus grande partie des opérations de livraison de boue ont été faites en janvier.

Il faudrait donc supposer que les légionelles en provenance de Seac aient eu une virulence élevée en début de période puis que cette virulence se soit estompée. Dans cette hypothèse, l'absence d'épidémie autour de Seac reste étonnante.

La simulation réalisée par l'Ineris concernant l'envol d'aérosols lors des opérations de nettoyage des camions laisse penser que l'impact ne pourrait être que limité en distance.

Il paraît somme toute peu vraisemblable que ces opérations aient eu un impact direct notable sur l'épidémie. Mais comme dit plus haut, il n'est pas exclu qu'elles aient provoqué la contamination des TAR.

4.2.4 Les modifications apportées par Noroxo pour la réouverture

A la suite du deuxième arrêt des installations début janvier, l'entreprise Noroxo a mis en place un plan d'action destiné à maîtriser le risque légionelles.

Une analyse de risque sur les installations de traitement des effluents a permis de découper les réseaux d'effluents liquides en différentes « zones » présentant des risques de contamination différents. Ces zones ont été physiquement identifiées sur le site. Les matériels dédiés à la zone biologique ont été identifiés. Les opérations susceptibles de provoquer une contamination des TAR ont été supprimées ou modifiées (arrêt définitif des aérateurs de surface, nettoyages sans jets sous pression, pompages sans création d'aérosols...)

La conception des circuits a été modifiée pour éliminer des bras morts et des zones de faible circulation, et des drains ont été installés sur les points bas restants. Des piquages ont été mis en place en entrée et sortie de certains équipements pour permettre des nettoyages préventifs en boucle et éviter l'accumulation éventuelle de dépôt bactérien sur les échangeurs avec historique d'encrassement important.

Afin de lutter contre les développements microbiologiques, les conditions de mise en œuvre des traitements préventifs et curatifs ont été définies de façon à garantir leur efficacité :

- le point d'injection du biocide oxydant utilisé en continu a été modifié,
- le lieu de prélèvement des échantillons d'eau pour analyses d'oxydant résiduel sont déplacés en amont de l'injection des produits chimiques,
- le volume du brominateur a été redimensionné,
- la concentration en oxydant résiduel a été augmentée et un analyseur en continu d'oxydant résiduel a été installé,
- un nettoyage permanent de toutes les surfaces en contact avec l'eau a été mis en œuvre (injection d'un biodispersant en continu). Le produit anti-mousse qui affectait l'efficacité du biodispersant a été supprimé.

Outre une série de paramètres physico-chimiques, des indicateurs biologiques devaient être suivis (légionelles, flore totale et ATP). Les prélèvements devaient être réalisés en différents points de l'installation afin de garantir un contrôle sur toute l'eau du circuit.

Les fréquences d'analyses et les actions type à mettre en œuvre en cas de dérive d'un paramètre de contrôle étaient clairement définies.

Le groupe d'appui a pu prendre connaissance de ce plan notamment lors de la réunion du 25 janvier 2004. L'ensemble des informations dont il a disposé lui a permis de donner un avis favorable au redémarrage de l'installation, avec des réserves mineures (avis du 9 mars 2004 en annexe 2).

Le site n'a pas rouvert à ce jour, pour des raisons internes à l'entreprise.

5 RECOMMANDATIONS

En matière de prévention

Cette épidémie a permis de mettre en évidence de façon très crédible la contamination d'une TAR par l'apport d'une boue d'épuration dans son environnement proche. Cette constatation amène à recommander que soit réalisée sur les sites mettant en œuvre des TAR une évaluation du risque biologique dans leur environnement et que soient mis en œuvre des méthodes de gestion adaptées si ce risque apparaît notable. Même si le risque d'ensemencement d'une TAR par les particules de l'air ne peut être supprimé, il convient de le minimiser.

La prise de conscience du risque biologique par les industriels et les traiteurs d'eau intervenant sur les circuits de refroidissement avec TAR apparaît encore insuffisante. Un effort de formation est à faire, y compris par l'adaptation des formations initiales des intervenants.

Les professionnels du traitement de l'eau devraient avoir une meilleure connaissance des produits qu'ils préconisent et de leur efficacité dans les conditions de mise en œuvre représentatives de la réalité.

Les procédures de maîtrise du risque chez Noroxo se sont avérées inadaptées. Il apparaît nécessaire de développer les méthodes et bonnes pratiques nécessaires pour prévenir et contrôler le développement de légionelles dans les circuits de refroidissement et si nécessaire gérer les conséquences d'incidents. Des guides doivent être mis à disposition des industriels.

Outils de gestion de crise

La connaissance rapide de la contamination de prélèvements d'eau par les légionelles est déterminante pour prendre rapidement les mesures correctives qui s'imposent. Des tests devraient être développés en ce sens, tests qui seraient aussi utiles pour la gestion courante des installations.

La mesure des légionelles dans les aérosols de l'air ambiant apparaît être une technique à développer et valider.

Il apparaît nécessaire de développer des outils permettant de modéliser le transfert atmosphérique et la propagation des légionelles, tant à partir de TAR que d'équipements tels que des aérateurs, des jets sous pression, des pompes de citernes..., afin de prédire des zones mises en danger (modélisation directe) ou rechercher une source à partir de la localisation de cas ou de prélèvements dans l'environnement (modélisation inverse).

La création et la tenue à jour de listes d'installations à risque par l'administration permettront de gagner du temps pour la recherche de sources de contamination.

Recherches à développer

Les caractéristiques de la souche épidémique méritent d'être étudiées en laboratoire pour répondre à des questions qui se sont posées pour la gestion de cette épidémie :

- elle a été détectée en concentration non négligeable dans un circuit d'eau de refroidissement à température relativement basse (environ 9 à 15 °C dans le circuit de Noroxo début décembre) : est-ce une capacité de prolifération à basse

température ou bien cette souche s'est-elle développée dans les échangeurs à température plus favorable ?

- elle s'est disséminée sur une longue distance, en conservant un potentiel de virulence : a-t-elle une résistance accrue aux conditions environnementales ? Ses relations avec des organismes hôtes (protozoaires) expliquent-elles une protection particulière ? Les conditions météorologiques (humidité relative d'environ 90 %) étaient-elles très favorables à la survie des bactéries dans l'air ? Les conditions physico-chimiques des milieux dans lesquels elles se sont développées étaient-elles favorables à leur survie dans l'air ?
- s'agit-il d'une souche particulièrement virulente, ou bien la sensibilité de la population explique-t-elle en grande partie l'importance de l'épidémie ?
- comment expliquer sa facilité de culture sur prélèvements d'air et cette facilité de culture a-t-elle un lien avec la virulence ?
- on peut s'interroger sur la possibilité d'une durée d'incubation pouvant être élevée, dont les raisons seraient à rechercher.

D'une façon plus générale, les conditions de survie et de développement des légionelles sont insuffisamment connues, tant dans les procédés, que dans les aérosols de l'air ou sur les sols et dans l'eau.

Il apparaît nécessaire de mieux connaître les risques liés aux équipements d'épuration des eaux usées, tant du point de vue du développement des légionelles que de leur dissémination. Une évaluation devra être faite des risques liés aux pratiques de valorisation des boues.

Les connaissances sur les paramètres de contamination des personnes sont insuffisantes. Pour approcher la notion de dose infectante, ou de niveau ambiant potentiellement dangereux, il serait notamment nécessaire de mieux connaître la distribution et les conditions de survie des légionelles dans les aérosols.

6 BIBLIOGRAPHIE

1. Addiss DG, Davis JP, LaVenture M, Wand PJ, Hutchinson MA, McKinney RM. Community-acquired Legionnaires' disease associated with a cooling tower: evidence for longer-distance transport of *Legionella pneumophila*. *Am J Epidemiol.* 1989 Sep;130(3):557-68.
2. Den Boer JW, Yzerman EP, Schellekens J, Lettinga KD, Boshuizen HC, Van Steenberghe JE, Bosman A, Van den Hof S, Van Vliet HA, Peeters MF, Van Ketel RJ, Speelman P, Kool JL, Conyn-Van Spaendonck MA. A large outbreak of Legionnaires' disease at a flower show, the Netherlands, 1999. *Emerg Infect Dis.* 2002 Jan;8(1):37-43.
3. Rapport de tierce expertise par la société Capsis, des propositions de réduction du risque faites par la société Noroxo.
4. Rapport CSTB-Inserm - Mesure des légionelles dans les rejets atmosphériques d'installations industrielles (campagne du 12 au 23 janvier 2004)
5. Rapport CSTB - Mesure des aérosols de légionelles potentiellement disséminés par le lagunage de la société Noroxo (mesures du 2 mars 2004)
6. Berk S., and col. (1998) "Production of respirable vesicles containing live legionella pneumophila cells by two acanthamoeba spp. " *Applied and Environmental Microbiology*, 64;1:p.279-286.
7. Nahapetian K and col. (1991) "The intracellular multiplication of legionella pneumophila in protozoa from hospital plumbing systems" *Res. Microbiol.*, 142:677-685.
8. Rowbotham T (1980) "Preliminary report on the pathogenicity of legionella pneumophila for freshwater and soil amoebae" *J Clin Pathol* 33:1179-1183.
9. Berendt R, Young H, Allen R, Knutsen G. Dose-reponse of guinea pigs experimentally infected with aerosols of *Legionella pneumophila*. *J Infect Dis* 1980 ; 141:186-92.

ANNEXES

Annexe 1 : lettre de mission



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU
DÉVELOPPEMENT DURABLE

DIRECTION DE LA PRÉVENTION DES
POLLUTIONS ET DES RISQUES

MINISTÈRE DE LA SANTÉ, DE LA FAMILLE
ET DES PERSONNES HANDICAPÉES

DIRECTION GÉNÉRALE
DE LA SANTÉ

SD7/364

Paris, le 31 DEC. 2003

Madame, Monsieur,


La région de Lens connaît depuis le mois de novembre une importante épidémie de légionellose. Le 31 décembre 2003, on déplore dans cette région 52 cas, dont 6 décès. Cette épidémie est une des plus sérieuses recensées en France. Les nombreuses investigations réalisées à ce jour par les services de l'Etat sous l'autorité du préfet du Pas de Calais ont permis d'identifier rapidement et d'arrêter une source de contamination. Cependant, malgré cet arrêt, des cas continuent d'apparaître et l'existence d'une autre source de contamination est envisagée, ce d'autant que les cas récents résident dans d'autres communes.

En raison de la persistance inhabituelle et inexpiquée de cette épidémie, nous avons décidé de mobiliser des experts nationaux afin d'apporter un soutien technique au préfet du Pas-de-Calais et à ses services. Nous vous remercions d'avoir bien voulu rejoindre cette équipe : vos compétences dans les domaines de l'épidémiologie, de la lutte contre la prolifération des légionelles dans les tours de refroidissement et du transport des bactéries dans l'atmosphère seront en effet particulièrement précieuses pour mieux cerner les origines de cette épidémie.

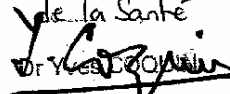
Vous voudrez bien vous mettre à la disposition du préfet du Pas-de-Calais qui vous exposera dès le 31 décembre les éléments à sa disposition et qui vous indiquera les pistes qui lui paraissent prioritaires. Nous vous demandons d'examiner le détail des investigations réalisées, de répondre aux interrogations des services du préfet du Pas-de-Calais et de proposer un éclairage et des orientations complémentaires éventuels. Nous vous serions reconnaissants de nous adresser un rapport à la fin de votre mission. Vous pourrez compter sur l'INERIS et l'InVS pour assurer le secrétariat scientifique de cette mission.

Nous vous prions d'agréer, Madame, Monsieur, l'expression de notre considération distinguée.

Le directeur de la prévention
des pollutions et des risques,
délégué aux risques majeurs,


Thierry TROUVE

Le directeur général
de la santé,
L'adjoint au directeur général


Dr Yves DOUJAN

Destinataires : voir liste in fine.

Copie : Préfecture du Pas-de-Calais, DRIRE Nord Pas-de-Calais, DRASS Nord Pas-de-Calais, DDASS Pas-de-Calais.

Annexe 2 : avis intermédiaires émis par la mission d'appui

Avis intermédiaire de la mission d'appui en date du 16 janvier 2004

Une épidémie de légionellose sévit dans la région de Lens depuis le mois de novembre 2003. Devant la persistance de l'épidémie, un groupe d'experts a été missionné pour examiner le détail des investigations épidémiologiques et environnementales réalisées, répondre aux interrogations des autorités administratives, proposer un éclairage et des orientations complémentaires.

Les experts sont :

Frédéric MARCEL	Ineris
Philippe BRETIN	INVS
Isabelle CAPEK	INVS
Michèle MERCHANT	CLIMESPACE
Pierre-André CABANES	EDF-Gaz de France

Analyse épidémiologique et enquête environnementale

A ce jour, les données épidémiologiques recueillies montrent 73 cas groupés de légionellose domiciliés dans une zone d'un rayon de 8 km et survenus entre le 9 novembre et ce jour. L'analyse des activités et des déplacements des cas ne met pas en évidence de lieu de fréquentation commun autre que le fait de résider dans cette zone. Sur la base de la date présumée des premiers signes cliniques, l'analyse épidémiologique montre deux vagues épidémiques successives (9 novembre au 8 décembre et du 8 décembre à ce jour) liées au germe *Legionella pneumophila*. Chez les 15 personnes pour lesquelles l'isolement du germe a pu être effectué, l'analyse génomique des souches montre qu'elles sont identiques entre elles et différentes des autres souches analysées jusqu'à ce jour par le centre national de référence des légionelles. Ces éléments suggèrent l'existence d'une épidémie liée à une source commune persistante.

L'enquête environnementale a permis de retrouver cette souche particulière sur un des prélèvements effectués dans l'eau provenant des tours aéro-réfrigérantes de l'usine Noroxo et sur un prélèvement d'eau d'une station de lavage automobile avec jets à haute pression. Bien que près de 2 000 sites industriels ou tertiaires aient été investigués, aucun autre prélèvement environnemental ne révèle la présence de cette souche, ni au domicile des patients ni au niveau de l'eau des autres installations comportant un système de pulvérisation d'eau.

Origine de la contamination pour la première vague

La première vague de l'épidémie pourrait être expliquée par la présence de la souche épidémique dans l'eau des tours de refroidissement de l'usine Noroxo d'autant plus que l'historique des prélèvements depuis août 2002 montre des épisodes de contamination importants.

La modélisation de la dispersion à partir des tours aéro-réfrigérantes de l'usine de Noroxo n'est pas en désaccord avec cette explication. En effet, malgré une forte dilution, on ne peut exclure la présence de germes à une distance de l'ordre de la dizaine de km. De plus, l'entreprise ayant été fermée le 2 décembre, on assiste à la décroissance de la première vague épidémique, autre argument en faveur de l'explication citée.

En ce qui concerne la présence de la bactérie dans l'eau de la station de lavage, l'éloignement géographique des cas suggère que cette station de lavage n'est pas à l'origine de l'épidémie. Par ailleurs, les prélèvements n'ont été faits qu'au premier jet, sur 2 lances baignant dans un fourreau non percé dans le fond et ouvert à l'extérieur. La station étant située à proximité de l'usine, il est possible que l'eau stagnant dans les fourreaux ait été contaminée par des aérosols contenant cette bactérie issus des tours de l'usine Noroxo, d'autant que l'eau du réseau public alimentant la station est puisée dans des forages très éloignés de celui qui alimente l'usine Noroxo en eau industrielle.

Origine de la contamination pour la deuxième vague

Pendant sa fermeture, l'entreprise Noroxo a procédé à un nettoyage poussé, chimique et physique de ses installations, du 8 au 17 décembre, avant un redémarrage le 22 décembre.

Quelques jours après le début des opérations de nettoyage, on assistait au démarrage de la deuxième vague épidémique.

Ces opérations ont débuté par une phase chimique (biocides et biodispersants), suivie par une phase mécanique.

Les nettoyages mécaniques ont notamment été effectués par jets à haute pression au niveau des têtes d'échangeurs, par des hydrojets ou par des injections d'azote et d'air sous pression dans certains échangeurs (impliquant des dégazages) du 8 au 16 décembre, et par jets à haute pression dans les bassins et les tours le 17 décembre. Certains nettoyages se sont déroulés en hauteur, à plus de 15 m du sol.

Ces opérations peuvent créer des aérosols chargés en biofilm pouvant contenir un grand nombre de légionelles. Par ailleurs, la présence possible d'amibes des genres *Hartmanella* et *Acanthamoeba* connues pour abriter et protéger les légionelles des traitements usuels, doit faire envisager une contamination via les vésicules ambiennes.

La modélisation de la dispersion montre une possibilité d'envol à longue distance.

Ces opérations pourraient être à l'origine de la majeure partie des cas de la deuxième vague.

Les derniers cas de janvier 2004 peuvent être rattachés à cette origine, soit à la condition de faire l'hypothèse d'une longue durée d'incubation, soit en les reliant au redémarrage de l'installation.

En effet, le traitement chimique tel qu'il a été mis en œuvre pendant la phase d'arrêt et avant la remise en service, n'a pas pu permettre d'éliminer le biofilm sur l'ensemble des circuits. En revanche il a probablement été fragilisé, ce qui peut expliquer des relargages ultérieurs dans l'eau en circulation. Ainsi l'hypothèse de quelques cas de contamination consécutifs à la remise en marche du système (démarrage des ventilateurs le 22 décembre) est envisageable, d'autant que les prélèvements effectués le 30 décembre et le 2 janvier montrent la présence de légionelles.

L'entreprise a été arrêtée à nouveau début janvier (arrêt des ventilateurs le 4). On semble assister actuellement à une décroissance de l'épidémie. Ce qui est une fois de plus un argument en faveur de ces hypothèses.

Toutefois, afin d'identifier d'autres sources potentielles, le périmètre de la recherche a été étendu à d'autres communes et notamment au sud-ouest de la zone, des vents importants venant de cette direction ayant été notés tout au long de la période.

Conclusion générale

Compte-tenu des données disponibles ce jour, l'hypothèse de la contamination des personnes via les émissions de l'usine Noroxo est compatible avec les données épidémiologiques, les données environnementales, les conclusions de l'étude de la mise en œuvre des traitements préventifs et curatifs, ainsi qu'avec la modélisation des dispersions atmosphériques effectuée.

Il n'a pas été publié d'épidémie analogue dans la littérature, notamment avec des contaminations à distance équivalentes et les légionelles ne résistent en général pas à des conditions stressantes de faible niveau d'humidité et notamment à l'évaporation de l'eau. Les conditions climatiques observées au cours de la période, avec présence fréquente de brouillard et vents réguliers peuvent expliquer des transports de légionelles viables à plus longue distance, sans parler des transports dans les vésicules ambiennes évoquées plus haut et l'absence d'obstacle physique.

Avis du 9 mars 2004

Avis de la mission d'appui sur les propositions faites par Noroxo en vue de la réouverture et sur le projet d'arrêté préfectoral

Dans l'hypothèse où l'épidémie de novembre, décembre et janvier derniers est liée au fonctionnement global de l'usine Noroxo, plusieurs sources potentielles d'aérosols contaminants ont été mises en avant. Il s'agit :

- Du panache des tours aéro-réfrigérantes (TAR)
- Des émissions liées au fonctionnement de la lagune
- Du nettoyage des camions ayant livré des boues
- Du nettoyage de certaines structures au jet sous pression

La maîtrise du risque porte soit sur le contrôle du terme source, soit sur le contrôle des émissions atmosphériques.

Cas des TAR

Comme précisé dans l'avis rendu sur le nettoyage, les opérations effectuées avant la réouverture sont de nature à limiter la prolifération du biofilm et à détruire les légionelles circulantes.

En ce qui concerne les propositions faites pour le traitement en fonctionnement, l'amélioration proposée conduisant à augmenter le résiduel en halogène, à ajouter un traitement biodispersant en continu et à procéder à des traitements chocs avec le biocide spécifique est pertinente. Ce type de traitement est connu pour son efficacité dans la maîtrise du risque légionelle. Il faut cependant signaler que cette maîtrise peut n'être pas immédiate, d'où l'intérêt des traitements chocs en biocide spécifique, dont la fréquence pourrait être augmentée au cours des trois premiers mois à 2 injections par semaine.

Le groupe pense qu'il serait bon d'étudier rapidement, sans que cela constitue un préalable au redémarrage :

- la possibilité d'alterner deux biocides non-oxydants spécifiques des légionelles en traitement choc,
- la possibilité d'un traitement continu faisant appel à un biocide spécifique des légionelles (par exemple la monochloramine).

Le contrôle renforcé avec notamment la mesure du TVC et la mesure de légionelles hebdomadaire en début de fonctionnement (et en cas de dépassement des valeurs seuils fixées, comme noté dans le projet d'arrêté préfectoral) est pertinent. Il serait toutefois utile de contrôler la validité de la mesure du TVC par une mesure en laboratoire de la flore totale lors des prélèvements légionelles.

Les mesures proposées en cas de dépassement des seuils fixés sont pertinentes. On pourrait toutefois envisager un traitement choc par biocide spécifique dès le dépassement du premier seuil, qui pourrait être fixé à 1 000 UFC/L, comme à l'habitude.

Au vu des connaissances actuelles, l'ensemble de ces mesures permet de penser que le contrôle du terme source est efficient.

Un redémarrage ne peut être envisagé qu'en cas d'absence (inférieur au seuil de détection) de légionelles à J10 au niveau de tous les points analysés.

Cas de la lagune

Il n'existe pas de traitement « biocide » pour une lagune. Le terme source est donc plus difficile à maîtriser dans ce cas, d'autant que la concentration en souche épidémique y est très importante. Le contrôle des boues de réensemencement est la méthode la plus appropriée pour espérer une décroissance de cette concentration. Il y a lieu de prévoir une communication des résultats d'analyse de légionelles dans les boues à la Drire, avant ensemencement. Il conviendra notamment de s'assurer de l'absence de souche épidémique. Il n'y a pas lieu de penser que le redémarrage de l'usine, sous réserve du contrôle précité soit de nature à accroître la concentration en légionelles.

Il faut ici maîtriser la possibilité d'envol d'aérosols. L'arrêt des aérateurs de surface est une mesure pertinente. Le fonctionnement des aérateurs de type « triton », génère également un aérosol, mais en bien moindre quantité que les aérateurs de surface. Ces aérateurs ont toujours fonctionné et

l'épidémie a été stoppée ; on peut donc penser qu'ils n'étaient pas à l'origine d'un aérosol suffisant pour contaminer les personnes vivant à distance.

Les mesures effectuées par le CSTB montraient, lorsque les aérateurs de surface étaient en fonctionnement, un niveau élevé de légionelles au niveau de la lagune et dans une moindre mesure en aval (sous le vent). D'après les premiers résultats de la deuxième campagne, les légionelles ne seraient pas quantifiables en technique FISH, après arrêt des aérateurs de surface et malgré le fonctionnement des tritons. Ceci étant, toute modification visant à accroître l'aération de la lagune envisagée par l'exploitant devrait faire l'objet d'une évaluation et d'une déclaration à l'inspection préalables à leur mise en oeuvre. Ainsi dans les conditions d'aération actuelles l'hypothèse de maîtrise de la génération d'aérosols contaminants semble confortée, en sachant qu'une couverture avec traitement des émanations serait plus sécurisante. Sans que cela constitue un préalable au redémarrage, il serait important que l'exploitant étudie rapidement et formellement la possibilité de mettre en place une telle couverture.

Sous réserve de la prise en compte des demandes formulées ci-avant et sous réserve que les résultats définitifs des mesures récemment effectuées par le CSTB confirment les résultats actuellement disponibles, le groupe estime que les mesures proposées sont satisfaisantes concernant la lagune.

Cas des nettoyages avec eau sous pression

En ce qui concerne les camions de la zone biologique, une aire dédiée et abritée est proposée. Cela est de nature à limiter la dispersion des aérosols émis.

Pour le nettoyage en cas d'arrêt des installations, un chantier bâché est prévu.

Le risque semble donc maîtrisé pour cette source potentielle.

Conclusion

L'ensemble des situations à risque d'émission d'aérosols contaminants semble maîtrisé, en se conformant aux prescriptions inscrites dans le projet d'arrêté préfectoral, avec les quelques réserves inscrites ci-dessus.

Annexe 3 : gestion du risque légionelles dans l'installation Mac Cain

(Synthèse Michèle Merchat)

1- Caractéristiques des tours

Les caractéristiques des tours sont présentées tableau 1.

Il y a deux vitesses possibles pour les ventilateurs, petite et grande vitesse.

Paramètres	Circuit Ferguson	Circuit Samifi
Type de circuit	Circuit primaire fermé ⁷	
Eau d'appoint	eau de Forage adoucie	
Purge	Continue	
Températures	20/30 °C	
Hauteur des tours par rapport au sol	15 mètres	
Volumes	15m ³	10 m ³
Type de tours	Baltimore VXMC 1170 et 1000 et CVX207	Baltimore VXMC
Nombre de tours	3	1
Débit d'eau	2 à 93 l/s et 1 à 38 l/s	93 l/s
Débit d'air	2 à 90 m ³ /s et 1 à 38m ³ /s	90 m ³ /s
Qualité de l'eau du circuit		
PH	9	
TAC	<150	
CI	<70	
TH	<10	

Tableau 1 : caractéristiques des circuits de refroidissement de Mac Cain

2- Gestion du risque légionellose

La stratégie de traitement prévoyait l'utilisation d'un inhibiteur de corrosion et l'injection d'un produit mixte, biocide non oxydant (THPS⁸) et biodispersant, dans le but de perméabiliser les dépôts et de désinfecter.

Les traitements préventifs (injections choc de biocide + biodispersant) sont hebdomadaires l'été et tous les 15 jours pour le reste de l'année.

Les analyses pour recherche de légionelle sont réalisées annuellement (après l'arrêt de l'été).

Avant l'arrêt d'été, les bâches, les tours et circuits sont nettoyés et rincés. Le dernier nettoyage avait été fait en juillet 2003 (vidange des circuits, nettoyage des tours, pare-gouttes et réservoirs au jet haute pression).

3- Historique des résultats d'analyses Légionelles

Les résultats des analyses légionelles dans les circuits de refroidissement montrent que des légionelles ont été détectés en août 2003 (non *L. pneumophila*), puis le 29 décembre 2003 (souche épidémique à 100 ufc/l) et le 12 janvier 2004 (*L. p* souche non épidémique) (tableau 2).

Un traitement préventif a été injecté le 1^{er} décembre 2003.

Suite aux résultats du prélèvement du 29/12/03, **l'arrêt du site** a été demandé par la Préfecture (arrêt le 19/01/04), **non pas pour concentration élevée mais pour détection de la souche épidémique** dans le circuit Samifi.

⁷ L'eau dans la tour est pulvérisée sur un échangeur dans lequel circule l'eau du circuit condenseur qui est en circuit fermé.

⁸ Tétrahydroxyméthylphosphonium sulfate

Date	Legionella sp (UFC/L)		Commentaire
	Circuit S	Circuit F	
04/10/99	<50	<50	
28/03/01	<50	<50	
18/06/02	<50	<50	
28/08/03	<50	7050	<i>L. pneumophila</i> : <50
28/11/03	<50	<50	
22/12/03	<100	<50	Colonies présomptives à J3 sur circuit F (~200 ufc/l)
29/12/03	100	<50	<i>L.p</i> 1 : Souche épidémique
05/01/04	<1000	<1000	
12/01/04	<100	2200	<i>L.p.</i> 2 à 14
19/01/04	<100	<100	
ARRET NETTOYAGE & DESINFECTION			
26/01/04	<100	<100	Colonies présomptives à J3 sur circuit S (~50ufc/l) et circuit F (~900 ufc/l)
02/02/04	<100	<100	Présence de flore annexe à J5
09/02/04	<50	<100	Présence de flore annexe
02/03/04	<100	<100	

Tableau 2 : résultats des analyses légionelles sur les circuits de refroidissement de Mac Cain

4- Nettoyage et désinfection des tours et des circuits pendant l'arrêt du 19 au 23 janvier 2004

Une procédure a été envoyée par Mac Cain à la DRIRE le 19/01/04, qui a demandé des modifications par courrier le 20 janvier 2004. La procédure proposée par Mac Cain le 21 janvier 2004 intègre les remarques faites par le DRIRE et la mission d'appui.

La procédure a été réalisée en collaboration avec la société Nalco.

Les tours et les entrées d'air coté ventilateurs **ont été complètement bâchées.**

Après un détartrage chimique, l'eau additionnée de biodispersant a circulé purge fermée pendant environ 2 heures⁹ dans le but de nettoyer toutes les surfaces en contact avec l'eau.

Un biocide oxydant a été rajouté pour désinfecter (javel : 50 mg/l, pH ~7,5). L'eau a circulé en boucle, y compris dans les tours sans ventilation et sans pression, pendant plus de 6 heures (concentration en chlore résiduel entre 20 et 70 mg/l). Après neutralisation, les circuits ont été vidangés. Un nouveau nettoyage était prévu en fonction de la turbidité de l'eau au moment du remplissage. Les circuits ont été rincés par circulation d'eau (pendant 17 minutes). La turbidité de l'eau a diminué lors du second nettoyage/désinfection par rapport au premier : 157 à 85 NTU sur le circuit Ferguson et 150 à 80 sur le circuit Samifi.

Toutes les informations (chlore libre, turbidité) ont été enregistrées toutes les 10 min. au début des opérations puis toutes les demi-heures.

Aucun bras mort n'a été repéré, et les zones de faible circulation hydraulique, identifiées sont inévitables (points de purges, piquages pour manomètres, vannes de prélèvement, by-pass de pompes et purgeurs d'air). **Ces différentes zones ont été traitées** par ouverture et fermeture des vannes à plusieurs reprises lors de chaque étape afin que les différents produits puissent agir.

Après démontage des pare-gouttelettes, **les tours (bâchées) ont été détartrées, nettoyées puis rincées.** Les **opérations de nettoyage de toutes les surfaces en contact avec l'eau** (circulation de biodispersant puis de biocide oxydant) ont été **renouvelées une nouvelle fois** (circulation d'eau 2 heures).

5- Préparation et redémarrage des circuits

Les opérations de nettoyage se sont terminées le 23/01/04. Le jour même, avant redémarrage des équipements, un traitement préventif a été réalisé : injection d'un biocide non oxydant associé à un biodispersant.

⁹ les temps ont été différents selon le circuit ; 2 h10min. sur le circuit Ferguson et 1 h30 sur le circuit Samifi.

Les analyses réalisées après la remise en service n'ont pas révélé la présence de légionelles.
 Un **choc biocide** non oxydant associé au biodispersant a ensuite été injecté **chaque jour** en attendant la mise en place d'une nouvelle stratégie (biocide oxydant, biocide non oxydant, biodispersant), la turbidité de l'eau au moment du choc étant suivie.
 Une étude de risque en collaboration avec une société compétente doit être réalisée.

Des analyses mensuelles sont prévues avec recherche de légionelles et de flore totale.

6- Commentaires

6-1-Risque de contamination des circuits à partir de l'environnement

L'eau d'appoint est une eau de forage adoucie.

Deux systèmes de lagunage aérés sont dans l'environnement des tours. Les analyses dans l'air en bord de lagune ont permis la détection de légionelles par la méthode FISH mais les résultats sont inférieurs au seuil de détection par la PCR ou la culture (tableau 3).

La gestion du risque légionelles, implique la maîtrise des aérosols formés à partir de l'eau des lagunes (cf. rapport Noroxo). **Un examen de ce point devra être fait ultérieurement par l'exploitant.**

Date	Lieu de prélèvement	résultat
13/01/04	Lagune	< 50 000 ufc/l
14/01/04	Lagune (bord de bassin en aval)	Culture : non détection PCR : 1090 legionella sp/m3 d'air
	Panache	Non Détecté
27/01/04	Lagune	<10 000 ufc/l

Tableau 3 : résultats des analyses légionelles sur la lagune

6.2- Maîtrise du risque de prolifération

La conception du circuit de et les vitesses de circulation de l'eau ne favorisent pas la formation de dépôts biologiques.

Les circuits sont arrêtés pour nettoyage et désinfection chaque année. En fonctionnement normal, l'eau était traitée ponctuellement (1 fois par semaine) par un produit mixte (nettoyage et désinfectant).

Les traitements du circuit semblent correctement maîtrisés.

Toutefois, cette stratégie (injection choc hebdomadaire d'un produit mixte) peut présenter quelques limites en cas de développements biologiques ou de variation brutale de la qualité de l'eau. En effet, l'efficacité dépend du temps nécessaire pour que l'eau du circuit se renouvelle (la purge est continue). De plus, le biodispersant induit une augmentation de la teneur en matières en suspensions dans l'eau, ce qui peut affecter l'efficacité du biocide.

Lors de la remise en service, les injections en biocide – biodispersant sont journalières. Ce changement de fréquence (par rapport à la période avant l'arrêt du 19 janvier qui était hebdomadaire ou bimensuelle) laisse penser que, compte tenu du taux de renouvellement de l'eau dans le circuit, le traitement préventif pouvait être optimisé.

Mac Cain s'est engagé à étudier une autre stratégie qui consiste à utiliser un biodispersant ou biodétergent en permanence (maintien d'un résiduel) et dissocié du ou des biocides.

6.3- Risque de dissémination

Pendant les opérations de nettoyage, toutes les précautions ont été prises pour éviter l'envol d'aérosols.

L'état des parties internes des tours était contrôlé annuellement (dernier contrôle en juillet 2003). Au regard des documents fournis, rien ne permet de penser que le risque de dissémination ait été augmenté du fait de la gestion des tours.

Annexe 4 : rapport de l'Ineris : évaluation de la dispersion atmosphérique d'aérosols potentiellement contaminés dans la région de Lens

Annexe 5 : rapport de Michèle Merchat : Etude des moyens mis en œuvre pour la gestion du risque légionelles chez Noroxo