

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>	10
1.2.2	<i>Pompes des boues avant valorisation.....</i>	11
1.2.3	<i>Ensemencement des lagunes avec des boues activées</i>	11
1.3	COMMENTAIRES.....	12
1.3.1	<i>Risques liés à l'eau d'appoint</i>	12
1.3.2	<i>Risques liés à la présence de la lagune.....</i>	12
1.3.2.1	<i>Risque de génération d'aérosols</i>	14
1.3.2.2	<i>Risque lié à la modification d'un écosystème.....</i>	14
2	RISQUES LIÉS À LA CONCEPTION DE L'INSTALLATION.....	15
2.1	RISQUE DE PROLIFÉRATION	15
2.1.1	<i>Hydraulique.....</i>	15
2.1.2	<i>Matériaux</i>	15
2.1.3	<i>Facilité pour le nettoyage mécanique des échangeurs.....</i>	15
2.1.4	<i>Localisation des appoints et des purges de déconcentration</i>	15
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>	18
4.2.2	<i>Biocides non oxydants.....</i>	18
4.3	COMMENTAIRES.....	18
4.3.1	<i>Traitement préventif.....</i>	18
4.3.2	<i>Traitement curatif.....</i>	19

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 PERSPECTIVE 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	ÉLIMINATION 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 oeuvre. Toute dérive de ces seuils critiques par rapport aux conditions normales, devrait entraîner la mise en oeuvre 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 oeuvre, 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 bêche 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.

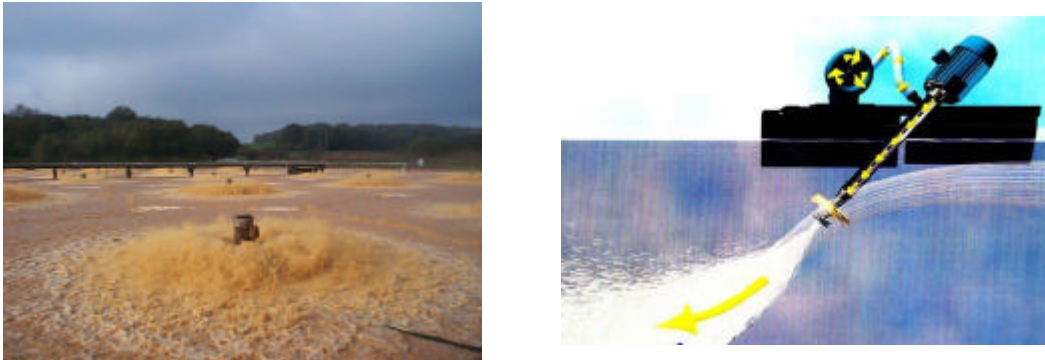


Figure 1: Aérateur de surface (turbine rapide Aquafen) et aérateur de fond (Triton) (photos constructeur)

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 ensemercer la lagune de la société NOROXO (Figure 2).

PERIODE	QUANTITE (tonnes)
nov-02	16
mars-03	31,62
mai-03	28,64
juil-03	15
oct-03	26,92
nov-03	30,84
déc-03	82,66
janv-04	141,04

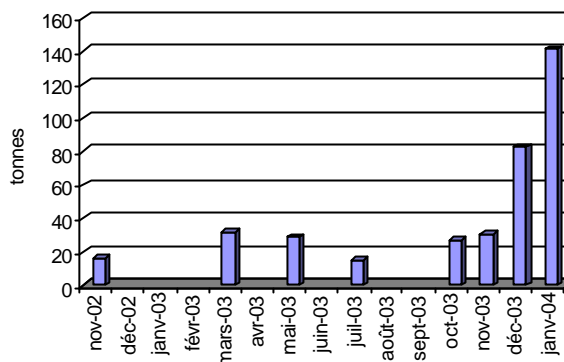


Figure 2 : Quantités de réensemencement en boues chez Noroxo

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 généreraient 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 $5,4 \cdot 10^3$ 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

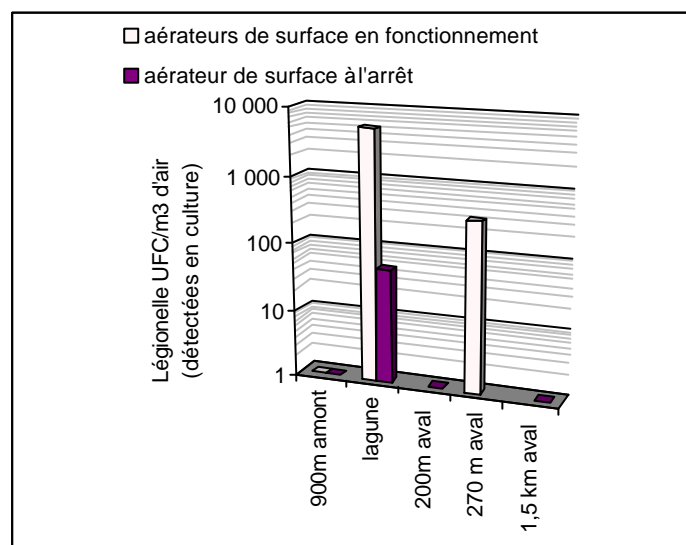


Figure 3 : Influence des aérateurs de surfaces sur la concentration en Légionelles dans l'air (méthode de culture)

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 (préfèrent 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 entraîné 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 LIÉS À 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 (I-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 planctoniques*³⁰ »,

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			
								68% (0,5 log)	90 % (1log)	99 % (2 log)	99,9 % (3 log)
	°F		°C	mg/l	µs/cm	mg/l	heures				
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 bêche eau chaude. Cette bêche 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 bêche 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 .

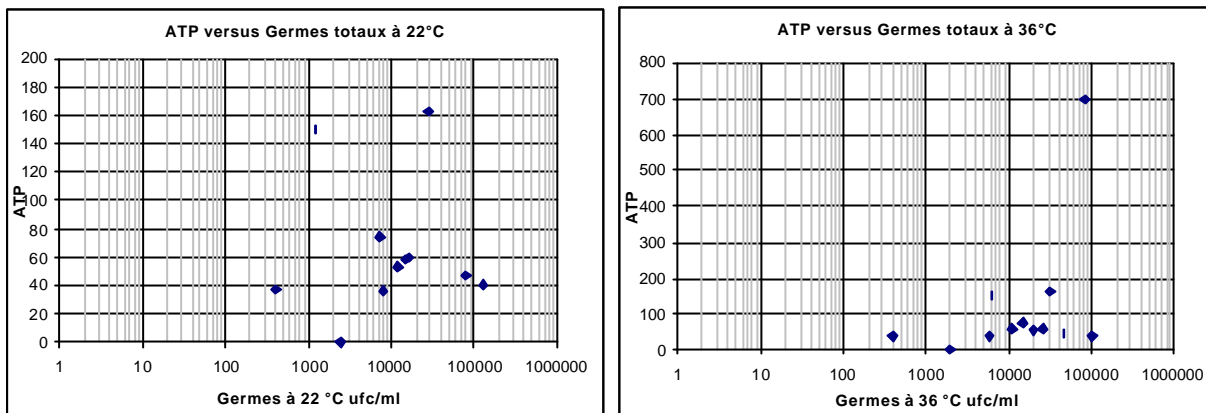


Figure 4 : Corrélation entre l'ATP et la concentration en germes totaux à 22 et 36°C

Date	G22 ufc/ml	G36 ufc/ml	Legionella sp ufc/l	L.pneumophila 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 biocides 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'ENTARTRAGE

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-halogénéation. 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	Élément	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)

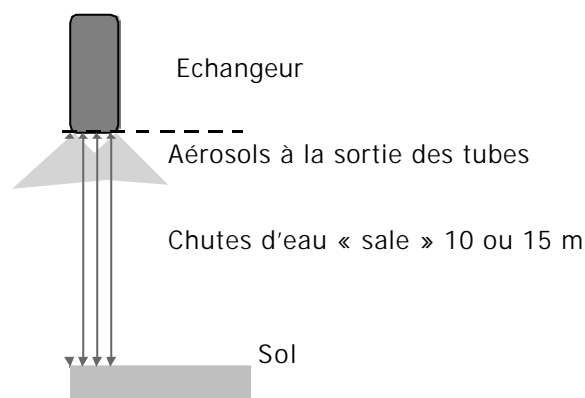


Figure 5 : Schématisation de la configuration des éléments pendant les opérations de nettoyage

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 du 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 pas eu de nettoyage complet sur l'ensemble des surfaces en contact avec l'eau. En effet les conditions de mises en oeuvre 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 relarguages 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 oeuvre 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 oeuvre 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'installations 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). "Nosocomial 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 Hartmannelid 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).

Winięcka-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)
	Copie	M.C. Dupuis (MEDD) T. Trouvé (MEDD) P.F. Chevet (DRIRE NPdC)

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 biodispersant 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 sont site favorises 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 ??