

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
Driré	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 séroroupe 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 DIRE 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, DIRE et Cire,
- réunion le 5 janvier : DIRE, Noroxo et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion à la DIRE à Douai le mardi 6 janvier matin avec Ddass, DIRE et Cire,
- réunion téléphonique le mercredi 7 janvier matin avec Cire et DIRE,
- réunion téléphonique le vendredi 9 janvier matin avec la DIRE,
- réunion le 12 janvier : préfecture, Noroxo, DIRE et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le mardi 13 janvier à la préfecture du Pas-de-Calais : Préfecture, DIRE, 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, DIRE, Noroxo et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 22 janvier : DIRE et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 25 janvier à l'usine Noroxo avec Préfecture, Ddass, DIRE, Cire et experts Noroxo, sur les conditions de redémarrage de l'installation,
- réunion le 28 janvier : DIRE et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 30 janvier : DIRE, Noroxo, tiers expert et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 4 février : DIRE, Noroxo, tiers expert et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 6 février : DIRE, Noroxo, tiers expert et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 25 février : DIRE, Noroxo et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 2 mars : DIRE et 1 membre de la mission d'appui (visite des sites Noroxo et Mac Cain),
- réunion le 5 mars : DIRE, Noroxo et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 16 mars : DIRE, Noroxo et 1 membre de la mission d'appui,
- réunion le 18 mars : DIRE, 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 Rouil (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 Drire 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 Drire 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 Drire). 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

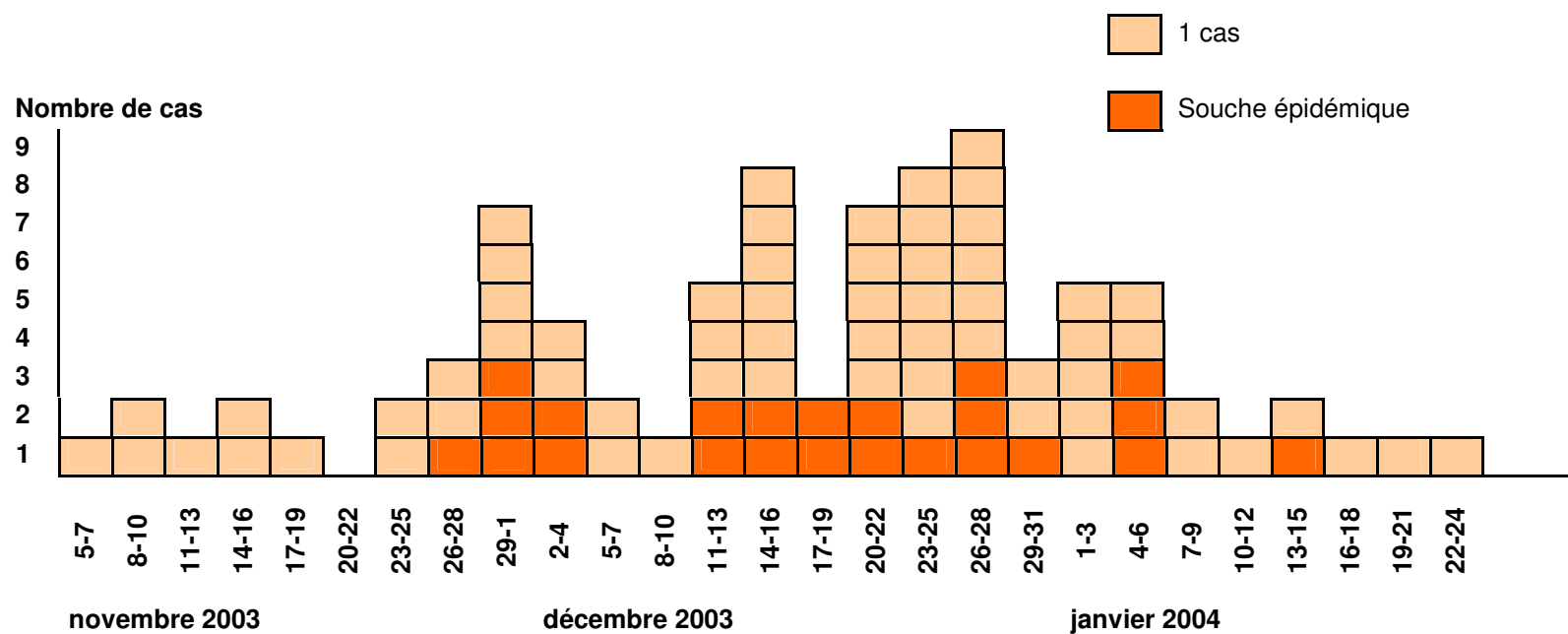
Quarante neuf cas de légionellose ont bénéficié de prélèvements bronchiques. Une souche de *Legionella pneumophila* séro groupe 1 a été isolée chez 23 d'entre eux (47 %), soit chez 27 % de l'ensemble des cas. Toutes les souches cliniques ont été adressées au CNRL : toutes ces souches étaient identiques 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.



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 1 µg/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 Drire 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, dégazage 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 7×10^5 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 inexpliquée 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.

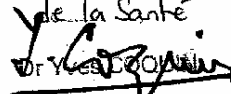
Vous voudrez bien vous mettre à la disposition du préfet du Pas-de-Calais qui vous exposera dès le 31 décembre les éléments à sa disposition et qui vous indiquera les pistes qui lui paraissent prioritaires. Nous vous demandons d'examiner le détail des investigations réalisées, de répondre aux interrogations 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
de la Santé


Dr Yves COQUIN

Destinataires : voir liste in fine.

Copie : Préfecture du Pas-de-Calais, DIRE 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 MERCHAT	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 *Hartmannella* et *Acanthamoeba* connues pour abriter et protéger les légionelles des traitements usuels, doit faire envisager une contamination via les vésicules amibiennes.

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 amibiennes 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 non disponible

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

ETUDE DES MOYENS MIS EN OEUVRE
POUR LA GESTION DU RISQUE LEGIONELLES
CHEZ NOROXO

EPIDEMIE DE LEGIONELLOSE DU NORD PAS DE CALAIS

Mission d'appui

Michèle MERCHAT
Responsable Recherche Appliquée & Développement

CLIMESPACE



SOMMAIRE

INTRODUCTION

6

I - GENERALITES

7

1	LA PROLIFÉRATION DES LÉGIONELLES	7
2	LUTTE CONTRE LA FORMATION DE DÉPÔTS BIOLOGIQUES	7
3	CONTRÔLE DE L'EFFICACITÉ DES TRAITEMENTS MIS EN OEUVRE.....	8
4	DISSÉMINATION DES LÉGIONELLES VIA LES TOURS DE REFROIDISSEMENT.....	8

II - GESTION DU RISQUE AVANT LE 2 DÉCEMBRE 2003

10

1	RISQUES DE CONTAMINATION DE L'INSTALLATION PAR DES LÉGIONELLES	10
1.1	ALIMENTATION EN EAU D'APPOINT	10
1.2	ENVIRONNEMENT DES TOURS.....	10
1.2.1	<i>Lagunes et les systèmes d'aération.....</i>	<i>10</i>
1.2.2	<i>Pompage des boues avant valorisation.....</i>	<i>11</i>
1.2.3	<i>Ensemencement des lagunes avec des boues activées</i>	<i>11</i>
1.3	COMMENTAIRES.....	12
1.3.1	<i>Risques liés à l'eau d'appoint</i>	<i>12</i>
1.3.2	<i>Risques liés à la présence de la lagune.....</i>	<i>12</i>
1.3.2.1	<i>Risque de génération d'aérosols</i>	<i>14</i>
1.3.2.2	<i>Risque lié à la modification d'un écosystème</i>	<i>14</i>
2	RISQUES LIÉS À LA CONCEPTION DE L'INSTALLATION.....	15
2.1	RISQUE DE PROLIFÉRATION	15
2.1.1	<i>Hydraulique.....</i>	<i>15</i>
2.1.2	<i>Matériaux</i>	<i>15</i>
2.1.3	<i>Facilité pour le nettoyage mécanique des échangeurs.....</i>	<i>15</i>
2.1.4	<i>Localisation des appoints et des purges de déconcentration</i>	<i>15</i>
2.2	RISQUE DE DISSÉMINATION	15
2.3	COMMENTAIRES	16
3	PROTECTION CONTRE LA CORROSION ET L'ENTARTRAGE.....	16
4	PROTECTION CONTRE LES DÉVELOPPEMENTS BIOLOGIQUES : TRAITEMENT PRÉVENTIF ET TRAITEMENT CURATIF.....	16
4.1	CONDITION DE MISE EN ŒUVRE DU TRAITEMENT PRÉVENTIF EN CONTINU	18
4.2	CONDITION DE MISE EN ŒUVRE DU CURATIF	18
4.2.1	<i>Biodispersant</i>	<i>18</i>
4.2.2	<i>Biocides non oxydants.....</i>	<i>18</i>
4.3	COMMENTAIRES.....	18
4.3.1	<i>Traitement préventif.....</i>	<i>18</i>
4.3.2	<i>Traitement curatif.....</i>	<i>19</i>

5	CONTRÔLE DE L'EFFICACITÉ DES TRAITEMENTS MIS EN OEUVRE.....	21
5.1	ANALYSES DE LÉGIONELLES.....	21
5.2	MESURES D'ATP.....	22
5.3	COMMENTAIRES.....	22
5.3.1	Concernant l'analyse des Légionelles.....	22
5.3.2	Concernant le suivi de la flore totale.....	22
6	LE CARNET DE SUIVI.....	24

III - GESTION DU RISQUE : MODIFICATIONS APPORTÉES DANS LA PERPECTIVE DU REDEMARRAGE DE MARS 2004

		25
1	RISQUES DE CONTAMINATION DE L'INSTALLATION PAR DES LEGIONELLES	25
1.1	ALIMENTATION EN EAU D'APPOINT	25
1.2	ENVIRONNEMENT DES TOURS.....	25
2	MODIFICATION DE LA CONCEPTION DE L'INSTALLATION.....	26
2.1	ELIMINATION DES BRAS MORTS ET DES ZONES DE FAIBLE CIRCULATION	26
2.2	FACILITÉ POUR LE NETTOYAGE MÉCANIQUE DES ÉCHANGEURS	26
3	PROTECTION CONTRE LA CORROSION ET L'ENTARTRAGE.....	26
4	PROTECTION CONTRE LES DÉVELOPPEMENTS BIOLOGIQUES : TRAITEMENT PREVENTIF ET TRAITEMENT CURATIF.....	26
4.1	CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE DU TRAITEMENT PRÉVENTIF EN CONTINU	26
4.2	CONDITION DE MISE EN ŒUVRE DU BIODISPERSANT	27
4.3	CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE DES BIOCIDES NON OXYDANTS	27
4.3.1	Biocides non oxydants NX1102 à spectre d'action ciblé « Légionelles »	27
4.3.2	Biocide non oxydant NX1103 à spectre d'action large	28
5	CONTRÔLE DE L'EFFICACITÉ DES TRAITEMENTS MIS EN OEUVRE.....	28
5.1	ANALYSES DE LÉGIONELLES.....	28
5.2	MESURES D'ATP.....	29
6	LE CARNET DE SUIVI.....	29

IV - NETTOYAGE ET DÉSINFECTION PENDANT LA PERIODE D'ARRÊT DU 3 AU 22 DÉCEMBRE 2003

		30
1	PÉRIODE D'ARRÊT DU 29 NOVEMBRE AU 3 DÉCEMBRE 2003 : MISE À L'ARRÊT.....	30
2	PÉRIODE DU 3 AU 8 DÉCEMBRE 2003 : ELABORATION DU PLAN DE NETTOYAGE.....	30
3	PÉRIODE DU 8 AU 20 DÉCEMBRE 2003 : OPERATIONS DE NETTOYAGE.....	30
3.1	NETTOYAGE DES TOURS.....	30
3.2	NETTOYAGE DES CONDENSEURS.....	30
3.3	NETTOYAGE DES CIRCUITS.....	32
3.4	PRÉPARATION AVANT REDÉMARRAGE.....	32
4	COMMENTAIRES	32
4.1	EFFICACITÉ DES NETTOYAGES.....	32
4.2	ENVOL D'AÉROSOLS CONTAMINÉS.....	32

V - PERIODE DU 22 AU 31 DECEMBRE 2003 APRES LE REDÉMARRAGE DU SITE

1	ACTIONS MISES EN OEUVRE.....	33
2	COMMENTAIRES	33

VI - CONCLUSIONS

		34
--	--	-----------

BIBLIOGRAPHIE.....	36
---------------------------	-----------

ANNEXES.....	40
---------------------	-----------

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES

Figure 1: Aérateur de surface (turbine rapide Aquafen) et aérateur de fond (Triton) (photos constructeur).....	11
Figure 2 : Quantités de réensemencement en boues chez Noroxo	12
Figure 3 : Influence des aérateurs de surfaces sur la concentration en Légionelles dans l'air (méthode de culture)	13
Figure 4 : Corrélation entre l'ATP et la concentration en germes totaux à 22 et 36°C.....	23
Figure 5 : Schématisation de la configuration des éléments pendant les opérations de nettoyage.....	31

TABLEAU

Tableau 1 : Extrait de résultat d'analyse d'eau brute.....	10
Tableau 2 : Concentrations en Flore totale et en Légionelles dans les prélèvements d'air	13
Tableau 3 : identification des produits de traitements inhibiteurs du tartre et de la corrosion.....	16
Tableau 4 : liste des produits de traitement chimique pour lutter contre les développements biologiques.....	17
Tableau 5 : Stratégie de mise en œuvre des traitements biocides curatifs pour lutter contre les développements biologiques et en particulier contre les légionelles.....	17
Tableau 6 : Efficacité du DBNPA en fonction de la Concentration et du Temps de contact.....	20
Tableau 7 : Identification des actions mises en œuvre en fonction des concentrations en légionelles (avant décembre 2003).....	21
Tableau 8 : Commentaires du traiteur d'eau sur la base des mesures ATP et comparaison avec les résultats et commentaires du laboratoire d'analyse.	23
Tableau 9 : Génération d'aérosols pendant les opérations de nettoyage des tours et des condenseurs lors de l'arrêt des installations.	31
Tableau 10 : Résultats des analyses de Légionelles réalisées entre le 22 décembre 2003 et le 2 janvier 2004	33

ANNEXES

Annexe 1: Concentrations en Légionelles sur l'eau d'appoint et l'eau du réseau incendie alimentant NOROXO.....	41
Annexe 2: Résultats des analyses physico-chimiques de l'échantillon de boues provenant de chez SEAC	41
Annexe 3: Présence de <i>Legionella</i> dans le cycle de l'eau – Données publiées	42
Annexe 4: Présence de <i>Legionella</i> dans le cycle de l'eau - Compilation des principales données publiées	43
Annexe 5: Concentrations en Légionelles dans les différents bassins sur site	44
Annexe 6: Concentrations en Légionelles sortie effluents	45
Annexe 7: Compte rendu : retour d'expérience du 26 mars 2004.....	46

INTRODUCTION

L'arrêté préfectoral n°2001-371 du 21 décembre 2001 impose des prescriptions pour renforcer la prévention de la Légionellose et fixe des prescriptions spécifiques en ce qui concerne l'entretien et la maintenance des installations de réfrigération.

Ces obligations visent à prévenir l'émission d'eau contaminée par les légionelles.

Le système de refroidissement est clairement défini comme les circuits d'eau en contact avec l'air (les canalisations et les condenseurs) et l'ensemble évaporatif qui leur est lié (la tour de refroidissement).

Conformément aux préconisations du guide de bonnes pratiques, NOROXO s'est appuyé sur la compétence d'une société de traitement d'eau pour l'aider dans sa gestion du risque légionelle.

Le présent document identifie les dispositifs et dispositions destinés à limiter le risque légionelles et ce pendant la conduite normale de l'installation de réfrigération mais aussi pendant les périodes particulières comme les arrêts. Les différents moyens mis en oeuvre pour lutter contre le développement et les dépôts biologiques sont identifiés.

L'analyse des conditions de leur mise en oeuvre et l'étude de l'historique des données permettent d'avoir une idée sur l'état du site, les risques de contamination, les risque de proliférations au sein des circuits et sur la pertinence et l'efficacité des traitements mis en oeuvre pour réduire et maîtriser le risque, cela pour différentes périodes :

- Avant l'arrêt de décembre 2003
- Pendant la période d'arrêt du 2 décembre au 22 décembre 2003
- Au moment du redémarrage après le 22 décembre
- Au moment de l'autorisation de remise en service en mars 2004

Les modifications réalisées et la nouvelle stratégie de traitement finalement proposée est le résultat d'une quinzaine de réunions dont une partie sur site, entre la DRIRE, le groupe d'appui national, NOROXO et leurs experts internationaux.

I GENERALITES

1 LA PROLIFERATION DES LEGIONELLES

Les principaux facteurs de prolifération des légionelles dans les réseaux d'eau sont la température et la stagnation de l'eau qui favorisent la formation de biofilm (*Alary, Arnow, Atlas, Campins, Crespi, Farrell, Frederiksen, Köhler, Paszko-Kolva, Patterson, Solomon, Visca, Wadowsky*).

Le biofilm offre un milieu particulièrement bien adapté à la survie des légionelles (*Armon, Dubrou*). Elles y trouvent à la fois une microflore (bactéries, notamment flavobactéries, cyanobactéries, algues vertes, amibes et protozoaires ciliés) qui favorise leur croissance et une protection contre les traitements chimiques ce qui peut expliquer l'échec, dans certains cas, des procédures de désinfection.

Le rôle des amibes a été particulièrement étudié (*Barbaree, Barker, Neumeister, Nagl, Newsome, Rowbotham, Wadowsky, Winiecka-Krusnell, Swanson*). Certains auteurs (*Anand, Breiman, Fields, Nahapetian*) estiment que la multiplication des Légionelles dans l'eau serait impossible sans leur présence, d'autres ont démontré la possibilité de multiplication des Légionelles indépendamment de la présence des amibes (*Surman*). En revanche, ils mettent en évidence la nécessité de la présence d'une flore bactérienne complexe, en l'absence de laquelle les légionelles ne peuvent survivre. Les amibes serviraient de réservoir permettant la multiplication des légionelles dans les vacuoles jusqu'à rupture des parois (*Berk, Daube*). Elles sont alors éliminées en grand nombre (jusqu'à 10^4 par vacuole), vers l'extérieur.

La virulence des légionelles est liée à leur résistance au passage dans les amibes. Certaines souches, avirulentes, n'ont pas cette capacité de résistance, et sont détruites à l'intérieur des amibes (*Surman*).

2 LUTTE CONTRE LA FORMATION DE DEPOTS BIOLOGIQUES

La nature des matériaux, la vitesse de circulation de l'eau influent sur la colonisation des surfaces par le biofilm, donc, de façon indirecte, sur la colonisation par des légionelles (*Bezanson, Dubrou, Rogers*). La surface des matériaux altérée par les dépôts minéraux de **tartre** ou par la **corrosion** favorise l'accrochage des micro-organismes. En outre, les produits de la corrosion sont des nutriments (*Cordonnier*). C'est pourquoi la survie et la croissance des légionelles peuvent être facilitées par des défauts de **conception** rencontrés sur les installations.

La formation de dépôts biologiques peut être limitée par des **produits tensioactifs** ou **biodispersants** ou **biodétergents**. Ces produits sont couramment utilisés pour perméabiliser les dépôts et ainsi favoriser l'activité désinfectante des biocides. Leur action est en fait progressive sur un biofilm installé que ces produits érodent progressivement (*Merchat*).

Les **biocides oxydants** détruisent et coagulent la matière organique (élément nutritif des algues et des bactéries) puis ont une action biocide détruisant les micro-organismes. Leur efficacité biocide dépend donc de la teneur en oxydant «résiduel» dans l'eau du circuit et des caractéristiques physico-chimiques de l'eau (en particulier le pH).

Les **biocides non oxydant** agissent sur la physiologie de la bactérie, leur utilisation trop fréquente ou de mauvaises conditions de mise en oeuvre peuvent entraîner des phénomènes d'accoutumance. Leur action désinfectante est fonction de la concentration (C) et du temps de contact (t) entre la molécule et le micro-organisme considéré. La notion de "C.t" permet de comparer l'efficacité de plusieurs biocides pour des conditions expérimentales définies (pH, température, qualité de l'eau, taux de concentration, TH¹, type de micro-organisme, ...).

L'utilisation de ces biocides est réservée pour des actions de choc curatives durant les périodes propices aux développements biologiques ou lorsque le seuil d'action en légionelles est atteint ou pour des actions préventives avec des injections chocs suivant une fréquence définie. Les conditions

¹ Le titre hydrotimétrique représente la concentration en alcalinoterreux présents dans l'eau. On distingue la dureté totale (teneur en Mg et Ca), le TH calcique (teneur en Ca).

physico-chimiques de l'eau influent sur la stabilité et l'efficacité des biocides (en particulier pH et température).

Les conditions de mise en œuvre des traitements chimiques influencent leur efficacité.

Seul un circuit parfaitement nettoyé (exempt² de biofilm) pourra être efficacement désinfecté.

3 CONTROLE DE L'EFFICACITE DES TRAITEMENTS MIS EN ŒUVRE

Des **seuils critiques précis doivent être déterminés pour chaque paramètre indicateur de la maîtrise du risque**. Ils permettent d'évaluer l'efficacité des traitements et les conditions de leur mise en œuvre. Toute dérive de ces seuils critiques par rapport aux conditions normales, devrait entraîner la mise en œuvre d'une mesure corrective adaptée et inciter l'exploitant à se poser des questions sur l'origine du dysfonctionnement (conception, gestion du circuit, variation brutale de la qualité de l'eau, état des surfaces, opérations de maintenance invasives sur le circuit ...).

Ces seuils critiques sont spécifiques à chaque installation car ils sont fonction de la nature des matériaux, de la qualité de l'eau d'appoint, de la nature des produits de traitement utilisés...

La mise en place d'un carnet de suivi, conformément à la réglementation et aux recommandations du guide de bonnes pratiques, permet d'effectuer une surveillance et d'observer les paramètres indicateurs par rapport aux seuils critiques définis. Ce système de surveillance porte sur la conduite des équipements, du traitement d'eau...

4 DISSEMINATION DES LEGIONELLES VIA LES TOURS DE REFROIDISSEMENT

A partir de la tour, **la dispersion de légionelles dans l'environnement est possible via l'entraînement vésiculaire** (entraînement direct de l'eau du circuit) dans l'atmosphère par l'air à contre courant. Afin de limiter ces entraînements, un pare gouttelette placé au-dessus des rampes de dispersion d'eau est installé.

Les pare gouttelettes ont une efficacité (mesurée en plate forme par les constructeurs) qui est fonction de la vitesse de l'air qui les traverse. Au-delà d'une certaine vitesse, on dit que le pare gouttelettes "décroche" et l'entraînement vésiculaire augmente fortement. Il en est de même lorsque le débit d'eau est réduit d'une façon sensible. Dès lors, puisque la perte de charge due à l'eau est devenue insuffisante par rapport au débit d'air resté nominal, la vitesse d'air peut augmenter au-delà de la fameuse vitesse de décrochage et l'entraînement vésiculaire augmente lui aussi.

Dans une moindre mesure, un débit d'eau excédentaire peut générer un dysfonctionnement des pare gouttelettes qui peuvent alors, dans certains cas et selon leur conception, produire des gouttelettes dont la taille est telle qu'elles ne peuvent plus être retenues.

Les constructeurs définissent des plages de fonctionnement de débit d'eau, de vitesse de l'air et de pression au niveau de la pulvérisation d'eau admissible.

Il est important de noter que les procédures utilisées pour l'évaluation des entraînements d'eau ne tiennent pas compte des traitements d'eau mis en œuvre, qui modifient les propriétés de l'eau (tension superficielle) ce qui a peut-être un impact sur la quantité d'eau entraînée.

L'efficacité des pare gouttelettes est évaluée par rapport au pourcentage d'eau directement entraînée sans tenir compte la granulométrie des aérosols émis.

Une étude récente montre que le nombre de particules à la sortie de la tour est de l'ordre de 1500 particules/cm³ et s'accroît jusqu'à 10 000 particules/cm³ à seulement 10 et 20 cm. La taille moyenne de ces gouttes est de 0,8 à 5 µm, et ce quelles que soient les 3 hauteurs successives pour lesquelles les mesures ont été réalisées, juste en sortie de tour, 10 cm plus haut et 20 cm plus haut. En prenant en compte le nombre de particules mesurées dans 1 cm³, ce sont en fait plusieurs milliards de particules par seconde qui sont émises dans les conditions des mesures effectuées³ (Clodic).

Peu de connaissances sont disponibles sur le transfert des Légionelles dans le panache des tours. La viabilité des Légionelles aéroportés est affectée par différents facteurs dont les conditions météorologiques, la qualité chimique de l'eau aérosolisée, et la physiologie des bactéries.

² La notion d'absence de biofilm est « exagérée », toutefois il est possible de mettre en œuvre différentes actions dans le but de limiter sa formation.

³ Dans les conditions climatiques testées, la température de l'air était de l'ordre de 16 °C et l'hygrométrie d'environ 70 %.

Selon diverses études réalisées en Allemagne en 1979, les concentrations en bactéries mesurées dans un panache peuvent fluctuer considérablement. Lors de «lâchés biologiques» des concentrations de plus de 1000 UFC/m³ d'air ont été mesurées (*Werner*).

Les micro-organismes sont agrégés en grappes donnant de grosses gouttes qui sont moins susceptibles de voyager sur de longues distances, mais la survie peut être augmentée pour les bactéries de la partie centrale, les cellules périphériques leur assurant une protection contre la dessiccation et les radiations ultra violettes (*Robine*).

Les kystes de protozoaires, les vésicules amibiennes (2 à 6µm de diamètre moyen) ou les vacuoles⁴ des ciliés (4 à 6 µm de diamètre moyen) sont susceptibles de contenir des légionelles qui protégées des stress physiques et environnementaux peuvent survivre et restées infectieuses pendant de longues périodes dans des conditions défavorables (*Stetzenbach*).

Dans les vacuoles de ciliés les légionelles résistent une dizaine de jours à la déshydratation (*S. Beck*, communication personnelle).

Ce phénomène pourrait expliquer le transport de légionelles pathogènes sur de longues distances, la transmission à l'homme pourrait être possible par inhalation de vésicules ou vacuoles pleines de légionelles (*Rowbotham*).

⁴ Les ciliés sont des protozoaires qui expulsent les vacuoles digestives dans lesquelles il ne reste plus que les déchets non assimilables et des légionelles si elles ont été ingérées.

II GESTION DU RISQUE AVANT LE 2 DECEMBRE 2003

1 RISQUES DE CONTAMINATION DE L'INSTALLATION PAR DES LEGIONELLES

La contamination du circuit de refroidissement est théoriquement possible via l'air à l'aspiration des tours et via l'eau d'appoint.

1.1 Alimentation en eau d'appoint

L'arrêté préfectoral exige que « l'alimentation en eau d'appoint réponde aux règles de l'art et soit dotée d'un compteur ».

L'eau d'appoint qui alimente le circuit via la bache d'eau chaude provient d'un forage géré par la compagnie générale des eaux. L'eau pompée, chlorée est stockée dans deux châteaux d'eau de 500 m³. Noroxo est le seul utilisateur de cette eau.

Le suivi hebdomadaire de l'eau d'appoint montre que la concentration en chlore résiduelle est faible. Elle varie entre 0,1 et 0,2 mg/l sur l'eau brute, et entre 0,03 et 0,1 mg/l sur l'eau déminéralisée (chez Noroxo).

Des analyses annuelles sur l'eau brute (eau d'appoint alimentant le circuit de refroidissement) ont été réalisées entre 1999 et 2003.

L'interprétation est difficile vu le faible nombre d'analyses et la non homogénéité des prélèvements (la physico-chimie n'est pas analysée le même jour que la biologie) (Tableau 1).

	1999						2000		2002	2003
	08/06	28/06	29/07		06/08	28/09	04/10	06/10	01/07	18/03
Germes à 22°C/ml	-	-	110	>300	5	-	1	-	-	-
Germes à 37°C/ml	-	-	51	95	<1	-	1	-	-	-
Coliformes/100 ml	-	-	50	>100	<1	-	<1	-	-	-
E . Coli /100 ml	-	-	43	>100	<1	-	<1	-	-	-
Entérocoques /100 ml	-	-	10	14	1	-	<1	-	-	-
Spores de sulfite réducteurs /100 ml	-	-	<1	<1	1	-	<1	-	-	-
Turbidité NTU	1,7	0,3	-	-	-	-	-	<0,05	<0,05	-
MES mg/l	2,7	<2	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 1 : Extrait de résultat d'analyse d'eau brute

Un prélèvement réalisé le 8 décembre 2003 à l'initiative de NOROXO a révélé une concentration de Légionelles de 100 UFC/l (Lp2-14) dans l'eau d'appoint, les résultats obtenus par la suite étant inférieurs à la limite de détection (Annexe 1).

1.2 Environnement des tours

Les effluents de NOROXO sont traités dans un système lagunaire avant rejet dans l'environnement. L'exploitation des lagunes était assurée par une société de conseil en exploitation spécifique, sous contrat. Lors de ses visites mensuelles sur site, le conseiller en exploitation établit un compte rendu, avec les résultats commentés et des conseils sur le suivi des installations.

1.2.1 Lagunes et les systèmes d'aération

Un bassin tampon de 3000 m³ et une lagune de 10 000 m³ surélevés de 3 mètres environ permettent de traiter les rejets issus des processus industriels.

Un système d'aération forcée comprend 4 aérateurs de fond de type "Triton", flottants, qui se déplacent sur l'ensemble de la surface de l'eau (l'air projeté dans l'eau est réparti sous forme de fines

bulles) et 3 aérateurs de surface de type «turbines rapide Aquafen» (l'eau projetée en l'air s'oxygène au contact de l'air) (Figure 1).

Selon les données constructeur, la nappe de projection des aérateurs de surface a un diamètre de 6 mètres. Trois des turbines ont une puissance de 11 KW et un débit moyen de 24 m³/min et une turbine a une puissance de 15 KW et un débit moyen de 30 m³/min.

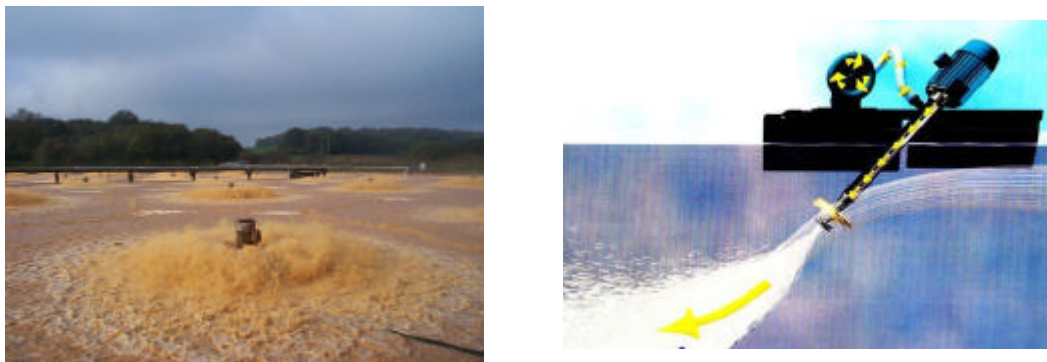


Figure 1: Aérateur de surface (turbine rapide Aquafen) et aérateur de fond (Triton) (photos constructeur)

Le maintien du rendement épuratoire était contrôlé par les analyses mensuelles de DCO⁵ et MES⁶ (en entrée et sortie de lagune et en sortie décanteur) réalisées par une société de conseil en environnement. Depuis mars 2003 le suivi a été fiabilisé par la mise en place d'analyses de DCO en ligne et d'un poste d'autocontrôle en sortie décanteur.

1.2.2 Pompage des boues avant valorisation

La sortie lagune est envoyée vers un décanteur. Les boues en sont extraites par pompe et envoyée dans un bac de stockage. Une pompe les envoie ensuite vers l'unité de filtration où elles sont mélangées avec des additifs chimiques dans les bacs à l'air libre avec brassage sous le niveau de la boue.

Elles sont ensuite pressées et séchées avec un taux de siccité supérieur à 30% avant d'être stockées en « big bags » neufs et envoyées pour valorisation.

Le filtrat est renvoyé vers la lagune par pompage.

1.2.3 Ensemencement des lagunes avec des boues activées

Suite à la fermeture de l'usine des cokes de DROCOURT qui fournissait lesensemencements en bactéries de la lagune, NOROXO a recherché une autre source de bactéries pour alimenter sa lagune.

En collaboration avec le conseiller en exploitation, NOROXO a contacté la société SEAC à Beuvry la forêt et commandé des essais dans un laboratoire, pour analyse des contaminants chimiques sur un échantillon de boues biologiques stabilisées avant mise en décharge. Le rapport d'essai diffusé le 14 mars 2002 à la société SEAC puis transmis à NOROXO le 9 octobre 2002 permettait de vérifier la conformité des résultats avec les spécifications de l'effluent définies dans l'Arrêté Préfectoral NOROXO (Annexe 2).

Trois ensemencements tests ont été effectués du 2 novembre au 4 décembre 2002 dans le bassin tampon dont l'aération était volontairement maintenue en fonctionnement continu, avec des concentrations de boues estimées⁷ à 0,09 g/l, ce qui semble être une valeur correcte pour permettre un redémarrage en une semaine.

⁵ Demande Carbone Organique

⁶ Matières en suspensions

⁷ Les ensemencements tests ont représentés 16m³ pour un apport de 270kg de matières sèches.

Le rapport conclut que la boue biologique provenant de SEAC peut être utilisée ponctuellement, soit pendant les périodes de fortes charges (en particulier destruction d'eau méthanolée provenant d'un grade spécifique d'un produit NOROXO), soit pendant les périodes hivernales afin de dynamiser le rendement épuratoire de la lagune.

Dès le mois de mars 2003, des boues ont donc été régulièrement extraites de la station d'épuration de SEAC et transportées par camions pour ensemençer la lagune de la société NOROXO (Figure 2).

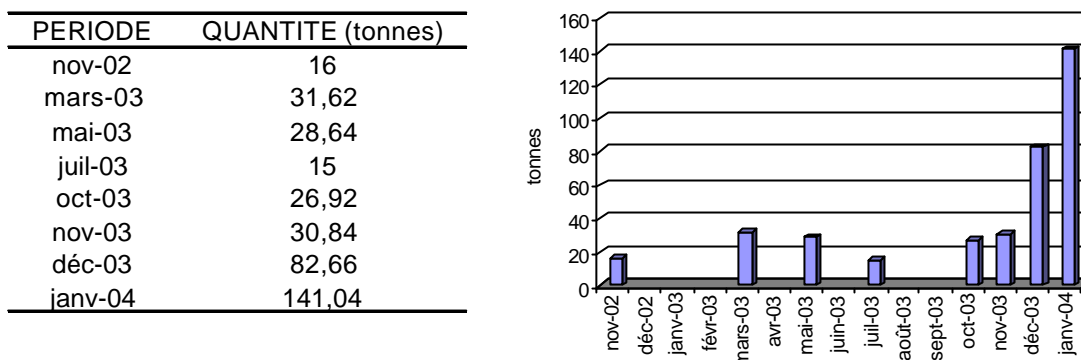


Figure 2 : Quantités de réensemencement en boues chez Noroxo

Les boues étaient dépotées dans la lagune par un tuyau flexible au-dessus du niveau d'eau en utilisant la pompe du camion citerne.

A la fin de la vidange la citerne du camion était lavée sur l'aire de lavage se situant à moins de 300 mètres des tours sur le site NOROXO. Le fond de la citerne était ouvert pour vidanger totalement par gravité le liquide résiduel. L'intérieur de la citerne était lavé au jet d'eau (pression <5bars), la citerne étant ensuite refermée.

Le personnel effectuant les lavages des citernes ne portait pas de masque de protection, cette opération n'ayant jamais été identifiée comme présentant un risque.

L'eau de lavage était écoulee via une vanne de purge vers un bassin de résidu (bassin D) pour traitement ultérieur sur le bassin lagunaire.

1.3 Commentaires

1.3.1 Risques liés à l'eau d'appoint

La modification de la qualité enregistrée en 1999 peut suggérer que la nappe⁸ soit influencée par la surface (contamination microbiologique ponctuelle) ou bien que le débit de pompage ait été plus important (remise en suspension d'éléments présents) ou encore que le débit de la nappe ait augmenté sous l'influence des précipitations. La mesure de turbidité ou la teneur en matières en suspension sont des paramètres indicateurs qui n'ont été relevés que le mois précédent l'analyse microbiologique⁹.

Des Légionelles ont déjà été détectées dans les eaux profondes (Annexe 3 et Annexe 4). Il n'est donc pas improbable qu'il y ait un apport de légionelles par l'eau d'appoint mais les concentrations restent modestes. Il ne faut pas oublier que ce n'est pas la présence de légionelles qui génère un risque mais sa prolifération associée à la génération d'aérosols d'eau.

1.3.2 Risques liés à la présence de la lagune

Différentes études ont montré que l'aérobiocontamination est assez élevée au niveau des lagunes mais diminue très vite dès que l'on s'en éloigne (*Brochard, CEMAGREF, Medema*). En particulier, les turbines flottantes génèrent des aérosols (*Bubinger*).

⁸ nappe libre de la craie (crétacé supérieur).

⁹ Selon les données disponibles et fournies par Noroxo.

Deux campagnes de prélèvements d'air pour analyses de Légionelles, ont été réalisées, le 15 janvier 2004 alors que tous les aérateurs étaient en fonctionnement et le 2 mars 2004 alors que seuls les aérateurs de fond fonctionnaient.

Entre les deux campagnes d'analyse, la concentration en Légionelles détectée au dessus de la lagune est passée de 3.10^3 Légionelles/m³ à une valeur inférieure à la limite de quantification de la méthode FISH et de $5,4.10^3$ à 62 UFC/m^3 avec la méthode de culture (Tableau 2 et Figure 3).

CAMPAGNE DU 15 janvier 2004 : aérateurs de surface en fonctionnement					
	Flore totale ¹⁰		Légionelles		
	Bactéries ¹¹ /m ³	UFC ¹² /m ³	Détection ¹³	L.sp d'air ¹⁴ /m ³	UFC ¹⁵ /m ³
En amont lagune	$1,1.10^5$	$3,3.10^1$	+	<LQ	<LQ
Lagune	$1,1.10^6$	$4,8.10^3$	+	$2,9.10^3$	$5,4.10^3$
A 270 m de la lagune	$1,9.10^5$	$5,2.10^1$	+	<LQ	$3,3.10^2$
CAMPAGNE DU 2 mars 2004 : aérateurs de surface à l'arrêt					
900m amont lagune	$1,21.10^4$	$1,65.10^2$	LD		Abs
	$1,54.10^4$	$1,98.10^2$	LD		Abs
Lagune	$2,83.10^4$	$2,61.10^2$	+	<LQ	59
	$2,66.10^4$	$3,27.10^3$		<LQ	88
	$2,54.10^4$	$2,61.10^2$	+	<LQ	40
200m aval lagune	$7,53.10^3$	$9,80.10^1$	+	<LQ	Abs
	$1,74.10^3$	$1,96.10^2$	+	<LQ	Abs
	$9,26.10^3$	$0,00.10^0$	+	<LQ	Abs
1,5 km aval lagune	$1,59.10^4$	$1,57.10^2$	LD		Abs
	$8,03.10^3$	$1,57.10^2$	LD		Abs

Tableau 2 : Concentrations en Flore totale et en Légionelles dans les prélèvements d'air

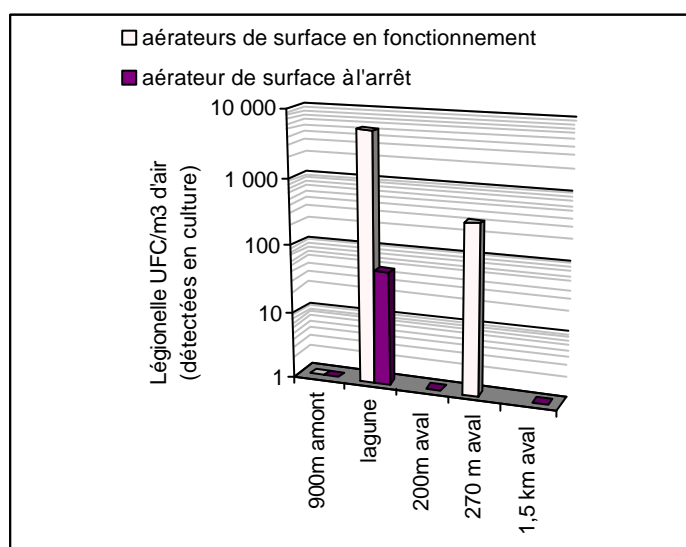


Figure 3 : Influence des aérateurs de surfaces sur la concentration en Légionelles dans l'air (méthode de culture)

¹⁰ Les termes « flore totale » ou « germes totaux » ou « bactéries totales » désignent en réalité une fraction de bactéries (dont ne fait pas partie la Légionelle) . ce sont des bactéries aérobies (besoin d'oxygène), mésophiles (préferent les températures tièdes -22 à 36°C).

¹¹ détection des bactéries totales par la méthode de marquage au DAPI (4',6-Diamidino-2-phenyl-indole)

¹² détection des bactéries viables et cultivables par la méthode de culture.

¹³ détection des Légionelles totales par test PCR (Polymérase Chain Reaction)

¹⁴ détection des Légionelles totales par la méthode FISH (Fluorescent in situ hybridation)

¹⁵ détection des Légionelles viables et cultivables par la méthode de culture

Il est important de noter que sur les nombreux sites investigués au cours de l'épidémie:

- La concentration en flore totale dans les aérosols est de l'ordre de 10^5 à 10^6 bactéries /m³ avec une fraction cultivable de 10 à 10^4 UFC/m³.
- La majorité des prélèvements a montré une absence totale de culture de Légionelles, même si elles avaient été détectées par la méthode FISH à des niveaux de concentrations de l'ordre de 10^3 Légionelles/m³.

C'est seulement sur la lagune NOROXO que les légionelles ont été détectées aussi par la méthode de culture. Cette observation pourrait s'expliquer par une encapsulation des légionelles par les composés présents dans la lagune, cette « coque protectrice » limitant le stress bactérien lié à l'aérosolisation, ou bien par une résistance spécifique et accrue de la souche isolée dans l'air (cf. rapport CSTB).

1.3.2.1 Risque de génération d'aérosols

Les aérateurs de surface utilisés chez Noroxo, les opérations de nettoyage des camions au jet haute pression et les opérations de pompages de boues sont susceptibles de produire des aérosols.

Les lagunes présentent un risque biologique qui doit être pris en compte et géré au même titre que le risque chimique. Jamais jusqu'à présent la présence d'une tour de refroidissement à proximité d'un tel milieu n'a toutefois été considéré comme présentant un risque de contamination du circuit de refroidissement.

L'aération de ces systèmes est indispensable pour apporter aux micro-organismes aérobies l'oxygène dont ils ont besoin et pour provoquer une homogénéisation et un brassage suffisants qui assurent un contact intime entre le milieu vivant, les éléments polluants et l'eau oxygénée.

Les aérateurs de surfaces utilisés par Noroxo sont des aérateurs à axe vertical et à grande vitesse entraînés directement par un moteur électrique (960 à 965 tours/min.). Il est à noter qu'il existe des aérateurs à vitesse lente, des aérateurs de surface capotés...).

1.3.2.2 Risque lié à la modification d'un écosystème

Dans la littérature il est clairement démontré que les Légionelles et les micro-organismes susceptibles de les héberger sont présents dans les boues activées (*Palmer, Medema*). Les mesures réalisées dans la lagune de Noroxo le confirment (Annexe 5).

La souche épidémique de Légionelle a été détectée dans des concentrations de l'ordre de 10^6 à 10^7 UFC/L, dans les lagunes, le décanteur et le bassin général de Harnes.

Dans les boues extraites de la station d'épuration de SEAC, la concentration est de l'ordre de 10^{10} UFC/L. L'analyse de la flore présente dans ces boues¹⁶ montre des caractéristiques correspondant à une boue classique d'eau résiduaire industrielle contenant généralement 10 à 20 g/l de bactéries soit 10^{12} à 10^{13} bactéries /l.

La recherche d'amibes dans la lagune de SEAC et de NOROXO a permis de dénombrer des espèces hôtes potentiels de légionelles (*Acanthamoeba* sp) dans des concentrations de l'ordre de 10^3 à 10^5 NPP¹⁷/l.

De petites amibes libres de taille inférieure à 20µm n'ont pas été encore identifiées. Leur concentration est de l'ordre de $3.6 \cdot 10^4$ et $1,3 \cdot 10^6$ NPP dans la boue primaire et dans la boue déshydratée.

Le fait de devoir réensemencer une lagune aussi fréquemment que le faisait Noroxo semble inhabituel. Quoiqu'il en soit, les boues activées fabriquées dans la lagune de Seac, font partie d'un écosystème qui s'équilibre dans les conditions environnementales de la lagune. Cet écosystème dans un environnement différent évolue (des organismes prolifèrent au détriment d'autres).

Il semble pertinent d'éviter le réensemencement d'une lagune industrielle par des bactéries issues d'un milieu contenant des effluents très différents (Rambaud A. communication personnelle¹⁸).

¹⁶ Etude réalisée depuis juin 2004 par L. Cavalié et le Pr Rambaud - Département Sciences de l'Environnement et Santé Publique, Faculté de pharmacie, Université Montpellier 1.

¹⁷ Le dénombrement a été réalisé selon la méthode du nombre le plus probable (NPP) avec ensemencement sur milieu NNA recouvert d'*Escherichia coli*.

¹⁸ Travaux en cours

2 RISQUES LIES A LA CONCEPTION DE L'INSTALLATION

2.1 *Risque de prolifération*

2.1.1 Hydraulique

Le réseau maillé est complexe. La circulation de l'eau dans l'ensemble du circuit est assurée par des surpresseurs mais aussi par du gravitaire. Différents facteurs étaient plutôt favorables à la formation de biofilm et de ce fait à la prolifération des légionelles ;

- l'écoulement de l'eau était laminaire en certains points.
- de nombreux bras morts ont été identifiés.

2.1.2 Matériaux

Sur l'installation les différents matériaux rencontrés sont : Acier pour les canalisations, Cuivre au niveau des pompes, Inox 304 au niveau des échangeurs à plaque, PVC sur les parties internes de la tour (pare gouttelettes, corps d'échange), bois au niveau de la tour, béton au niveau des bassins d'eau chaude et d'eau froide.

Ces matériaux se retrouvent dans beaucoup d'installations de ce type, néanmoins deux observations sont à formuler :

- Le béton des bassins présente une surface poreuse qui peut favoriser la formation de biofilm d'autant que les vitesses d'écoulement dans ces bassins sont relativement plus faibles que sur le reste des circuits.
Si l'eau est agressive¹⁹, le carbonate de calcium du béton aura tendance à passer en solution ce qui aura pour effet d'accentuer la porosité.
- Le bois dans les tours est soumis à la détérioration chimique (teneur résiduelle en oxydant, variation de pH), biologique et physique (les composés naturels qui permettent au bois de résister à la pourriture sont très hydrosolubles) (Betz).

2.1.3 Facilité pour le nettoyage mécanique des échangeurs

Le nettoyage sélectif de la plupart des échangeurs n'est pas possible puisque qu'aucun piquage ne permet le nettoyage en boucle fermée d'un condenseur « isolé ».

Le nettoyage complet de la tour implique le démontage de chaque élément interne comme sur toutes les tours, mais il n'y a pas de trappes de visites permettant l'observation visuelle des organes internes de la tour (rampes de diffusion d'eau, parties en bois ...).

2.1.4 Localisation des appoints et des purges de déconcentration

La purge de déconcentration se situe dans la bache d'eau chaude où arrive l'eau d'appoint.

Il ne s'agit peut-être pas du lieu où l'eau est la plus chargée. Plus généralement la purge de déconcentration et l'arrivée de l'eau d'appoint sont très éloignées.

2.2 *Risque de dissémination*

Selon le constructeur de tour, le taux d'entraînement de gouttelettes d'eau serait de l'ordre de 0,006 % du débit d'eau en recirculation (soit $0,19 \pm 0,5$ m³/h).

Cette fraction d'eau directement entraînée a les mêmes propriétés que l'eau du circuit.

¹⁹ l'agressivité de l'eau est sa tendance à dissoudre du carbonate de calcium dans l'eau ; elle est due au CO₂ libre présent dans l'eau.

2.3 Commentaires

La présence des nombreux bras morts avec stagnation d'eau et les portions de canalisation avec flux d'eau laminaires favorisaient la formation de biofilm dans l'installation.

Avant le mois de décembre 2003, une des tours fonctionnait avec un ventilateur à l'arrêt. Noroxo a transmis le 22 janvier 2004 à la DRIRE, un extrait du mail envoyé par le constructeur de tour « ...J'ai d'autre part la confirmation de notre service hydraulique que les deux ventilateurs inexistants n'ont pas de conséquence, ou alors très négligeable, sur la répartition de l'eau dans son circuit de distribution actuel ». Cette conclusion est confirmée par un expert ExxonMobil. L'arrêt du ventilateur n'aurait pas d'impact sur la quantité d'aérosols émise par les cellules adjacentes²⁰.

3 PROTECTION CONTRE LA CORROSION ET L'ENTARTRAGE

Dans le circuit, l'eau est à tendance légèrement entartrante. Les produits inhibiteurs de tartre et de corrosion contiennent un dispersant minéral pour maintenir en suspension les particules en empêchant la formation de dépôts minéraux dans les zones de faible circulation et sur les parois d'échange (Tableau 3).

Produit commercial	Produit actif	Activité
DIANODIC DN2304	HPS1 TolyTriAzole TTA	dispersant minéral anticorrosion du cuivre
FLOGARD MS6228	Phosphonate Orthophosphate HPS1	antitartre inhibiteur de corrosion de l'acier dispersant minéral
Acide sulfurique	96%	contrôle du pH

Tableau 3 : identification des produits de traitements inhibiteurs du tartre et de la corrosion

La teneur en chlorures de l'eau d'appoint est très élevée (105 mg/l). Le taux de concentration du circuit est donc limité à 1,5 fois la teneur de l'eau d'appoint, ce qui conduit à limiter la concentration en chlorures à 200 mg/l afin de prévenir les phénomènes de corrosion par piqûre de l'acier inoxydable. Le taux de concentration²¹ est contrôlé en continu de façon indirecte via un conductivimètre (la conductivité du circuit est maintenue entre 2000 et 2500 µS/cm).

La vitesse de corrosion de l'acier est contrôlée sur des coupons placés sur l'installation. Ils sont observés, pesés et analysés deux fois par an. Aucun contrôle de la vitesse de corrosion du cuivre sur l'installation n'était effectué, alors qu'un inhibiteur était injecté.

Les points bas du circuit n'étant pas purgés régulièrement avant décembre, des boues inorganiques se déposaient en différents endroits du circuit (cf. II-5.3.1).

4 PROTECTION CONTRE LES DEVELOPPEMENTS BIOLOGIQUES : TRAITEMENT PREVENTIF ET TRAITEMENT CURATIF

La stratégie de lutte contre les développements biologiques prévoyait :

Un **biocide oxydant** à base de chlore/brome (SPECTRUS OX1203) était injecté en continu via un brominateur à l'aspiration des pompes du bassin d'eau froide. Le pH était maintenu entre 7,8 et 8 (compatible avec l'utilisation du brome/chlore). La régulation était assurée par injection d'acide chlorhydrique, avec asservissement à la mesure du pHmètre (Tableau 4 et Tableau 5).

Des **biocides de synthèse non oxydant** étaient injectés en choc dès que des dérives des paramètres indicateurs étaient détectées ou selon une fréquence définie en été et en hiver (Tableau 4 et Tableau 5). Deux biocides étaient utilisés :

²⁰ Chacune des deux tours est divisée physiquement de haut en bas par des cloisons Nord-Sud et Est-Ouest. Ces cloisons divisent donc chacune des deux tours en quatre cellules ayant des comportements aérauliques indépendants.

²¹ Le taux de concentration est calculé à partir du rapport de conductivité de l'eau du circuit sur l'eau d'appoint.

- Le SPECTRUS NX1102 dont la molécule active est le DBNPA²² a un spectre d'action ciblé légionelles. Son efficacité dans certaines conditions d'utilisations, a été démontrée et publiée. L'injection était réalisée dès que des légionelles étaient dénombrées.
- Le SPECTRUS NX1103 a un spectre d'action large. Il contient deux principes actifs, le MBT²³ qui cible les moisissures et le DGH²⁴ qui cible les bactéries aérobies. L'injection était réalisée dès qu'une dérive du paramètre indicateur (ATP²⁵) était notée (II-5.2) et selon une fréquence définie.

Aux injections de biocides non oxydants étaient associés **un biodispersant** (SPECTRUS BD 1501) et **un antimousse** (FOAMTROL AF1440E).

Produit commercial	produit actif	activité
SPECTRUS OX1203	BCDMH : 3-Bromo-1-Chloro-5,5-Dimethylhydantoin	Biocide Halogène oxydant
SPECTRUS NX1103	MBT : Methylene bis thiocyanate DGH : D Guanidine H	Biocide anti moisissures Spectre d'action large
SPECTRUS NX1102	DBNPA : 2,2-Dibromo-3-NitriloPropionAmide	Biocide Spectre d'action ciblé <i>legionella</i>
SPECTRUS BD 1501	tensio-actifs	Biodispersant
FOAMTROL AF1440E	émulsion de polyéthylène glycol ester, d'acides gras et de glycol	Anti mousse

Tableau 4 : liste des produits de traitement chimique pour lutter contre les développements biologiques

Produits	Point d'injection	Mode d'injection	Dosages mg/l	Asservissement
SPECTRUS OX1203 Halogène oxydant BCDMH	Aspiration pompe recirculation bâche eau froide	Continu via brominateur	0,1- 0,2 0,3 - 0,5 après le 20/12.	Non / Bromomètre en panne Analyse hebdomadaire Prélèvement en aval injection
SPECTRUS NX1103 Biocide non oxydant «bactéries » MBT + DGH	Bâche d'eau froide	Choc via pompe doseuse	15	Dès que ATP>100 Un choc toutes les 3 semaines en hiver et un choc toutes les deux semaines en été.
SPECTRUS NX1102 Biocide non oxydant « <i>legionella</i> » DBNPA	Bâche d'eau froide	Choc en manuel	100	Dès que détection de <i>legionella</i>
SPECTRUS BD 1501 Biodispersant	Bâche d'eau froide	Choc en manuel	17	Dès que choc NX1102
FOAMTROL AF1440E Antimousse	Bâche d'eau froide	Choc en manuel	12,5	Dès que choc BD1501

Tableau 5 : Stratégie de mise en œuvre des traitements biocides curatifs pour lutter contre les développements biologiques et en particulier contre les légionelles

²² 2,2-Dibromo-3-NitriloPropionAmide

²³ Methylene bis Thiocyanate

²⁴ D Guanidine H

²⁵ Adénosine Tri Phosphate : molécule présente dans tous les organismes vivants

4.1 Condition de mise en oeuvre du traitement préventif en continu

L'analyseur de brome résiduel en continu étant en panne depuis plusieurs mois, le contrôle de la teneur en résiduel selon la méthode DPD²⁶ était réalisé par le responsable de la société de traitement de l'eau, lors des visites hebdomadaires. L'objectif était de maintenir une concentration en oxydant résiduel comprise entre 0,1 et 0,2 mg/l.

Les valeurs indiquaient fréquemment des teneurs inférieures à 0,1 mg/l voire nulles et ce malgré le fait que les prélèvements d'eau pour analyses étaient réalisés en aval proche du point d'injection.

Le responsable du traitement de l'eau préconisait alors l'introduction de palets²⁷ solides de SPECTRUS OX1203 directement dans le bac d'eau froide sans autre commentaire.

Le contrôle de la teneur résiduelle à partir d'un échantillon prélevé en un seul point du circuit n'était pas représentative.

4.2 Condition de mise en oeuvre du curatif

4.2.1 Biodispersant

Le biodispersant était utilisé seulement en choc, une heure avant l'injection de biocide NX1102 (spectre ciblé légionelles) pour théoriquement augmenter l'efficacité des biocides en favorisant l'accès et la pénétration des salissures.

L'injection de biodispersant entraîne la formation de mousses dès l'injection. Pour éviter ce phénomène (qui peut déclencher l'arrêt complet de l'installation), un antimousse le FOAMTROL AF1440E était injecté en même temps que le biodispersant.

4.2.2 Biocides non oxydants

Le biocide SPECTRUS NX1102 (à spectre d'action réduit « moisissure et bactéries aérobies dont Légionelle ») était injecté manuellement dans le bassin d'eau froide à raison de 100 mg/l, en même temps que l'halogène en continu. Le biodispersant et l'antimousse étaient injectés 1 heure avant.

Le biocide SPECTRUS NX1103 à spectre d'action large était injecté tous les quinze jours en été et toutes les trois semaines en hiver ou dès que la valeur d'ATP²⁸ mesurée chaque semaine par le responsable du traitement de l'eau (cf. II-5.2) était considérée haute (supérieure à 100 RLU²⁹).

Du 06 février au 14 avril 2003, aucune mesure d'ATP n'a été réalisée l'appareil de mesure étant en panne. Les injections de SPECTRUS NX1103 étaient alors réalisées de façon préventive à la demande du traiteur d'eau après chacune de ses interventions hebdomadaires.

4.3 Commentaires

4.3.1 Traitement préventif

Les conditions de mise en oeuvre du traitement préventif affectaient son efficacité.

Les surfaces en contact avec l'eau n'étaient pas nettoyées

Des analyses spécifiques (plus complètes que les analyses hebdomadaires habituelles) réalisées le 9 avril 2003, sur les échantillons « eau tempérée ROE3423, Circuit eau tempérée refoulement P3495 » font état de dépôts biologiques dans l'installation. Les résultats d'analyse signalent que *«le dépôt contient du matériel inerte et de nombreux micro-organismes tels que des bactéries planctoniques³⁰»*,

²⁶ L'indicateur employé est le diéthyl-paraphénylène diamine (DPD) ou diéthylaniline

²⁷ le SPECTRUS OX1203 est conditionné sous forme de palets solides qui sont placés dans un brominateur. Ce système en dérivation sur le circuit est traversé par un débit d'eau qui dissout les palets et dont le contrôle permet d'ajuster la quantité d'oxydant injectée dans le circuit.

²⁸ Adénosine Tri Phosphate : molécule présente dans tous les organismes vivants.

²⁹ Relative Unit Light

³⁰ Bactéries à l'état « libre » dans l'eau par opposition aux organismes « sessiles » qui sont fixés dans le biofilm.

du biofilm avec un grand nombre de flagellés, d'algues vertes, de protozoaires ciliés, de bactéries filamenteuses... ». Des boues inorganiques étaient notamment présentes.

En outre, les commentaires apposés par le laboratoire au bas de nombreux rapports d'analyses bactériologiques (Légionelles, germes totaux) indiquaient très fréquemment que l'eau était « chargée » en matières en suspension.

La concentration en oxydant résiduel n'était pas homogène dans l'ensemble de l'installation.

Le brome injecté en continu était consommé par les dépôts biologiques et le brominateur (60 litres) était sous dimensionné pour l'installation (la concentration de biocide injectée est limitée par la vitesse de dissolution des palets dans le brominateur).

4.3.2 Traitement curatif

Les conditions de mise en oeuvre du traitement curatif affectaient son efficacité.

L'efficacité des biocides était affectée par :

Les conditions de mise en oeuvre du biodispersant qui induisent une augmentation importante des MES au moment du traitement biocide.

Dès l'injection de biodispersant la teneur en matières en suspension (MES) et la flore bactérienne³¹ et donc la teneur en matière organique (MO) augmentent par dispersion des dépôts qui sont amassés dans les points bas et par érosion de la surface du biofilm.

Le biocide est « consommé » par les MO et les bactéries peuvent être protégées par les MES.

Après quelques heures, les matières en suspension se déposent à nouveau dans les points bas du circuit et seront remises en suspension au traitement de choc suivant. La purge de déconcentration sur le circuit ne suffit pas à éliminer ces dépôts.

- La purge est située au niveau de la bache d'eau chaude lieu d'arrivée de l'eau d'appoint où l'eau n'est probablement pas la plus chargée en MES.
- Il n'y a pas de filtration dérivée sur le circuit. Environ 10% du volume d'eau en circulation pourraient ainsi être traités. Les filtres sont généralement à rétrolavage automatique.
- Il n'y avait pas de purges sur tous les points bas du circuit ou au niveau des échangeurs pour permettre l'élimination des matières en suspension.

L'absence de nettoyage efficace. Le biodispersant injecté en choc remet en suspension les dépôts. Le circuit ne permet pas d'éliminer ces MES de manière efficace, qui se re-déposent lorsque la concentration en biodispersant diminue.

L'antimousse affectait l'efficacité du biodispersant qui ne pouvait avoir son rôle tensio-actif perméabilisant et érodant les biofilms. La formation de mousses traduit une sur-concentration de produit ou la présence de MO dans le circuit ou encore la présence de biofilm.

L'interaction du biocide non oxydant avec le biocide oxydant résiduel dans le circuit (II- 4.1).

Le DBNPA, composant actif du SPECTRUS NX1102, et le MBT, un des composants du SPECTRUS NX1103, ne sont pas compatibles avec le biocide oxydant (*Merchat, Betzdearborn*). La désinfection est alors quasi nulle.

Ces conditions de mises en oeuvre défavorables étaient toutefois compensées par :

- Les mauvaises conditions de mise en oeuvre du traitement oxydant en continu. La concentration en oxydant résiduel était faible voire nulle quelquefois et l'injection via le brominateur était continue sans asservissement (à la mesure d'oxydant résiduel par exemple). Dans ces conditions, une fois la concentration en oxydant résiduel « consommée », si la quantité de biocide non oxydant restante était encore suffisante, l'action biocide pouvait avoir lieu.
- La stabilité des composants actifs des biocides non oxydants est dépendante du pH et de la température de l'eau. Par exemple, la demi-vie du DBNPA à 25°C est environ de 24 h à pH 7, 9 h à pH 7,5, 2 h à pH 8, 15 min à pH 9 (*Dow chemical*).

³¹ La flore bactérienne est évaluée par mesure de la teneur en Adénosine TriPhosphate (ATP). L'ATP est une forme de stockage d'énergie des cellules vivantes.

Dans les conditions d'utilisation chez NOROXO, le SPECTRUS NX1102 avait une stabilité estimée à 2 heures (le pH du circuit oscillait entre 7,8 et 8). L'injection manuelle en une seule fois dans le bassin d'eau froide garantissait la présence de la concentration totale³² très rapidement.

La concentration injectée en DBNPA (produit commercial) était de 100 mg/l, soit 30 mg/l de composant actif. Quelques données de la littérature indiquent que le temps d'action du DBNPA est rapide mais fortement dépendant de la qualité de l'eau (Tableau 6).

TH	PH	T°	Résidus sec	Cond. ³	Conc. ⁴ active	Temps Contact	Ct ⁵ en mg.min.l-1 pour un abattement en Légionelle de			
°F		°C	mg/l	µs/cm	mg/l	heures	68% (0,5 log)	90 % (1log)	99 % (2 log)	99,9 % (3 log)
L <30	7,7	30	<40	<60	10	2				1200
P 280	8,3	25/30	480-680	580	8	48			1920	
P 280	7,9-8,4	25/30	1400-2100	580	19	24	27360	136800		

Tableau 6 : Efficacité du DBNPA en fonction de la Concentration et du Temps de contact

D'après (Thomas W, 1999)

¹ DBNPA : Dibromonitropropionamide,

² AQP : Amonium Quaternaire Polymérique,

L : étude réalisée en Laboratoire,

P : étude réalisée sur un Pilote,

³ Cond. : Conductivité,

⁴ Conc. active: concentration en matière active de biocide

⁵ Concentration x temps de contact

Compte tenu de la faible concentration en oxydant résiduel dans le circuit, le traitement biocide SPECTRUS NX1102 permettait un abattement ponctuel de la concentration en Légionelles présentes dans l'eau circulante comme le montraient les résultats des analyses.

Néanmoins, le biofilm était toujours présent dans l'installation et permettait la recontamination de l'eau.

La concentration en SPECTRUS NX1102 injectée est très élevée. Le coupon témoin de la vitesse de corrosion du cuivre est indispensable car le DBNPA est corrosif pour cette métallurgie.

Après re-démarrage de l'installation, la concentration injectée pendant les 3 premiers mois pourrait être diminuée ensuite à 100 mg/l. Il est possible de contrôler la concentration en DBNPA (molécule active du NX1102) par une méthode directe ou indirecte (étude de la toxicité, mesure du chlore total et du résiduel). A plus long terme, il semble indispensable d'identifier un nouveau biocide non oxydant au spectre d'action ciblé légionelles, efficace aux conditions physico-chimiques de Noroxo et dont l'impact sur l'environnement peut être contrôlé. En effet, l'alternance de biocides est préconisée pour obtenir un meilleur abattement de la concentration en légionelles dans l'eau en circulation en réduisant le risque de sélection de souche « résistante ».

NOROXO a conservé le biocide non oxydant à large spectre d'action SPECTRUS NX1103 pour « ...ses propriétés bactéricides et son potentiel de pénétration dans la biomasse ».

Or, la stratégie de traitement basée sur le maintien d'une concentration résiduelle en biodispersant dans l'eau du circuit permet justement de nettoyer en continu les surfaces en contact avec l'eau du circuit et permet d'éviter le dépôt de biomasse (biofilm).

En outre, l'utilisation du biocide (NX1103) apparaît redondante avec l'utilisation en injection continu du biocide oxydant OX1203, dont le spectre d'action est aussi large (*Betzdearborn*).

Une variation brutale de la teneur en flore bactérienne dans l'eau du circuit, en présence d'un biocide oxydant injecté en continu, traduit une défaillance des traitements mis en oeuvre. Plutôt qu'un traitement biocide non oxydant en choc, une réflexion sur les conditions de mises en oeuvre devait être engagée.

³² Par opposition une pompe avec un temps d'injection souvent trop lent qui ne permet pas d'avoir la concentration totale dans le circuit avant que la molécule ne commence à se dégrader

5 CONTROLE DE L'EFFICACITE DES TRAITEMENTS MIS EN ŒUVRE

Les prélèvements pour analyses physico-chimiques et biologiques étaient réalisés en un seul point

5.1 Analyses de Légionelles

La fréquence des analyses et les actions associées aux résultats obtenus étaient définies et déclenchées par la Société responsable du traitement de l'eau.

La recherche des légionelles était réalisée tous les trois mois au lieu d'une fois par an (fréquence minimale définie par l'arrêté préfectoral).

Les prélèvements ont été réalisés systématiquement dans le bassin d'eau chaude qui ne collecte pas tous les retours d'eau du circuit de refroidissement.

Le Tableau 7 reprend l'ensemble des actions prévues par NOROXO en accord avec le responsable de traitement de l'eau en fonction du résultat d'analyse Légionelle.

Légionelles UFC/l	ACTIONS	COMMENTAIRES
<1000	Trimestrielle	
Entre 1000 et 10 000	Mensuelle pendant 6 mois	Pas de procédure technique précise définissant les conditions de mise en œuvre d'un traitement.
AU TERME DES 6 MOIS		
Si <1000	Trimestrielle	
Si >1000	Traitement curatif en choc immédiat + analyse	Pas de procédure. Pas de recherche de la source potentielle de prolifération. Reprise analyse mensuelle.
> 10 000	Traitement curatif en choc immédiat + analyse	Aucune différence avec la concentration précédente.
> 100 000	Traitement curatif en choc immédiat + analyse + évacuation de la zone du panache	Préconisation non réglementaire.

Tableau 7 : Identification des actions mises en œuvre en fonction des concentrations en légionelles (avant décembre 2003).

5.2 Mesures d'ATP

La flore totale³³ était évaluée par mesure de la quantité d'Adénosine Triphosphate (ATP). L'ATP est une forme d'énergie métabolique présente dans toutes les cellules vivantes. La quantité d'ATP donne une information sur l'activité microbienne générale dans l'échantillon considéré, mais n'est pas proportionnelle au nombre de bactéries dans une eau provenant d'un échantillon environnemental. Dans un bulletin technique, la société de traitement d'eau explique justement que les résultats d'ATP ne sont pas toujours corrélés aux concentrations en flore totales évaluées selon une méthode de culture.

Bien que de nombreux auteurs aient mis en évidence l'effet bénéfique de la microflore sur la croissance des Légionelles, aucune corrélation n'a pu être établie entre l'abondance de cette flore et la concentration en Légionelles, lors de la contamination d'installations.

L'ATP était mesurée sur site lors des analyses hebdomadaires réalisées par le traiteur d'eau. Des injections de biocides non oxydants SPECTRUS NX1103 étaient effectuées dès que la valeur de l'ATP était supérieure à 100 RLU³⁴.

Du 06 février au 14 avril 2003, aucune mesure d'ATP n'a été réalisée, l'appareil de mesure étant en panne

5.3 Commentaires

D'une manière générale, les actions et les objectifs ne sont pas clairement définis, mais l'historique des résultats permet de faire quelques observations.

5.3.1 Concernant l'analyse des Légionelles

- entre mars et août 2002: aucune analyse de légionelle n'apparaît dans le carnet de suivi.
- pour plus du quart des analyses légionelles, le laboratoire mentionnait une « flore annexe importante », des « matières en suspensions en quantité importante » ou « beaucoup de particules ».
- les prélèvements étaient réalisés dans la bache eau chaude. Cette bache ne collecte qu'une partie de l'eau provenant du process. En outre, c'est à ce niveau qu'arrive l'eau d'appoint. Il semble peu probable malgré le débit de recirculation d'eau, que cette bache soit un lieu représentatif de l'eau en circulation dans le circuit.

5.3.2 Concernant le suivi de la flore totale

L'historique des résultats montre qu'il n'y a aucune corrélation entre la lecture d'ATP mesurée sur les prélèvements d'eau du circuit de refroidissement de NOROXO et les concentrations en germes totaux à 22 et à 36 °C obtenues par analyse laboratoire³⁵ (Figure 4 et Tableau 8).

Le résultat de la mesure d'ATP déterminée dans un échantillon dépend fortement de la méthode utilisée pour réaliser l'analyse. La société de traitement de l'eau propose un appareil de contrôle le BIOSCAN ® permettant une mesure instantanée sur site. Le prélèvement de l'eau du circuit de refroidissement est effectué à l'aide d'un « stylo préleveur » contenant tous les réactifs nécessaires pour un usage unique. Ce stylo est plongé dans l'eau pour prélever par capillarité 60µl. Ce type d'appareil n'est pas forcément adapté aux eaux « chargées » des circuits de refroidissement.

³³ Les termes « flore totale » ou « germes totaux » ou « bactéries totales » désignent en réalité une fraction de bactéries (dont ne fait pas partie la Légionelle) . Ce sont des bactéries aérobies (besoin d'oxygène), mésophiles (préfèrent les températures tièdes ~22 à 36°C).

³⁴ Relative Light Unit

³⁵ méthode XP T 90-401-jan-96 pour les germes à 36°C et XP T 90-402-jan-96 pour les germes à 22°C .

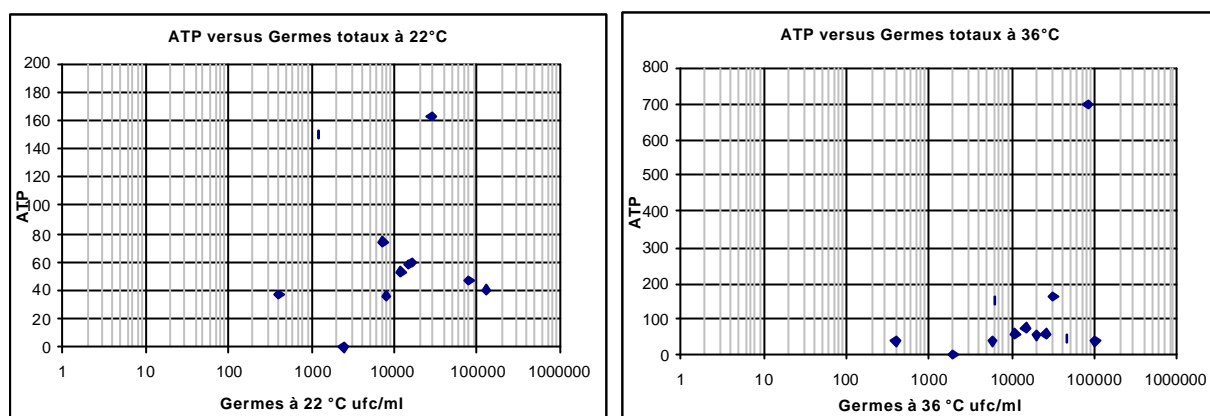


Figure 4 : Corrélation entre l'ATP et la concentration en germes totaux à 22 et 36°C

Date	G22 ufc/ml	G36 ufc/ml	<i>Legionella</i> sp ufc/l	<i>L.pneumophila</i> ufc/l	ATP RLU	Commentaires traiteur d'eau	Commentaires laboratoire (IRH)
20/09/00	240	60	75000	75000			Aucun
16/11/00	360	640	<50				Aucun
22/02/01	128000	104000	4500	4500	40	microbiologie OK	Aucun
28/03/01	8000	5800	<50	<50	36	microbiologie OK	Aucun
13/06/01	80000	47000	<50	<50	47	microbiologie OK	flore annexe importante 300 ml filtrés
21/06/01	16000	11000	15000	15000	60	microbiologie OK	Aucun

Tableau 8 : Commentaires du traiteur d'eau sur la base des mesures ATP et comparaison avec les résultats et commentaires du laboratoire d'analyse.

6 LE CARNET DE SUIVI

La traçabilité des opérations mises en oeuvre est prévue depuis 2000 dans un carnet de suivi. Dans ce document disponible sur site, il est attendu d'y trouver comme prévu dans le sommaire :

- les Sociétés intervenantes avec identification des correspondants
- les plans de l'installation (PID)
- le programme de traitement
- le suivi hebdomadaire des paramètres chimiques (rapports de contrôles hebdomadaires et les correspondances avec la Société responsable du traitement de l'eau).
- le suivi hebdomadaire des paramètres biologiques (rapports du laboratoire).
- l'identification des interventions réalisées sur le circuit de refroidissement
- les documents officiels concernant la législation,
- les manuels opératoires

Ce carnet de suivi appelé « manuel » est proposé par la Société responsable du traitement de l'eau. Il est indiqué en préambule que *« ce manuel a été conçu pour aider l'exploitant dans sa tâche administrative de surveillance des utilités et en particulier des circuits de refroidissement ; ces derniers devant faire l'objet d'une attention particulière en ce qui concerne la legionella. Son entretien et sa mise à jour régulière rendent garant, face à la législation, de votre volonté d'appliquer les règles émises »*.

De fait, la notion de **risque sanitaire n'est pas abordée**.

Dans le carnet de suivi :

- la schématisation du circuit avec localisation des lieux d'injection est extrêmement simplifiée.
- les produits utilisés, les dosages, les lieux et mode d'injection sont identifiés, toutefois aucune information sur les caractéristiques des pompes doseuses n'est donnée.
- les quelques règles d'application du traitement définies sont claires en ce qui concerne la mise en oeuvre des inhibiteurs de corrosion et de tartre, mais insuffisantes en ce qui concerne les conditions de mise en oeuvre et le mode d'action des biodispersants et des biocides.
- le journal des traitements de chocs et la liste des dérives ne sont pas à jour.
- la procédure « Légionelles » définie par la société de traitement d'eau n'identifie pas le délai à respecter entre un traitement de choc et une analyse. De plus **il préconise une simple action de traitement curatif pour des concentrations en légionelles supérieures à 10⁵ ufc/l, sans arrêt de l'installation.**
- les rapports d'analyses donnant les concentrations en légionelles sont empilés dans le classeur sans qu'aucun commentaire ne soit fait par le traiteur d'eau dans son rapport hebdomadaire (ni à propos du prélèvement ni à propos du résultat obtenu et des mesures curatives éventuelles).

III GESTION DU RISQUE : MODIFICATIONS APPORTEES DANS LA PERSPECTIVE DU REDEMARRAGE DE MARS 2004

1 RISQUES DE CONTAMINATION DE L'INSTALLATION PAR DES LEGIONELLES

1.1 Alimentation en eau d'appoint

Il est difficile d'améliorer la qualité de l'eau d'appoint alimentant le circuit de NOROXO. L'eau d'appoint est traitée en amont par une société de distribution d'eau qui se doit de fournir une eau de qualité constante.

Dans la gestion du risque biologique sur le circuit de refroidissement, l'attention devrait être portée sur les variations brutales de qualité d'eau, notamment celles qui sont susceptibles d'intervenir pendant les périodes de fortes pluies ou de sécheresse. Des analyses de légionelles mensuelles sont prévues par l'exploitant.

1.2 Environnement des tours

La production d'aérosols à partir de la lagune, dans l'environnement des tours NOROXO augmente le risque d'introduction de Légionelles dans le circuit de refroidissement.

Le 20 janvier 2004, les aérateurs de surface ont été arrêtés à la demande de la DRIRE.

La couverture de la lagune a été envisagée mais d'importants risques de sécurité (prise au vent) restent difficiles à gérer.

Une analyse de risque sur les installations de traitement des effluents a été proposée par NOROXO et validée par le rapport d'un tiers expert.

Le découpage des réseaux d'effluents liquides (eaux de process, eaux traitées,...) est réalisé et différentes « zones » sont physiquement identifiées sur le site :

- une zone dite « Biologique », où l'activité biologique est souhaitée du fait même des installations utilisées (station d'épuration biologique, lagune, décantation, réseau des eaux usées, ...). Des procédures permettant de décontaminer les matériels et véhicules sortant de la zone « biologique » sont clairement définies.
- une zone dite « Tampon », où il est possible de retrouver une activité biologique dans le cadre d'un fonctionnement normal des installations (eaux souillées par des hydrocarbures, ...), mais où les eaux ne sont pas en contact direct avec des bactéries (en particulier les légionelles).
- une zone dite « process », où la contamination biologique doit être absolument évitée (circuit et tours aéroréfrigérantes, ...)

Plus concrètement, d'autres mesures ont été prises :

- le réensemencement en bactéries provient d'une autre source
- arrêt définitif des aérateurs de surface
- nettoyage des équipements sans utilisation de jets hautes pression
- maîtrise des aérosols lors des opérations de pompage
- identification du matériel dédié à la zone biologique
- disconnexions hydrauliques

En outre, des Légionelles ayant été détectées dans le bassin de Harnes avant rejet dans le canal (Annexe 6) et afin d'éviter tout risque sanitaire pour les usagers situés en aval du point de rejet, une chloration est prévue en aval du décanteur, conformément à l'arrêté ministériel du 02 février 1998 qui autorise des rejets en halogènes jusqu'à 1 mg/l.

2 MODIFICATION DE LA CONCEPTION DE L'INSTALLATION

2.1 *Elimination des bras morts et des zones de faible circulation*

Des bras morts ont été identifiés selon des critères pertinents définis suivant le standard de l'industrie (vitesse³⁶ <0,5m/s) et le retour d'expérience du groupe ExxonMobil (volume >350 litres).

Plusieurs mètres de canalisations DN 50 à 400 et environ 108 mètres de DN 200 à 400 ont été supprimés ; près de 117 mètres de DN 25 à 250 ont été isolés pour éviter la stagnation d'eau.

NOROXO a listé et quantifié les volumes concernés:

- Isolement oxo5-HP1&2-HF2 (arrêt longue durée): 13m³ et modification de l'alimentation de la zone compression H2 et E2592 (système de conditionnement U3, vitesse de l'eau dans le collecteur multipliée par 15 soit 1,3m/s).
- Isolement secteur Ethylhexanol : 3m³.
- Isolement retours enterrés secteur Ethylhexanol: 6m³.
- Isolement retours enterrés DO1/2 (unités démantelées): 1m³.
- Isolement oxydeurs basse pression R2734/5: faible vitesse.
- Divers isollements sur oxo3 et oxo4 & suppression de nourrices de distribution.

Des drains ont été installés sur certains bras morts.

Après différentes modifications, NOROXO estime que les vitesses de circulation d'eau sont toutes contrôlées et d'au minimum 1 m/s, sur l'ensemble de l'installation.

2.2 *Facilité pour le nettoyage mécanique des échangeurs*

Des piquages ont été mis en place en entrée et sortie de certains équipements pour permettre des nettoyages préventifs en boucle (au début à chaque changement de grade ensuite selon le degré de salissure) et éviter l'accumulation éventuelle de dépôt bactérien sur les échangeurs avec historique d'encrassement important:

- Création de piquages entrée / sortie sur appareils: E2422 (réfrigérant haute pression oxo4) et R2731/2/3 (oxydeurs haute pression).
- Installation de facilités pour effectuer des chasses à débit maxi sur chaque échangeur de la boucle d'eau tempérée DO4 (4 échangeurs en parallèle).

3 PROTECTION CONTRE LA CORROSION ET L'ENTARTAGE

Sur la lyre de corrosion, un coupon de contrôle de la vitesse de corrosion du cuivre sera ajouté au coupon acier.

4 PROTECTION CONTRE LES DEVELOPPEMENTS BIOLOGIQUES : TRAITEMENT PREVENTIF ET TRAITEMENT CURATIF

4.1 *Conditions de mise en oeuvre du traitement préventif en continu*

Les nombreuses modifications apportées aux conditions de mise en oeuvre du biocide oxydant SPECTRUS OX1103, en garantissent l'efficacité.

- L'injection du brome sera réalisée via une rampe de pulvérisation à l'extrémité des bâches eau froide. Les échantillons d'eau pour analyses sont prélevés en amont de l'injection des produits chimiques.
- Le volume du brominateur a été augmenté à 160 litres soit presque trois fois son volume initial pour garantir la teneur déterminée en oxydant résiduel dans l'ensemble du circuit, jusqu'à 5 mg/l lors des périodes d'hyper halogénéation.

³⁶ Pour des vitesses inférieures à 0,5 m/s, le flux d'eau est laminaire, favorable aux dépôts de biofilm.

- La concentration en oxydant résiduel sera maintenue entre 0,3 et 0,7 mg/l avec un minimum de 0,3 mg/l sur tous les collecteurs retour au lieu de 0,1 à 0,2 mg/l.
- Le contrôle du résiduel se fera via un analyseur en continu. De plus pendant les 3 premiers mois, une analyse manuelle sera réalisée tous les jours par chaque quart puis une fois par jour ensuite.
- Le contrôle multipoints proposé par NOROXO permet d'obtenir des analyses représentatives de l'ensemble du circuit.

Des injections de bisulfites sont prévues pour neutraliser l'halogène en excès avant rejet dans l'environnement.

Un élément d'optimisation consistera en l'asservissement de l'injection du biocide oxydant à la mesure de résiduel dans l'eau. Cette modification a été discutée et NOROXO propose de ne la mettre en œuvre qu'après quelques mois de fonctionnement.

4.2 Condition de mise en oeuvre du biodispersant

Le biodispersant BD1506 est injecté en continu (2 à 10 mg/l) sans antimousse. De cette façon, le nettoyage en continu permettra d'éviter la formation de biofilm et des dépôts inertes sur l'ensemble du circuit où l'eau circule.

Les MES seront éliminées via la purge de déconcentration et via les purges identifiées sur tous les points bas de l'installation.

NOROXO indique dans le document « Part1 NOROXO rev 3.3 » que l'utilisation de biodispersant en continu est une « approche prudente ». Il s'agit en fait d'une approche **indispensable** pour un circuit aussi complexe (recommandé par certains guides techniques (Betzdearborn). La concentration en biodispersant injectée doit être contrôlée pour éviter la formation de mousses. Il est important de rappeler que la formation de mousse traduit soit un excès de produit soit une contamination biologique.

Une attention particulière est à apporter à l'analyseur de brome (mesure colorimétrique) qui peut être en erreur de lecture en présence de mousses par manque d'eau dans la cellule de mesure.

4.3 Conditions de mise en oeuvre des biocides non oxydants

4.3.1 Biocides non oxydants NX1102 à spectre d'action ciblé « Légionelles »

La Société NOROXO a recherché un biocide non oxydant efficace sur les Légionelles, respectueux des installations et de l'environnement et compatible avec l'utilisation d'un biocide oxydant. Leur société de traitement d'eau a proposé quelques biocides, mais le critère « environnement » a conduit NOROXO à conserver le biocide non oxydant SPECTRUS NX1102 qui est décrit dans la littérature comme efficace à de faibles concentrations d'utilisation.

Afin de limiter l'interaction avec le biocide oxydant résiduel (OX1203, concentration entre 0,5 et 0,7 mg/l) lors de l'injection du biocide non oxydant, des conditions de mises en oeuvre ont été définies.

Pour des raisons de sécurité, NOROXO ne souhaitait pas mettre en place une procédure spécifiant l'arrêt du brominateur avant l'injection du biocide non oxydant, comme le suggérait la mission d'appui.

Juste avant l'injection de biocide non oxydant SPECTRUS NX1102, le débit d'injection du brominateur sera réduit au minimum le le pH de l'eau du circuit sera contrôlé entre 7,6 et 8,2.

L'injection du SPECTRUS NX1102 reste manuelle (en une seule fois) dans le bassin d'eau froide.

La concentration en biocide sera de 200 mg/l lors de chaque injection, soit deux fois la concentration habituellement préconisée. Cette précaution est prise afin de garantir après interaction avec le biocide oxydant résiduel, une concentration résiduelle en SPECTRUS NX1102 suffisante pour être efficace vis à vis des légionelles dans l'eau, après avoir consommé le biocide oxydant résiduel.

Les injections seront réalisées suivant une fréquence hebdomadaire le premier mois, mensuelle les deux mois suivants ou si le seuil des 5 000 UFC/l de légionelles est dépassé ou si un dépassement des 1 000 UFC/l est persistant malgré une hyper-halogénération. Dans ces derniers cas les fréquences d'injection hebdomadaires seront reprises.

NOROXO souhaite limiter le nombre d'injection en biocide non oxydant qui fait augmenter la valeur de la DCO³⁷ dans le circuit alors que ce paramètre est utilisé comme indicateur d'une fuite au niveau d'un échangeur.

4.3.2 Biocide non oxydant NX1103 à spectre d'action large

NOROXO a souhaité conserver ce biocide SPECTRUS NX1103 sur site en indiquant que l'utilisation sera « minimisée » puisqu'en réponse à une augmentation de la flore bactérienne totale, un choc halogéné (résiduel 5 mg/l en 5 heures) sera réalisé.

5 CONTROLE DE L'EFFICACITE DES TRAITEMENTS MIS EN ŒUVRE

5.1 Analyses de Légionelles

L'objectif de NOROXO est de maintenir une concentration en Légionelles inférieure à 1000 ufc/l.

La fréquence d'analyse est augmentée : tous les quinze jours au cours des 3 premiers mois puis mensuelle par la suite.

Les prélèvements pour analyses seront réalisés au refoulement des pompes de recirculation de l'eau et sur les branches retour d'eau chaude. Ainsi, toute l'eau du circuit sera analysée.

Le plan d'action en cas de détection de légionelles est clairement défini.

Les actions sont mises en oeuvre dès connaissance des résultats provisoires (J+3 ou J+5).

Légionelles UFC/l	ACTIONS
ACTION 1 : >500	Hyperhalogénéation pendant 5 heures Evaluation ATP Nouvelle halogénéation ou traitement choc au biocide non oxydant
ACTION 2 : >1000	Hyper-halogénéation, 5 mg/l en 5 heures
ACTION 3 : >5000 ou >1000 persistant (analyse 48 heures après hyper-halogénéation)	Traitement choc immédiat avec biocide non oxydant (SPECTRUS NX1102) Suivi accru de l'oxydant résiduel et de l'ATP jusqu'à l'obtention d'un niveau légionelles < 500 UFC/l. Cartographie de l'échantillonnage multipoints pour le résiduel oxydant, l'ATP et la Légionelle.
ACTION 4 : >100000	Arrêt de l'installation et mise en oeuvre des procédures de nettoyages.

L'hyper-halogénéation en réponse à une concentration en Légionelles de l'ordre de 1000 UFC/L ne garantit pas un bon abattement de la concentration, c'est pourquoi une analyse sera réalisée 48h après le choc oxydant. Si une teneur de 1000 UFC/l persiste, le traitement « spécifique » Légionelles sera utilisé.

Pour des raisons de sécurité détaillées par les experts d'Exxon Mobil, le biocide spécifique n'est mis en oeuvre que lorsque la concentration en Légionelles atteint 5000 UFC/L.

En réponse à une concentration égale à 1000 UFC/l NOROXO met en oeuvre une hyper-halogénéation.

Le groupe d'appui avait indiqué qu'il était préférable que le traitement spécifique curatif soit mis en oeuvre dès la détection de 1000 UFC /l. NOROXO a insisté sur le fait qu'une telle mesure était dangereuse pour son installation qui serait alors exposée à un risque fort de corrosion puisque pour optimiser l'efficacité du biocide « spécifique » Légionelles, des ajustements en pH et en oxydants étaient réalisés. Ces changements seraient néfastes à la couche de passivation déposée sur les parois internes du circuit (en particulier de l'inox).

Outre le fait que la différence entre 1000 et 5000 UFC/l en microbiologie n'est pas significative, il est intéressant de noter que :

³⁷ Demande Chimique en Oxygène

- l'hyper-halogénéation (5 mg/l) induit des variations importantes en oxydant résiduel (la plage de fonctionnement normal oscille entre 0,3 et 0,7 mg/l). Avant décembre 2003, les concentrations en oxydant résiduel oscillaient entre 0 et 0,3 mg/l).
- la fenêtre opératoire du pH se situe entre 7,8 et 8, les limites extrêmes (donc à éviter) étant fixées à 7,6 et 8,2. Lors de la mise en oeuvre du traitement curatif en choc, la variation de pH n'est pas évidente (mais pas forcément indispensable).

Le prélèvement pour analyse de Légionelle doit être réalisé 48 heures après le choc biocide ou au minimum lorsque la teneur en oxydant résiduel est à nouveau dans la fenêtre opératoire s'il s'agissait seulement d'une hyper-halogénéation.

Outre le contrôle du résiduel en oxydant, une attention particulière sera apportée à l'injection du biodispersant.

5.2 Mesures d'ATP

Le contrôle du paramètre ATP est conservé selon la méthode d'analyse proposée par la société de traitement d'eau déjà avant décembre 2003, et ce malgré le peu de fiabilité de cette mesure (cf. II-5.3.2).

Outre une série de paramètres physico-chimiques, d'autres indicateurs biologiques seront suivis. Certains sont mesurés sur le terrain, le résultat est alors obtenu dans la journée (mesure de l'oxydant résiduel, contrôle de l'injection du biodispersant, flore totale appelée TVC³⁸) ; d'autres sont mesurés en laboratoire et les résultats sont obtenus après quelques jours (Légionelles, Flore totale).

Les fréquences d'analyses et les actions types, à mettre en oeuvre dès qu'un paramètre dérive, sont clairement définies dans une procédure.

L'analyse de germes totaux par des méthodes de terrain (en 48h) pourrait être rajoutée. Le protocole d'analyse ayant une influence sur le résultat obtenu, il est nécessaire de corréliser les dénombrements obtenus en laboratoire et sur site.

6 LE CARNET DE SUIVI

Le contenu du livret d'entretien est détaillé dans la section 11.09 de l'arrêté préfectoral. Le carnet de suivi devra être notablement mieux renseigné en tenant compte des manques identifiés (cf. II-6).

Des investigations sur site sont à faire pour tenter d'identifier ce qui est à l'origine des dérives de paramètres indicateurs. De même les commentaires apposés au bas des bulletins d'analyses méritent attention et interprétation.

³⁸ Total Viable Count

IV NETTOYAGE ET DESINFECTION PENDANT LA PERIODE D'ARRET DU 3 AU 22 DECEMBRE 2003

1 PERIODE D'ARRET DU 29 NOVEMBRE AU 3 DECEMBRE 2003 : MISE A L'ARRET

Avant et pendant la période d'arrêt de décembre 2003, plusieurs traitements biocides non oxydants « spécifiques » Légionelles ont été réalisés.

- Les 21 et 29 novembre 2003: procédure choc « anti-légionelles »
- Les 30 novembre et 1^{er} décembre 2003 : biodispersant + antimousse
- Le 2 décembre 2003 : procédure choc « anti-Légionelles »

Les conditions de mises en oeuvre du traitement biocide SPECTRUS NX1102 («spécifique » Légionelle) prévoient l'injection du biodispersant 1 heure avant le biocide avec un antimousse (cf.II-4.2).

La ventilation forcée a été arrêtée le 02 décembre à 24H00. L'installation a ensuite été vidangée (les eaux ont été collectées et stockées dans un bac spécifique identifié TK108).

2 PERIODE DU 3 AU 8 DECEMBRE 2003 : ELABORATION DU PLAN DE NETTOYAGE

Le plan de nettoyage élaboré entre le 3 et le 8 décembre 2003, a été présenté à la DRIRE le 8 décembre. Le suivi dans les phases d'arrêt et de redémarrage, ont été réalisés avec l'expertise et la compétence de la société de traitement d'eau comme le précise le courrier adressé à la DRIRE le 29 décembre 2003 : *« Aussi bien dans l'élaboration et le suivi de ce plan d'action que dans les phases d'arrêt et de redémarrage de nos installations, nous avons utilisé l'expertise de la société de traitement d'eau qui a mis à notre disposition ses meilleures compétences techniques pour les activités suivantes : l'assistance aux phases précédant l'arrêt des installations (définition et suivi des protocoles de traitement du circuit de réfrigération), l'élaboration du plan de nettoyage (critères de sélection pour les nettoyages d'échangeurs et pour l'amélioration continue du circuit ; méthodologie de nettoyage des équipements), le suivi du plan d'action du nettoyage (inspections visuelles ...), l'assistance à la phase de redémarrage des installations (définitions et suivi des protocoles de traitement du circuit de réfrigération), le contrôle des paramètres clé d'eau de refroidissement depuis le redémarrage des installations ».*

3 PERIODE DU 8 AU 20 DECEMBRE 2003 : OPERATIONS DE NETTOYAGE

Durant la période du 8 au 20 décembre 2003, les travaux de nettoyage des systèmes de réfrigération ont été mis en oeuvre. Dix procédures définissent succinctement les actions réalisées.

3.1 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 9).

3.2 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).

Le plan de prévention prévoit la réalisation des opérations au jet haute pression en horaire décalés par rapport aux entreprises. Le surveillant porte un masque complet à cartouche P3SL et l'intervenant un demi masque P3SL.

Les systèmes ayant une température de peau³⁹ 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 (selon le document de synthèse « revue de la préparation en cours » fourni par Noroxo).

Les opérations au jet haute pression ont été réalisées de jour et/ou 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, au niveau du sol ou à 10 et 15 mètres du sol (Tableau 9 et Figure 5).

Date	Horaires	Elément	Type appareil	Hauteur	Pression	Durée des nettoyages	Risque d'envol d'aérosols
8-9/12	22h à 5h59	E2422	Tubulaire à calandre	Sol	Furet 500	4	++
10/12	8h à 16h59	Tours (pompage boues)		Sol	-	?	-
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	+
13/12	14h à 21h59	Tour	Séparateurs de gouttelettes Collecteurs	Sol sur palette de bois	Furet 500* 80 et 120 **	4	++
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	-
17/12	14h à 21h59	Tours	Bassins Passerelle et bardage	~ 5 m	Pistolet 500 Lance <25	6 1	++ +

Tableau 9 : Génération d'aérosols pendant les opérations de nettoyage des tours et des condenseurs lors de l'arrêt des installations.

* pression donnée dans les documents remis en réunion le 5 janvier 2004.

** pression donnée par les documents envoyés à la DRIRE le 15 janvier 2004 (réf. 04016/DJM)

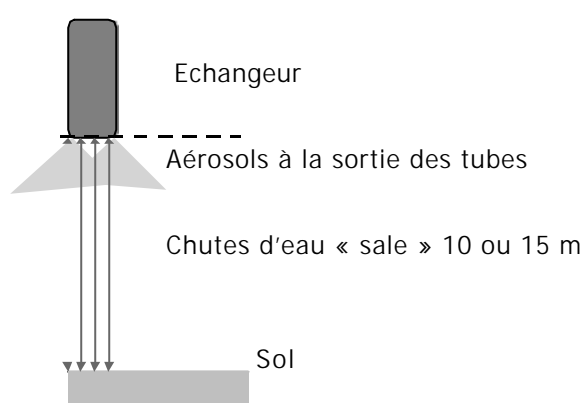


Figure 5 : Schématisation de la configuration des éléments pendant les opérations de nettoyage

³⁹ température de l'eau sur les surfaces de la surface d'échange (la plus chaude du circuit de refroidissement)

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 dû être traités par groupe.

L'azote a été utilisé dans le but de favoriser le décrochage des dépôts par effet mécanique des bulles. Ces opérations ont été effectuées entre le 12 (8h) et le 15 décembre (16h59).

Le reste des échangeurs a été nettoyé par circulation d'eau chlorée.

3.3 Nettoyage des circuits

Le nettoyage des circuits a consisté en une circulation d'eau chlorée (entre le 8 et le 20 décembre).

3.4 Préparation avant redémarrage

A la remise en eau du circuit (entre le 17 à 18h et le 18 décembre à 02h00), l'eau a circulé pendant plusieurs heures en circuit fermé (sans purge) en présence de javel, de biodispersant associé à de l'antimousse, toutes les pompes de recirculation étant en service pour garantir un bon débit (la ventilation forcée étant à l'arrêt).

La passivation du circuit a été réalisée entre le 18 à 02h00 et le 20 décembre avant une nouvelle injection de chlore en forte concentration.

Jusqu'au 22 décembre, l'eau circulait en boucle.

La ventilation forcée a été mise en service le 22 décembre à 10h30.

4 COMMENTAIRES

4.1 Efficacité des nettoyages

Il n'y a pas eu de nettoyage complet sur l'ensemble des surfaces en contact avec l'eau. En effet les conditions de mises en œuvre des traitements curatifs ne permettaient pas l'élimination des dépôts biologiques (l'eau chlorée ne permet pas un nettoyage des surfaces, sans utilisation préalable de biodispersant (associé à un produit antimousse plutôt antagoniste) en choc à fréquences trop faible (cf. II- 4.2.2).

Le biofilm présent dans l'installation (cf. II-5.3.1) a par contre été très fortement fragilisé.

Des analyses d'eau peuvent alors ne pas révéler la présence des Légionelles parce que les relargages à partir du biofilm sont en agrégats.

4.2 Envol d'aérosols contaminés

Les traitements chimiques successifs avant l'arrêt (21 et 29 novembre et le 2 décembre) ont consisté en une injection de biocide en choc, de biodispersant et d'antimousse. Ils ont permis de neutraliser les bactéries dans l'eau circulante, mais ont très probablement fragilisé 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 peuvent se révéler dangereux car 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).

Différentes opérations ont probablement généré des aérosols fortement contaminés. Durant la nuit du 8 au 9 décembre puis durant les journées des 11, 12, 13, 15 et 17 décembre (Tableau 9).

Les condenseurs tubulaires sont en position verticale à 10 ou 15 mètres du sol (Figure 5). 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.

Durant les réunions, les représentants de Noroxo ont insisté sur le fait que le furet avait été arrêté avant sa sortie du tube, pour éviter la projection d'aérosols (l'eau sous pression sort perpendiculairement du furet). Cette précaution paraît surprenante puisqu'elle signifie que quelques centimètres de tube n'ont pas été nettoyés, et que l'opérateur connaissait parfaitement la longueur du tube.

V PERIODE DU 22 AU 31 DECEMBRE 2003 APRES LE REDEMARRAGE DU SITE

1 ACTIONS MISES EN OEUVRE

L'analyse effectuée le jour du redémarrage n'a pas révélé la présence de légionelle.

Après remise en eau, le 18 décembre à 2 h, l'eau chlorée a circulé purge fermée, pendant 5 heures (l'ensemble des pompes a été mis en circulation). Trois injections de chlore ont été nécessaires pour maintenir le résiduel de 5 mg/l (10 mg/l puis 5 mg/l 3 heures après et 2 mg/ moins de 3h après).

Le biodispersant a été injecté associé à de l'antimousse (injecté en plusieurs fois).

La passivation du circuit a été réalisée le 19 décembre. Les produits anticorrosion utilisés habituellement sur le circuit ont été injectés à une concentration trois fois plus importante.

Le 20 décembre une nouvelle injection choc en chlore a été réalisée. Le résiduel d'oxydant était ensuite maintenu entre 0,3 à 0,7 mg/l avec un minimum de 0,3 mg/l sur tous les collecteurs retour au lieu de 0,1 à 0,2 mg/l). Le chlore était neutralisé au bisulfite avant rejet.

2 COMMENTAIRES

Les conditions de mise en oeuvre des traitements préventifs étaient identiques à celles d'avant décembre 2003.

Seule la fenêtre opératoire de l'oxydant résiduel a été augmentée et contrôlée régulièrement.

Le paramètre ATP, contrôlé en différents points sur le circuit, indiquait des valeurs interprétées comme a un bon contrôle de l'activité bactérienne dans le circuit.

La détection de légionelles le 30 décembre 2003 (malgré le choc biocide préventif du 27/12 et une concentration en oxydant résiduel supérieure à 1 mg/l) indique que la souche est encore présente dans l'installation associée au biofilm même après les opérations de nettoyage (Tableau 10).

Bien que les analyses réalisées ne détectaient alors pas la présence de Légionelles au moment du redémarrage, les forces hydrauliques ont pu entraîner des bactéries voire « arracher » des fragments de biofilm toujours présent dans l'installation. Ces micro-organismes « agglutinés » en « paquets » non homogènes, pouvaient soit être entraînés dans l'environnement, soit contaminer à nouveau l'installation en se déposant dans les points bas ou d'hydraulique faible.

L'augmentation de la teneur en oxydant résiduel affectait d'autant l'efficacité du traitement biocide non oxydant en choc (interaction entre biocides).

Sur un tel circuit (avec biofilm) l'action du biodispersant dans des conditions d'utilisation adaptées, n'est pas immédiate, mais progressive, les dépôts biologiques étant éliminés par érosion.

Date de prélèvement	Point de prélèvement	Résultat	Labo	Halogène résiduel mg/l	ATP RLU
22/12/03	Bassin eau chaude	< 100 UFC/l	LEA	-	-
29/12/03	Bassin eau chaude	< 100 UFC/l	IPL	-	-
29/12/03	Bassin eau chaude	< 100 UFC/l	LEA	-	-
29/12/03	Bassin eau froide	< 100 UFC/l	IPL	-	-
29/12/03	Bassin eau froide	< 100 UFC/l	LEA	-	-
30/12/03	Bassin eau froide	1 000 UFC/l	LEA	1,34	19
02/01/04	Bassin eau chaude	200 UFC/l	IPL	1,01	27
02/01/04	Bassin eau froide	50 UFC/l	IPL	-	-
02/01/04	Bâche OXO 3	< 50 UFC/l	IPL	0,47	14
02/01/04	Bâche OXO 4	< 50 UFC/l	IPL	1,02	10
02/01/04	Retour E 2592	< 50 UFC/l	IPL	1	4
02/01/04	Retour Unité Acides	< 50 UFC/l	IPL	1	13
02/01/04	Retour Unité DO 3	< 50 UFC/l	IPL	0,98	13
02/01/04	Retour Unité DO 4	< 50 UFC/l	IPL	1	1

Tableau 10 : Résultats des analyses de Légionelles réalisées entre le 22 décembre 2003 et le 2 janvier 2004

VI CONCLUSIONS

L'étude détaillée des conditions de mise en oeuvre des traitements préventifs et curatifs contre la prolifération des légionelles et de la gestion globale du risque sanitaire sur le site NOROXO justifient pleinement les mesures complémentaires prises avant le redémarrage initialement prévu en mars 2004.

Avant l'arrêt de décembre 2003, **les moyens mis en œuvre pour lutter contre la prolifération et la dissémination des légionelles dans l'environnement ne permettaient pas de réduire le risque sanitaire à son minimum :**

- **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 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 pas été nettoyé efficacement. L'efficacité des désinfections était ponctuelle, la re-contamination de l'eau à partir du biofilm persistant inévitable. De plus, les conditions de mises en oeuvre 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 biodispersant en continu aurait permis l'élimination progressive du biofilm.
- **les indicateurs de dérive** des paramètres du circuit n'étaient **pas totalement interprétés** (Légionelles) ou **pas représentatifs** (ATP).

Durant la période d'arrêt du site, entre le 2 et le 22 décembre, **les opérations de nettoyage n'ont pas concerné toutes les surfaces** du circuit en contact avec l'eau, et l'ensemble des dépôts n'a pu être éliminé.

- Le nettoyage mécanique n'a concerné qu'une portion de l'installation (tour et certains condenseurs).
- La circulation d'eau javellisée ne permet pas de nettoyer complètement les surfaces (canalisations et certains condenseurs) et les conditions de mise en oeuvre du biodispersant ne permettaient pas un nettoyage chimique efficace.
- Les conditions de mise en oeuvre des traitements désinfectants préventifs affectaient leur efficacité (interaction entre biocides).

L'autorisation de remise en service des installations n'a été donnée qu'après que NOROXO ait réalisé des modifications considérables :

- **La conception des installations** a été modifiée (élimination de bras mort, mise en place de purges sur les points bas, facilité de nettoyage mécanique des échangeurs, dimensionnement du brominateur⁴⁰ adapté, déplacement du lieu d'injection des biocides oxydants).
- **Les conditions de mise en œuvre des traitements préventifs et curatifs** ont été modifiées pour garantir la réduction du risque (conditions permettant de minimiser les phénomènes d'interaction entre biocides oxydants et biocides non oxydants, nettoyage chimique en continu pour lutter contre la formation de biofilm, pas d'injection d'antimousse).
- Le contrôle multipoints permet d'obtenir des **analyses représentatives de l'ensemble du circuit**, et les moyens mis en oeuvre en cas de dérive des paramètres biologiques sont définis.
- Une **analyse de risque liée à la présence de la lagune dans l'environnement des tours** a permis de définir des moyens visant à réduire la production d'aérosols.

⁴⁰ appareil servant à injecter le biocide oxydant après dissolution des galets de brome/chlore.

La période suivant la remise en service du circuit, entre le 22 et le 31 décembre, **est « critique »**. En effet, **les actions de nettoyages répétés** (dans leurs conditions de réalisation) ont très probablement **fragilisé les dépôts biologiques restés sur les surfaces**. Sous l'effet des forces hydrauliques, ces dépôts ont pu facilement se détacher et/ou libérer des bactéries dans l'eau circulante.

Pendant la période d'arrêt, **les opérations de nettoyage mécaniques effectuées entre le 8 et le 17 décembre ont pu produire des aérosols fortement chargés en légionelles infectieuses**, lors de l'utilisation de jets d'eau haute ou basse pression, en hauteur (10 à 15 m), et ce malgré la présence de chlore dans l'eau utilisée.

D'une manière générale, après de cette crise, **des éléments nouveaux ont été mis en évidence** :

- **les manipulations entraînant la projection d'eau haute pression pendant les phases de nettoyage mécanique** de la tour et des échangeurs sont des opérations potentiellement à risque.
- **la présence d'une lagune d'épuration sur un site industriel génère un risque biologique qui doit être évalué et géré.** Ces bassins contiennent le plus souvent, des concentrations élevées en Légionelles et en micro-organismes susceptibles de les héberger. Aucune des études réalisées et publiées à ce jour ne conclut à un risque accru de Légionellose lors du travail au contact des eaux usées, toutefois, il est indispensable d'éviter la formation d'aérosols à partir de cette eau contaminée via les aérateurs de surface ou lors des opérations effectuées autour de cette lagune (durant les opérations de dépotages et de pompages, lors des lavages des camions).
- **Les tours de refroidissement peuvent dans certaines conditions participer à la dissémination d'aérosols contenant des légionelles sur de longues distances** La caractérisation des aérosols et la viabilité des légionelles disséminées est difficile à évaluer en l'état actuel des connaissances. Toutefois, les données de la littérature, permettent de penser que la dissémination sur de longue distance est possible compte tenu des conditions météorologiques (forte humidité), de la géographie (peu d'obstacles), et de la résistance des légionelles dans des organismes hôtes (vésicules amibiennes ou aux vacuoles des ciliés). Des efforts doivent être réalisés pour limiter l'entraînement d'eau à l'émission des tours.

Enfin, dans l'ensemble, **le personnel exploitant manquait de connaissance sur le risque** lié aux circuits de refroidissement qui constituent un écosystème spécifique favorable au développement de Légionelles. Cette observation a été faite sur un ensemble d'installation suivies, comme le souligne le document sur le retour d'expérience (Annexe 7).

Michèle Merchat, le 23 juillet 2004



BIBLIOGRAPHIE

ADEME/CREPS (2002) Etude bibliographique sur l'évaluation des risques liés aux bio-aérosols générés par le compostage des déchets, n°0075038 Rapport 317.

Alary, M. and J. R. Joly (1992). "Factors contributing to the contamination of hospital water distribution systems by legionellae." J. Infect Dis. **165**: 565-569.

Anand, C. M. R., A. Skinner, et al. (1983). "Interaction of *Legionella pneumophila* and free living amoeba (*Acanthamoeba palestinensis*)." J. Hyg. Camb. **91**: 167-178.

Armon, R., J. Starosvetzky, et al. (1997). "Survival of *Legionella pneumophila* and *Salmonella Typhimurium* in biofilm systems." Water Science and Technology **35**(11-12): 293-300.

Arnou, P. M., T. Chou, et al. (1982). "Nocosomal Legionnaires' disease caused by aerosolized tap water from respiratory devices." J. Infectious Diseases **146**(4): 460-467.

Atlas, R. M., J. F. Williams, et al. (1995). "*Legionella* contamination of dental-unit waters." Applied Environmental Microbiology **61**(4): 1208-1213.

Barbaree, J. M., B. S. Fields, et al. (1986). "Isolation of protozoa from water associated with a legionellosis outbreak and demonstration of intracellular multiplication of *Legionella pneumophila*." Applied Environmental Microbiology **52**(1): 422-424.

Barker, M. R. W. Brown, et al. (1992). "Relationship between *Legionella pneumophila* and *Acanthamoeba polyphaga* : physiological status and susceptibility to chemical inactivation." Applied Environmental Microbiology **58**(8): 2420-2425.

Berk, S. G., R. S. Ting, et al. (1998). "Production of respirable vesicles containing live *Legionella pneumophila* cells by two *Acanthamoeba* spp." Applied Environmental Microbiology **64**(1): 279-286.

Betz (1993) «le conditionnement des eaux industrielles selon Betz » ISBN : 0-9696928-0-3

Betzdearborn (2000) *Chemical water treatment Recommendations for reduction of risks associated with legionella in open recirculating cooling water system* Technical Bulletin73 0008 : <http://www.gewater.com/pdf/Tech18.pdf>

Bezanson, G., S. Burbridge, et al. (1992). "In situ colonization of polyvinyl chloride, brass, and copper by *Legionella pneumophila*." Canadian Journal of Microbiology **38**: 328-330.

Breiman, R. F., B. S. Fields, et al. (1990). "Association of shower use with Legionnaire' disease: possible rôle of amoeba." J. American Medical Association **263**(21): 2924-2926.

Brochard P, Festy B (1998) « Impact des polluants atmosphériques sur la santé du personnel d'une station d'épuration résiduaire » DRASS île de France, Rapport d'étude n° 488640.

Bubenger, Nermann (1994) « Abwasserreinigung in belüfteten Teichen" W.W.T. http://perso.wanadoo.fr/isma/fr_lagunage-aere-documentation.html

Campins, M., A. Ferrer, et al. (2000). "Nosocomial Legionnaire's disease in a children's hospital." J. Pediatr. Infect. Dis. **19**(3): 228-234.

Cemagref (1987) « Contamination bactérienne de l'atmosphère par les stations de traitement d'eaux résiduaires » information technique, **65** :6,3p.

Clodic D., Dib J., Senejean B., Borlein C., Zoughaib A., Merchat M. (2004) « Stratégies de conception de tours aéroréfrigérantes à zéro émission », Séminaire ATEE, 9 juin, Paris.

Crespi, S. and J. Ferra (1997). "Outbreak of legionellosis in a tourist complex in Lanzarote concomitant with a treatment of the water system with megadoses of polyphosphates." Water Science and Technology **35**(11-12): 307-309.

Daube, D. and Y. Lévi (2000). "Legionella: de l'environnement aux réseaux d'eaux chaudes." CVC n°12(décembre): 10-12.

Dubrou, S. (2000). Où et comment les légionelles vivent-elles ? Légionelles: état des lieux, CSTB.

Farrell, I. D., J. E. Barker, et al. (1990). "A field study of the survival of *Legionella pneumophila* in a hospital hot-water system." Epidemiol. Infect. **104**: 381-387.

Fields, B. S. (1993). Legionella and protozoa : interaction of a pathogen and its natural host. In Legionella: current status and emerging perspectives. R. B. J. M. Barbaree, A. P. Dufour, American Society for Microbiology, Washington, DC: 129-136.

Frederiksen, S. and K. K. Kristensen "Microbial growth in domestic hot water systems within special emphasis on connections to district heating networks.": 301-315.

Köhler, J. R., Maiwald, M., Luck, P. C., Helbig, J. H., Hingst, V., Sonntag, H. G. (1999). "Detecting legionellosis by unselected culture of respiratory tract secretions and developing links to hospital water strains." J. Hospital Infection **41**: 301-311.

Lye, D., et al (1997). "Survey of ground, surface, and potable waters for the presence of Legionella species by enviroamp PCR Legionella kit, culture, and immunofluorescent staining." Wat. Res. **31** (2): 287-293.

Medema G, Willing B, Roelevelf P, Vanderkoij D (2002) « Risk assesment of Legionella and enteric pathogens in sewage treatment works » AWWWA.

Merchat M (2002) « Légionelles et circuits de refroidissement humides » Colloque DRIRE/STIIC île de France, 17 octobre 2002, Paris.

Merchat M (2004) « Control of *Legionella* proliferation risk in cooling water systems" Journées de l'eau, sept. 2004, Poitier.

Nagl, R. Starlinger, et al. (2000). "Influence of sequential cultivation on virulence of Legionella pneumophila and Staphylococcus aureus." Int. J. Hyg. Environ. Health **203**: 165-167.

Nahanpetian K, Challemel O, Beurtin D, Dubrou S, Gounon P, Squinazzi F. (1991) « The intracellular multiplication of *Legionella pneumophila* in protozoan form hospital plumbing systems » Res. Microbiol. **142**, 677-685.

Neumeister, B., Reiff, G., Faigle, M., Northoff, H., Lang, F. (2000). "Influence of Acanthamoeba castellanii on intracellular growth of different Legionella species in human monocytes." Applied Environmental Microbiology **66**(3): 914-919.

Newsome, A. L., Scott, T. M., Benson, R. F., Fields, B. S. (1998). " Isolation of an Amoeba naturally harboring a distinctive Legionella species." Applied Environmental Microbiology **64**(5): 1688-1693.

Palmer CJ, Bonila GF, Roll B, Paszko-Kolva C, Sangermano LR, Fujioka RS (1995) « Detection of *Legionella* Species in reclaimed water and air with the EnviroAmp Legionella PCR kit and Direct Fluorescent Antibody Staining » Applied and Environmental Microbiology, **61** : 2, p. 407-412.

Paszko-Kolva, C., Sawyer, T.K., Palmer, C.J., Nerad, T.A., Fayer, R. (1998). "Examination of microbial contaminants of emergency showers and eyewash stations." J. Ind. Microbiol. and Biotechnol. **20**(3-4): 139-143.

Patterson, W. J., Seal, D. V., Curran, E., Sinclair, T.M., McLuckie, J.C. (1994). "Fatal nosocomial Legionnaires' disease : relevance of contamination of hospital water supply by temperature-dependent buoyancy-driven flow from spur pipes." Epidemiol. and Inf. **112**(3): 513-525.

Robine E. (1999) Fixation et survie des aérosols bactériens sur les surfaces. Rapport de thèse. Université Paris XII, UFR de Sciences, Sciences de la vie et de la santé / CSTB, 190 p.

Rowbotham T (1980) « Preliminary report on the pathogenicity of *legionella pneumophila* for freshwater and soil amoeba » J Clin Pathol ; **33** :1179-1183.

Rogers, J., Dowsett, A. B., Dennis, P.J., Lee, J.V., Keevil, C. W. (1994). "Influence of temperature and plumbing material selection on biofilm formation and growth of *Legionella pneumophila* in a model potable water system containing complex microbial flora." Applied Environmental Microbiology **60**(5): 1585-1592.

Rogers, J., Dowsett, A.B., Lee J.V., Keevil, C. W. (1991). Chemostat studies of biofilm development on plumbing materials and the incorporation of *Legionella pneumophila*. Biofilms and biodeterioration and biodegradation. Elsevier: 458-460.

Rowbotham, T. J. (1993). *Legionella*-like amoebal pathogens. Legionella: current status and emerging perspectives. R. B. J. M. Barbaree, A. P. Dufour, American Society for Microbiology, Washington, DC.: 137-140.

Solomon, J. A., S. W. Christensen, et al. (1983). "Distribution of *Legionella pneumophila* in power plant environments." Legionella: 2nd international symposium: june 1983. Atlanta - American Society for Microbiology: 309-311

Sorber CA. et al. (1984). Microbiological aerosols from the application of liquid sludge to land. Journal WPCF, vol.56, n°7, 830-836.

Stetzenbach L.D. (1992) Airborne Microorganisms. Encyclopedia of Microbiology, vol 1, by Academic press, Inc., 53-65.

Surman, S.B., Morton, L.H.G., Skinner, A., Fitzgeorge, R.B., Keevil, C.W. (1999). "Growth of *Legionella pneumophila* is not dependent on intracellular replication". Royal Society of Chemistry Special Publications 242: 160-170.

Swanson, M. S. and B. K. Hammer (2000). "*Legionella pneumophila* pathogenesis : A fateful journey from Amoebae to macrophages." Annual Review of Microbiology **54**: 567-613

Thomas W et al (1999) "Laboratory observations of biocide efficiency against *legionella* in model cooling tower systems" SE, 3-45RP-954).

Visca, Goldoni, P., Lück, Helbig, J.H., Cattani, L., Giltr,i G., Bramat,i S., Pastoris, M.C. (1999). "Multiple types of *Legionella pneumophila* serogroup 6 in a hospital heated-water system associated with sporadic infections." J. Clinical Microbiology **37**(7): 2189-2196.

Wadowsky, R. M., Butler, L. J., Cook, M. K., Verma, S. M., Paul, M. A., Fields, B. S. Keleti, G., Sykora, J. L., Yee, R. B. (1988). "Growth-supporting activity for *Legionella pneumophila* in tap water cultures and implication of Hartmannellid amoebae as growth factors." Applied Environmental Microbiology **54**(11): 2677-2682.

Wadowsky, R. M., Yee, R. B., Mezmar, L., Wing, E. J., Dowling, N. J. (1982). " Hot water systems as sources of *Legionella pneumophila* in hospital and non-hospital plumbing fixtures." Applied Environmental Microbiology **43**: 1104-1110.

Werner H.P. et al. (1979) Communication II : Measuring methods, emission values and changes in the germ count in the cooling system. Abstract. In, Microbial emission, immission and changes in the germ count in the cooling water during operation of wet cooling towers, Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B 169, pp 39-134).

Winiecka-Krusnell, J., Linder E. (1999). "Free-living Amoeba protecting *Legionella* in water : the tip of an iceberg." Scandinavian J. Infectious Diseases **31**: 383-385.

ANNEXES

Annexe 1: Concentrations en Légionelles sur l'eau d'appoint et l'eau du réseau incendie alimentant NOROXO

Date	Lieu de prélèvement	Légionelles UFC/L
08/12/03	Eau de forage	100 (Lp2-14)
29/12/03	Eau de forage	< 100
05/01/04	Eau de forage arrivée usine	< 50
05/01/04	Forage 1 avec chloration	< 50
05/01/04	Forage 1 sans chloration	< 50
05/01/04	Forage 2 avec chloration	< 50
05/01/04	Forage 2 sans chloration	< 50
05/01/04	Réservoir côté Noroxo	< 50
05/01/04	Réservoir côté route	< 50
15/01/04	Réseau incendie PT14	100 (Lp2-14)
15/01/04	Réseau incendie PT23	< 50
15/01/04	Réseau incendie PT9	< 50
28/02/04	Eau d'appoint	<50
01/03/04	Eau d'appoint	<50
04/03/04	Eau d'appoint	< 250

Annexe 2: Résultats des analyses physico-chimiques de l'échantillon de boues provenant de chez SEAC

PARAMETRE	NORME	ELUAT 24h mg/l	QTE /sec mg/kg
COT	NF EN 1454	451	1145
Cyanures totaux	NF T-90-107	<0,01	< 0,25
Phénols	XP T-90-109	0,30	7,61
Hydrocarbures totaux	XP T-90-114	0,8	20,3
Chrome hexavalent	NF T 90-043	<0,005	<0,127
Arsenic	ISO 11-969	<0 ,01	<0,03
Mercuré		<0,001	<0,03
Cadmium	NF en ISO 11885	<0,004	<0,10
Plomb	NF en ISO 11835	0,051	1,29
Humidité	60,6 %		

Annexe 3: Présence de *Legionella* dans le cycle de l'eau – Données publiées

Auteur	Lieu	Type d'eau	Nombre d'échantillons	Echantillons positifs	Méthode / Seuil de détection	Legionella ufc/l Mini/maxi
Fliermans 1979	USA	23 lacs	200	180	DFA 10 ⁴ /l	3.10 ⁵ à 10 ⁷
Morris 1979	USA	1 rivière	6	3	DFA ?	?
Fliermans 1981	USA	67 lacs et rivières	793	793	DFA 10 ⁴ /l	10 ⁴ à 3.10 ⁷
Tomov 1981	Bulgarie	5 sources eau chaude	5	1	Injection cobayes	?
Bornstein 1982	France	3 rivières	4	1	DFA + cobayes	?
Tison 1983	USA	8 lacs et rivières	23	19	DFA 10 ⁴ /l	10 ⁴ à 10 ⁷
Tison 1983	USA	1 rivière	5	5	DFA 5.10 ³ /l	10 ⁴ à 2.10 ⁵
		6 usines eau potable	19	? (1)		< 5.10 ³ à 5.10 ⁴
States 1987	USA Pittsburgh	1 rivière	3	?	Culture 5/l	15 à 30
		usine eau potable	14	0	Culture 10/l	< 10
		réservoir public	27	0	Culture 10/l	< 10
		compteur hôpital	9	0	Culture 10/l	< 10
		réservoir public	9	0	Culture 10 ³ /l	< 10 ³
		compteur hôpital	25	0	Culture 10 ³ /l	< 10 ³
		compteur hôpital	7	0	Culture 4/l	< 4
Yamamoto 1993	Japon	1 rivière	3	3	DFA 10 ⁵ /l	10 ⁵ à 3.10 ⁵
Palmer 1993	USA	1 station épuration	60	60	DFA + PCR + culture 10 ³ /l	6.10 ⁶ à 4.10 ⁷
		1 rivière	11	5		4.10 ³
		1 bassin eau de pluie	13	6		3.10 ⁴
		mer (effluent de STEP)	20	5		6.10 ³ à 3.10 ⁴
		mer (plage)	14	2		2.10 ⁴
Lye 1997	USA	29 forages	58	55	PCR 4.10 ⁴ /l + DFA + Culture	?
Sarrette 1999	France	réseau public	252	0	Culture 50/l	< 50

(1) Les échantillons trouvés positifs par DFA n'ont été confirmés ni par culture, ni par injection à des cobayes.
Hypothèse de l'auteur : les bactéries présentes ne sont pas viables.

Annexe 4: Présence de *Legionella* dans le cycle de l'eau - Compilation des principales données publiées

Type d'eau	Nombre de sites	Nombre échantillons	Echantillons positifs	% de positifs	Seuil de détection ufc/l	Legionella ufc/l
Lacs / rivières	99	1021	997	98	10^4	10^4 à 3.10^7
Forages	29	58	55	95	4.10^4	$> 4.10^4$
Eau de pluie	1	13	6	46	10^3	3.10^4
Mer	2	34	7	21	10^3	6.10^3 à 3.10^4
Eau potable	6	19	0	0	5.10^3	$< 5.10^3$
Production	1	14	0	0	10	< 10
Eau potable	5	34	0	0	10^3	$< 10^3$
Distribution	1	252	0	0	50	< 50
	3	36	0	0	10	< 10
	4	7	0	0	4	< 4
Eaux usées	1	60	60	100	10^3	6.10^6 à 4.10^7

Annexe 5: Concentrations en Légionelles dans les différents bassins sur site

Date	lieu de prélèvement	Labo	Legionelles sp UFC/L	Souches identifiées
15/01/04	Bassin DO	LEA	6100 (100 Lp1 et 6000 Lp2-14)	
15/01/04	Bassin méthanol	LEA	< 50	
27/01/04	Bassin méthanol	IPL	< 50	
03/02/04	Bassin méthanol	IPL	< 5000	
03/02/04	Bassin méthanol	LEA	150 UFC/L	
10/02/04	Bassin 3000	LEA	600 000 000 UFC/L	
10/02/04	Bassin méthanol	IPL	ND	
10/02/04	Bassin méthanol	LEA	< 50 UFC/L	
23/02/04	bassin 1	IPL	<2000	
23/02/04	bassin DO	IPL	<2000	
23/02/04	Bassin méthanol	IPL	<2000	
23/02/04	sortie turbiflux	IPL	4600 (2800Lp1)	2 Lp 5
30/12/03	Lagune	LEA	présence	
08/01/04	Lagune semences	LEA	11000000000 (1E9 Lp1 et 10E9 Lp2-14)	6 Lp1 (épidémique)
08/01/04	Lagune	LEA	210000000 (5E6 Lp1 et 160E6 Lp2-14)	6 Lp1 (épidémique)
15/01/04	Lagune recyclage	IPL	Quantification impossible	
27/01/04	Bassin 3000	IPL	> 5000000 (Lp1 < 50000)	2 Lp6
27/01/04	Lagune recyclage	IPL	> 5000000 (Lp1 < 50000)	2 Lp6
03/02/04	Bassin 3000	IPL	1200000000 (700E6 Lp1 et 500E6 Lp2-14)	Lp1 (profil épidémique)
03/02/04	Bassin 3000	LEA	84 000 000 UFC/L	
03/02/04	Lagune	LEA	29 000 000 UFC/L	
03/02/04	Lagune recyclage	IPL	75000000 (50E6 Lp1 et 25E6 Lp2-14)	2 Lp1 (épidémique)
10/02/04	Lagune	LEA	26 000 000 UFC/L	
10/02/04	Lagune recyclage	IPL	30000000 (2,4E7 Lp1)	Lp1 (épidémique)
01/03/04	Lagune	IPL	9 000 000 Lp sq 1 / 500 000 Lpsq 2-14	
02/03/04	Lagune	IPL	5 500 000Lp1 / 1 000 000Lp 2-14	
22/03/04	Lagune	IPL	170 000 Lp1	
05/04/04	Lagune	IPL	614 000 Lp1/114 000 Lp2-14	
15/01/04	Décanteur surverse	LEA	45000000 (20E6 Lp1 et 25E6 Lp2-14)	
27/01/04	Décanteur boues	IPL	500000 (Lp2-14 - Lp1 < 50000)	
27/01/04	Décanteur surverse	IPL	5300000 (4300000 Lp1)	2 Lp1 (épidémique)et 2 Lp6
03/02/04	Décanteur surverse	IPL	9000000 (6,5E6 Lp1 et 2,5E6 Lp2-14)	Lp1 (épidémique)
03/02/04	Décanteur surverse	LEA	1 800 000 UFC/L	
10/02/04	Décanteur surverse	IPL	10000000 (9E6 Lp1)	2 Lp1 (épidémique)
10/02/04	Décanteur surverse	LEA	6 000 000 UFC/L	
01/03/04	Décanteur boues	IPL	1 400 000 Lp sq 1 / 50 000 Lp sq 2-14	

Annexe 6: Concentrations en Légionelles sortie effluents

Date	lieu de prélèvement	Labo	Legionelles sp UFC/L	Souches identifiées
01/12/03	Bassin Harnes entrée	LEA	910000 (340000 Lp1 et 570000 Lp2-14)	9 Lp1 (épidémique) / 3 Lp6 (différent) / 2 Lp2-14
30/12/03	Bassin général usine	LEA	210 000	
31/12/03	Bassin Harnes entrée	LEA	17 000	
31/12/03	Bassin Harnes milieu	LEA	présence	
31/12/03	Bassin Harnes sortie	LEA	présence	
31/12/03	Canal 100 m amont	LEA	présence	
31/12/03	Canal sortie	LEA	>220 000	
31/12/03	Canal 100 m aval	LEA	présence	
08/01/04	Bassin général usine	LEA	1100000 (7E5 Lp1 et 4E5 Lp2-14)	
27/01/04	Bassin général usine	IPL	1400000 (Lp1 < 50000)	2 Lp6
27/01/04	Bassin Harnes entrée	IPL	750000 (450000 Lp1)	2 Lp1 et 2 Lp6
27/01/04	Bassin Harnes milieu	IPL	< 1000	
27/01/04	Bassin Harnes sortie	IPL	250000 (Lp1 < 50000)	2 Lp6
03/02/04	Bassin général usine	IPL	< 5000	
03/02/04	Bassin général usine	LEA	100 UFC/L	
03/02/04	Bassin Harnes entrée	IPL	< 5000	
03/02/04	Bassin Harnes entrée	LEA	4 200 UFC/L	
03/02/04	Bassin Harnes milieu	IPL	< 5000	
03/02/04	Bassin Harnes milieu	LEA	16 000 UFC/L	
03/02/04	Bassin Harnes sortie	IPL	< 5000	
03/02/04	Bassin Harnes sortie	LEA	2 900 UFC/L	
10/02/04	Bassin général usine	IPL	3000 Lp1	2 Lp1 (épidémique)
10/02/04	Bassin général usine	LEA	< 100 UFC/L	
10/02/04	Bassin Harnes entrée	IPL	7000 Lp1	
10/02/04	Bassin Harnes entrée	LEA	15 000 UFC/L	
10/02/04	Bassin Harnes milieu	IPL	54000 (2,7E4 Lp1)	2 Lp1 (épidémique)
10/02/04	Bassin Harnes milieu	LEA	24 000 UFC/L	
10/02/04	Bassin Harnes sortie	IPL	54000 (4E4 Lp1)	2 Lp1 (épidémique)
10/02/04	Bassin Harnes sortie	LEA	< 100 UFC/L	
22/03/04	Bassin Harnes entrée	IPL	<2000	
22/03/04	Bassin Harnes sortie	IPL	<2000	
05/04/04	Bassin général usine	IPL	<500	
05/04/04	Bassin Harnes entrée	IPL	<2000	
05/04/04	Bassin Harnes sortie	IPL	4000 Lp1/6000Lp2-14	

Annexe 7: Compte rendu : retour d'expérience du 26 mars 2004

CLIMESPACE

Michèle Merchat	à	M. Rico (MEDD) F. Ricordel (MEDD) A. Larribet (MINEFI) P. Harmant (DGS) P. Faisque (FG3E) M.C. Dupuis (MEDD) T. Trouvé (MEDD) P.F. Chevet (DRIRE NPdC)
	Copie	

Vendredi 26 mars 04

Objet : Gestion du risque légionellose sur les circuits de refroidissement par voie humide:
Retour d'expérience du Nord Pas Calais

Constat.

Dans le cadre de la mission d'appui nationale, l'analyse du suivi de gestion du risque sanitaire sur une trentaine de circuits de refroidissement a permis de constater que:

L'arrêté préfectoral est respecté dans les termes de sa rédaction dans la plupart des cas.

Le **guide de bonne pratique** est disponible sur les sites d'exploitation.

Le **carnet de suivi est conforme** aux prescriptions de l'arrêté.

Les propriétaires de TAR ont un **contrat avec une société de traitement** d'eau.

Malgré ces constats et les nombreuses mesures mises en œuvre, le risque de prolifération n'est pas contrôlé sur tous les circuits de refroidissement.

Ce document tente d'identifier les éléments permettant de comprendre pourquoi les systèmes ne sont pas plus sûrs et correctement maîtrisés.

Analyse et interprétation de la situation.

Les contrats entre les traiteurs d'eau et les exploitants⁴¹ ne sont pas des contrats de résultats. Ce sont quelquefois des contrats de fournitures de produits ou des contrats de moyens mais dans ce cas, la plupart du temps les indicateurs permettant de diagnostiquer les dérives ne sont pas interprétés.

Chacune des sociétés intervenant sur le circuit de refroidissement remplit son « cahier des charges », chacun d'eux étant défini sans réelle coordination.

Les champs d'intervention et les moyens mis en œuvre des différents intervenants ne sont pas clairement identifiés ce qui influe sur la répartition des responsabilités de chacun dans la gestion du risque (constructeurs, traiteurs d'eau, installateurs..).

Les sociétés de traitements de l'eau n'ont pas obligation de démontrer l'efficacité de leur produits (chimiques ou physiques) **dans les conditions réelles d'exploitation**. L'efficacité des traitements préventifs ou curatifs dépend des conditions de mise en œuvre ou de la qualité de l'eau. Différents procédés chimiques ou physiques (champs magnétiques, ultra sons...) sont proposés aux exploitants qui ont du mal à identifier les propos purement commerciaux.

Les procédures techniques détaillant la mise en œuvre des actions préventives ou curatives **sont** la plupart du temps **inexistantes**. Aucune procédure détaillée n'est prévue en cas de dépassement de seuil.

⁴¹ Le terme exploitant est compris dans le sens : personne qui entretient et fait fonctionner l'installation

Les résultats d'analyses microbiologiques ne sont pas interprétés (par le traiteur d'eau comme par l'exploitant).

Le suivi des germes totaux est un indicateur permettant d'évaluer l'efficacité des traitements mis en œuvre. Ce paramètre n'est pas suivi ou s'il est mesuré, il n'est pas interprété.

Les paramètres indicateurs qui sont suivis **ne sont pas toujours représentatifs** (par exemple, la mesure d'ATP⁴²) ; hormis dans quelques cas ces résultats non représentatifs servent à piloter la mise en œuvre de traitements préventifs et/ou curatifs (quantité et périodicité).

Le choix et la mise en œuvre des traitements dans de nombreux cas représente un risque non négligeable de **sélection possible d'espèces résistantes** et ont un **impact environnemental**. L'absence d'interprétation des résultats d'analyses induit des traitements toujours plus importants en concentrations ou en fréquence.

Les traitements chimiques préventifs sont mis en œuvre suivant **une base calendaire** et **non au regard des interventions** susceptibles de favoriser le risque. Par exemple, le redémarrage d'une tour après un nettoyage mécanique, la remise en service d'un condenseur à l'arrêt pendant quelques jours ou la brusque variation de la qualité de l'eau d'appoint constituent des périodes de risque de contamination de l'eau dans le circuit et la tour.

Des traitements chimiques curatifs sont réalisés après qu'une concentration élevée (>1000 ufc/l) en légionelles a été détectée.

L'arrêté préfectoral est respecté mais les propriétaires de TAR, les responsables environnement, les exploitants **manquent de connaissances** sur le risque sanitaire dans les circuits de refroidissement leur permettant d'identifier les actions sur site pouvant favoriser le risque de contamination, de prolifération ou de dissémination.

Le carnet de suivi représente souvent le moyen d'être en conformité avec la réglementation, **la notion de risque sanitaire n'y est pas toujours prise en compte**.

L'augmentation de la fréquence d'analyses ne règle pas le problème (Noroxo faisait une analyse trimestrielle, et parmi la trentaine de sites « observés », certains font des analyses mensuelles sans que le risque soit mieux géré).

Le guide de bonne pratique dans sa forme apparaît à la fois comme « **indigeste** », accessible à des "spécialistes", et peu précis ou opérationnel. L'essentiel ne ressort pas. Les exploitants ont de la difficulté à rédiger à partir de ce document des procédures plus techniques (**ANNEXE**).

D'une façon générale il est possible de constater que des confusions qui persistent :

Confusion sur la répartition des compétences pour conseiller les exploitants.

Généralement les industriels ne s'adressent pas au constructeur de tour pour mettre en œuvre leur système. L'exploitant achète des prestations d'ingénierie (achat de tours, achats de groupe frigorifique).

Les constructeurs ne sont donc pas maître d'œuvre des chantiers même si quelques-uns d'entre eux propose des services associés à l'achat des tours (services qui se traduisent généralement par des contrats de sous-traitances ne changeant pas énormément le problème de prise en compte d'une manière globale du risque sanitaire).

C'est l'**installateur** (le maître d'œuvre "**magister operis**"), celui qui maîtrise la mise en œuvre des installations soit le bureau d'étude ou une entreprise spécifique ou ?...) qui a un rôle de conseil pour l'installation des tours en fonction de l'environnement. Par exemple, éviter la proximité de rejets de cuisine, éviter les phénomènes de recyclage par mauvaise circulation d'air, éviter la stagnation de panache par "encaissement" des tours, éviter l'aspiration d'un circuit aéraulique à proximité du panache...

⁴² Adénosine Tri Phosphate : molécule présente dans tout organisme vivant. La concentration en ATP donne une indication sur la teneur en microorganismes.

Confusion à propos de la tour qui est identifiée comme le seul élément de risque ;

La prolifération des légionelles dans le biofilm concerne tout le circuit de refroidissement, soit l'ensemble des éléments en contact avec l'eau (les canalisations, les condenseurs, les pompes, la tour...). La dissémination des légionelles dans l'environnement est possible via la tour.

Pourtant, l'exploitant considère très souvent la tour seulement comme l'élément de risque, à l'origine de la contamination de l'eau. Des nettoyages mécaniques sont alors réalisés mais aucune action de nettoyage (chimique) n'est mise en œuvre sur l'ensemble du circuit. La plupart du temps, si cette action est engagée, les biodispersants ou biodétergents sont utilisés dans des conditions de mises en œuvre qui ne sont pas vraiment efficaces (il est intéressant de noter que les sociétés compétentes dans le traitement de l'eau n'apportent dans beaucoup de cas aucun éléments de compréhension à l'exploitant).

Confusion à propos de la notion de nettoyage et de désinfection.

Très souvent le nettoyage et la désinfection du circuit (tour comprise) consistent seulement en l'injection de biocides comme le chlore par exemple. Or le nettoyage d'une installation (élimination des dépôts biologiques) n'est possible qu'avec l'utilisation correcte d'un biodispersant ou d'un biodétergent. L'efficacité des biocides est fortement affectée dans un circuit qui n'a pas été préalablement nettoyé.

Lorsque le biodispersant est utilisé, c'est systématiquement en choc avant ou pendant un choc biocide, pendant quelques heures. Dans ce cas, le biofilm peut être « éliminer » partiellement ou seulement fragilisé par endroit. Le biofilm s'élimine par « érosion » progressive lorsqu'il est « bien » installé dans un circuit.

Par ailleurs, à ce jour l'évaluation du pourcentage d'eau du circuit directement entraînée dans le flux d'air (entraînement vésiculaire) est basée sur des calculs théoriques (compétence des constructeurs). Or, la qualité de l'eau a nettement évolué dans les circuits depuis la mise en œuvre de traitements chimiques. En particulier les biodispersants modifient la tension superficielle de l'eau ce qui a un impact non négligeable sur l'efficacité des pare gouttelettes, comme le stipule quelques études publiées par le CTI⁴³ (sans pour autant le quantifier).

Conclusion.

Les différentes **compétences** autour de l'exploitation d'un circuit de refroidissement manquent d'**organisation**. Une plus grande implication des différents intervenants dans leur domaine respectif engagerait plus facilement leur **responsabilité**. L'exploitant ne peut par contre, ignorer quelles situations sur son site favorisent le risque « légionelles ».

Rappel : l'exploitant est ici la personne qui entretient et fait fonctionner l'installation.

Le risque zéro n'existe pas mais la maîtrise du risque sanitaire est rendue difficile voire impossible dans certains cas par les **confusions et l'incompréhension des problèmes**

- Le risque sanitaire n'est pas considéré sur l'ensemble du circuit mais sur la tour seulement.
- il y a confusion entre « l'élimination du biofilm » (nettoyage) et la suppression des bactéries vivantes dans l'eau en circulation (désinfection).

Le **guide de bonne pratique** est un document **insuffisant** pour les exploitants, qui mérite d'être complété au regard de l'expérience acquise.

⁴³ Cooling Tower Institute

ANNEXE : Remarques diverses d'exploitants à propos du guide de bonnes pratiques : les questions sont rapportées telles qu'elles ont été formulées**Questions diverses à propos de la dissémination et de la sécurité.**

Comment peut-on simplement déterminer qu'il y a un aérosol inférieur à 5 µm ?

Il serait utile de trouver une définition d'aérosol et des conditions où la présence des légionelles est possible.

Lors d'intervention à proximité, quel périmètre de protection doit-on respecter ?

Pour un nettoyage Haute Pression quelles recommandations à suivre pour l'environnement proche, périmètre de danger

Information du personnel: affichage des risques, et précautions à prendre.

Questions diverses à propos de la maîtrise de prolifération.

Existe-t-il un biocide recommandé voire universel ?

Le produit biocide peut-il être identique entre un choc et un traitement préventif continu ou à fréquence fixe ?

Quelle quantité de produit utiliser quand on n'est pas spécialiste ?

Quels sont les produits efficaces pour la désinfection ?

En quelle quantité ?

Quel paramètre indicateur d'efficacité doit-on suivre ?

Que doit-on demander pour l'analyse, un dénombrement de légionelles est-il suffisant ou faut-il aller jusqu'à la détermination de *pneumophila* et du sérotype ?

Existe-t-il une valeur de PH à maintenir plutôt qu'une autre ?

Les boues et le tartre enlevés du nettoyage qu'en fait-on ?

Existe-t-il des préconisations de limites TH et de pH qui favorisent ou non la prolifération de légionelles ?

Constat et Propositions

Sur la forme, le guide de bonnes pratiques est indigeste et ne peut être lu que par des "spécialistes".

Rien d'essentiel ni de précis ne ressort.

Est-il possible d'avoir un récapitulatif succinct des bonnes pratiques ?

Peut-on retrouver un résumé des bonnes pratiques sous forme plus didactique ?

(où, quand, comment réaliser les prélèvements ?, qui prévenir en cas de dépassement de seuil ?, quand prévenir ? mode opératoire pour retrouver un circuit « sain » ?, comment revient-on en mode de fonctionnement normal ? quand peut-on revenir en fonctionnement normal sur une tour ? doit-on attendre des résultats définitifs ?).

De façon plus spécifique à propos du guide quelques questions posées

Page 10 - III-3.1

Accessibilité : "les interventions de maintenance et d'entretien sont réalisables dans le respect des règles de sécurité générales stipulées dans le code du travail"

Dans le cadre particulier de la légionelle pourquoi ne pas préciser ces conditions de sécurité ?

Page 11 : en haut de la page

"Points d'échantillonnage aux endroits où la qualité de l'eau est modifiée"

C'est à dire ?

Page 14 - V-2

La conductivité de l'eau de circulation : "Une augmentation importante de la conductivité"

Ne pourrait-on pas avoir un chiffre ou une fourchette ?

Page 14 - V-4 - Caractéristiques du traitement de l'eau : "Le traitement d'eau sera mis en œuvre lorsque cela s'avérera nécessaire"

N'est-il pas toujours nécessaire ? Sinon quand l'est-il ? Quels sont les paramètres à prendre en compte ?

Page 19 III-1 La maîtrise du risque : Quels sont les paramètres à prendre en compte pour être sûr d'avoir mis en œuvre le bon traitement ?

"Un contrôle régulier de l'état du matériel" : Pourrait-on avoir une fréquence définie ?

"Une maîtrise de la qualité d'eau d'appoint " : S'agit-il du débit? De la qualité physico-chimique de l'eau ou d'autres paramètres ?

"Entretien adapté " : C'est à dire? En fonction de quoi?

"Une évaluation de l'efficacité des programmes de traitement de l'eau" : Comment fait-on sachant que des résultats d'analyses inférieurs aux limites réglementaires ne garantissent pas l'efficacité du traitement?

Page 23 - V-4 liste des traitements existants : Existe t-il une méthode nous permettant de déterminer le traitement le mieux adapté en fonction des problèmes rencontrés?

Page 24 : "Compte tenu de la vitesse à laquelle les micro-organismes peuvent proliférer, il est essentiel d'exercer un contrôle régulier des installations..." Fréquence de ces contrôles ??

Page 27 : "Outre la présence de nutriments organiques et minéraux véhiculés par l'eau, les facteurs tels que la température, le domaine de pH..." quel est le domaine de pH à respecter pour être dans les meilleures conditions pour lutter contre la présence de légionelles?

Page 35 - C.IV-3.2 Gestion des interventions de maintenance : "un temps de latence suffisant entre l'arrêt de fonctionnement de la tour et l'intervention doit permettre aux gouttelettes d'eau de se déposer " Un temps suffisant ?? Pourrait-on avoir une durée minimale ???

"Les techniques générant des aérosols..." à part les jets d'eau à haute pression, quelles sont les autres techniques générant des aérosols??

Page 36 - C.IV- 3.3 Protections individuelles : A part les masques de type P3SL, quels sont les EPI adaptés aux risques ??

Page 41- C.VI -1 L'entretien : Quelles sont les précautions à prendre pour la récupération des boues?? Quelles sont les filières adaptées à ce type de déchets ??