

Risques sanitaires liés aux proliférations de *Legionella* dans l'eau

Évaluation des risques sanitaires liés aux proliférations de *Legionella* dans l'eau des tours aéroréfrigérantes des centres nucléaires de production électrique d'EDF

Deuxième phase d'analyse : évaluation de la pertinence des traitements pour maîtriser les niveaux de *Legionella* spp et l'impact environnemental de ces traitements

- **Avis de l'Afsset**
- **Rapport du groupe d'experts**



agence française de **sécurité sanitaire**
de l'environnement et du travail

Octobre 2007



La Direction Générale

Maisons-Alfort, le 10 octobre 2007

AVIS

de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail

Relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés aux proliférations de *Legionella* dans l'eau des tours aéroréfrigérantes des centres nucléaires de production électrique d'EDF

Saisine Afsset n° 2004/015

Deuxième phase de l'analyse : Évaluation de la pertinence des traitements pour maîtriser les niveaux de *Legionella* spp et de l'impact sanitaire et environnemental de ces traitements

L'Afsset a été saisie le 15 novembre 2004 par les ministères en charge de la santé et de l'environnement ainsi que par l'Autorité de sûreté nucléaire d'une demande d'évaluation des risques sanitaires liés aux proliférations de *Legionella* dans les tours aéroréfrigérantes (TAR) des centres nucléaires de production électrique (CNPE) d'EDF. L'Agence a été plus particulièrement sollicitée afin d'évaluer :

- les niveaux d'intervention et les mesures de prévention mis en œuvre par EDF. L'évaluation s'est appuyée sur un dossier de démonstration fourni à l'Agence par EDF ;
- les mesures de surveillance des risques sanitaires et environnementaux mises en œuvre par EDF afin de maîtriser les niveaux de *Legionella* spp dans l'air autour de ses installations ;
- la pertinence et l'efficacité des traitements pour maîtriser les niveaux de *Legionella* spp et l'impact sanitaire et environnemental de ces traitements.

Pour répondre à ces objectifs l'Agence a reçu d'EDF un dossier de démonstration.

L'Afsset ayant pour mission de contribuer à assurer la sécurité sanitaire dans le domaine de l'environnement et du travail, notamment en mobilisant l'expertise nécessaire à l'évaluation de risques, ces travaux d'évaluation de risques ont été instruits en conformité avec la norme NF X 50-110 «Qualité en expertise - Prescriptions générales de compétence pour une expertise (mai 2003)».

Un groupe de travail (GT) ad hoc «*Legionella* - CNPE» a été constitué pour la réalisation des travaux d'expertise. Il a été rattaché au Comité d'Experts Spécialisés (CES) «Evaluation des risques liés aux milieux aériens» afin d'instruire les travaux concernant les aspects

1/5

scientifiques et techniques du dossier de démonstration d'EDF sur la dispersion atmosphérique du panache des TAR CNPE et les niveaux d'intervention.

Sur la base des travaux et des conclusions de cette expertise collective, l'Afsset a émis un avis relatif à l'évaluation des niveaux d'intervention et les mesures de prévention visant à limiter le risque sanitaire lié à la présence de *Legionella* dans les panaches, qui a été rendu public en juin 2006.

La pertinence des traitements préconisés par EDF pour réduire les niveaux de *Legionella* spp et l'impact sanitaire et environnemental de ces traitements ont été évalués par le GT rattaché à cet effet au CES «Risques liés aux eaux et aux agents biologiques» (CES Eaux et Agents biologiques).

Les travaux d'expertise se sont déroulés entre mai 2006 et juin 2007. Au cours de cette période, le groupe de travail s'est réuni à 14 reprises afin d'expertiser l'ensemble des documents transmis par EDF ainsi que les informations recueillies lors des auditions d'EDF et de plusieurs experts scientifiques ou institutionnels.

Le rapport produit par le groupe de travail a été adopté par le CES «Eaux et Agents biologiques» lors de sa séance du 1^{er} octobre 2007. Il tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Le CES a fait part de cette adoption à la Direction Générale de l'Agence le 2 octobre 2007.

Sur la base de ces travaux d'expertise, l'Agence émet l'avis suivant :

Contexte :

L'une des actions prioritaires (action 1) du Plan National Santé Environnement (PNSE) 2004-2008, vise le renforcement de la prévention des légionelloses avec un objectif de réduction de 50% du nombre de cas annuels d'ici 2008. Les tours aéroréfrigérantes constituent des sources connues d'exposition éventuelle des populations.

EDF exploite 19 centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) dont 11 sont, de par leur conception, équipés de tours aéroréfrigérantes d'une hauteur variant de 28 m (CNPE de Chinon) à 178 m (CNPE de Civaux) avec des diamètres variant de 80 à 88 m. Les circuits de refroidissement de ces tours aéroréfrigérantes sont alimentés par l'eau brute de rivières situées à proximité des CNPE. L'eau étant le réservoir naturel des *Legionella*, il est nécessaire de mettre en œuvre des moyens pour limiter leur prolifération dans les installations.

Il convient de maintenir la concentration en *Legionella* en-dessous d'un seuil critique. Le dépassement de ce seuil doit conduire le responsable de l'installation à mettre en œuvre des actions spécifiques afin de ramener la concentration en *Legionella* en-dessous de ce seuil le plus rapidement possible.

Le seuil critique actuellement recommandé dans les TAR CNPE par l'Autorité de sûreté nucléaire est de $5 \cdot 10^5$ UFC.L⁻¹ pour les CNPE munies de tours aéroréfrigérantes de 28 m de hauteur et de $5 \cdot 10^6$ UFC.L⁻¹ pour les tours d'une hauteur plus importante. Le seuil critique fixé par la réglementation en vigueur déclenchant une intervention dans les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), est de 10^3 UFC.L⁻¹.

L'Agence, sur la base des travaux d'expertise collective a rendu un premier avis qui soulignait la nécessité d'une mise en cohérence des seuils critiques des tours des CNPE avec les seuils critiques du référentiel réglementaire ICPE.

Elle préconisait la mise en œuvre sans délai de l'ensemble des mesures complémentaires identifiées par les experts. Elle recommandait notamment, l'examen approfondi par EDF des possibilités d'un traitement de l'eau en amont des installations afin de réduire le risque *Legionella* sur les sites de CNPE présentant la plus grande vulnérabilité.

Conclusions et recommandations relatives à la deuxième partie de la saisine :

Considérant notamment :

- les objectifs du PNSE visant à réduire de 50% d'ici 2008 le nombre de cas annuels de légionelloses ;
- l'avis de l'Afsset en juin 2006 relatif aux seuils d'intervention visant notamment l'application à terme des seuils d'intervention du référentiel réglementaire ICPE ;
- les conclusions et recommandations de l'expertise collective conduite sous tutelle du CES «Eaux et Agents biologiques» ;
- la demande de l'ASN adressée à EDF en date du 16 juin 2006, visant en particulier :
 - ... *mesures complémentaires qui pourraient être mises en place afin de renforcer le plan de surveillance, ...et ... le réexamen des logigrammes avec l'objectif de maintenir la concentration en légionelles à un niveau aussi bas que possible...*
 - ... *l'examen des moyens permettant de réduire autant que possible le développement des légionelles dans les circuits de refroidissement ...*
 - ... *l'évaluation des risques de légionellose au travers d'études épidémiologiques adaptées...* en liaison avec les autorités compétentes ;

S'agissant des traitements en vue de la réduction de la prolifération des légionelles présentés par EDF en avril 2006, l'Agence constate que :

- le plan de réduction de la prolifération des légionelles dans les CNPE est principalement basé sur l'utilisation de biocides chlorés et traitements anti-tartre. Ainsi, lorsque la prolifération de légionelles conduit à des concentrations proches de la valeur seuil d'intervention, la seule action corrective réalisée par EDF est la chloration ou la chloramination de l'eau du circuit de la tour aéroréfrigérante ;
- les modalités de mise en œuvre des traitements chlorés (chlore ou monochloramine) permettent de limiter temporairement et ponctuellement l'augmentation des légionelles dans l'eau de ces installations ;
- l'innocuité pour l'homme et pour les écosystèmes des rejets produits lors de la réalisation des traitements chlorés aux concentrations et modalités actuellement utilisées n'a pas été démontrée ;
- le déploiement des traitements chlorés à l'ensemble des circuits des tours aéroréfrigérantes des CNPE placés sur un même bassin versant est à proscrire compte tenu de la faible et variable efficacité des traitements préconisés ainsi que de l'incompatibilité avec les objectifs d'amélioration de la qualité écologique de l'eau des bassins ;

3/5

- l'ensemble des actions décrites dans le plan de gestion 2006 d'EDF se révèle insuffisant pour maintenir la concentration en *Legionella* spp en dessous des seuils jugés comme critiques par les experts (seuils d'intervention ICPE : concentration en *Legionella* spp $\leq 10^3$ UFC.L⁻¹) ;
- l'analyse du risque légionelles dans ces installations comporte des lacunes importantes et ne permet pas de décliner un plan de surveillance, entretien et maintenance adapté ;

L'Agence conclut que le plan de gestion 2006 d'EDF relatif à la réduction du risque légionelles comporte de nombreuses lacunes et **réitère** sa recommandation relative au besoin urgent de trouver des solutions alternatives ou complémentaires aux traitements biocides pratiqués par EDF ;

S'agissant du plan stratégique d'EDF visant une meilleure maîtrise du risque légionelles présenté aux experts en avril 2007 faisant suite à la demande de l'ASN (courrier du 16 juin 2006), l'Agence constate que ce plan comporte des améliorations importantes par rapport au plan de gestion 2006, notamment :

- une analyse de risque plus complète et détaillée pour chaque circuit de refroidissement permettant de décliner un plan de maintenance et entretien des ouvrages plus ciblé et spécifique tel que cela a pu être effectué pour deux CNPE (Cruas et Cattenom) ;
- des études de faisabilité, efficacité et innocuité des traitements non-biocides en vue de compléter ou remplacer l'approche de traitement par les biocides actuellement pratiqués par EDF ;
- le développement des outils d'autocontrôle permettant de suivre la prolifération des légionelles ;

Néanmoins, **l'Agence considère que des efforts supplémentaires** doivent être réalisés, notamment sur les paramètres et leurs seuils déclenchant le renforcement du plan d'échantillonnage ou la mise en place de traitements préventifs ou correctifs. Ainsi, en l'attente des résultats d'études en cours, notamment des études de faisabilité de traitement de l'eau en amont du circuit d'eau de la tour aéroréfrigérante, **l'Agence recommande :**

- de poursuivre l'analyse de risque pour chaque installation afin de cartographier les points critiques et de décliner un plan d'actions adapté et spécifique à leur maîtrise ;
- de renforcer les plans de surveillance, notamment :
 - augmenter la fréquence des mesures analytiques dès que la concentration de légionelles dépasse 10^3 UFC.L⁻¹ afin d'identifier le moment le plus propice à la mise en place des actions correctives ;
 - rendre plus cohérent le suivi analytique des paramètres : analyses physico-chimiques, légionelles et amibes sur des prélèvements simultanés ;
 - améliorer le contrôle de qualité des prélèvements et mesures analytiques ;
- de compléter l'évaluation des solutions complémentaires ou alternatives, notamment en évaluant leur impact sur la qualité de l'eau dans les tours aéroréfrigérantes, leur efficacité et l'impact sanitaire et environnemental des rejets. Ces évaluations devront être réalisées sur un site présentant une concentration en *Legionella* supérieure au seuil de détection et devront tenir compte de l'ajout de toute autre substance chimique ainsi que des éventuels changements de l'écosystème concerné ;

- d'assurer une veille technique pour détecter de manière précoce une éventuelle diminution ou perte de sensibilité des amibes ou légionelles aux agents biocides utilisés ;
- en cas de dépassement des seuils en vigueur pour les CNPE, d'envoyer à l'Afsset dans les plus brefs délais l'ensemble des données disponibles (résultats issus de la surveillance, actions de traitement, d'entretien et maintenance réalisées, ...) afin que les experts puissent effectuer une révision du présent avis.



Docteur Michèle FROMENT-VEDRINE

Directrice Générale de l'AFSSET



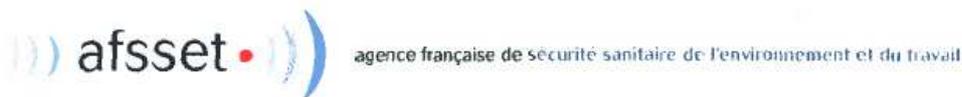
Évaluation des risques sanitaires liés aux proliférations de *Legionella* dans l'eau des tours aéroréfrigérantes des centres nucléaires de production électrique d'EDF.

Deuxième phase d'analyse

Évaluation de la pertinence des traitements pour maîtriser les niveaux de *Legionella* spp et l'impact environnemental de ces traitements

Saisine n°2004/15

Rapport d'expertise collective du groupe de travail Afsset « *Legionella* CNPE »
09 octobre 2007



Maisons-Alfort, le 01/10/2007

CONCLUSIONS DE L'EXPERTISE COLLECTIVE

Relatives à

« L'évaluation des risques sanitaires liés aux proliférations de *Legionella* dans l'eau des tours aéroréfrigérantes des centres nucléaires de production électrique d'EDF »

Saisine Afsset n°« 2004/15 »

Deuxième phase : Evaluation de la pertinence des traitements pour maîtriser les niveaux de *Legionella* spp et l'impact environnemental de ces traitements.

L'Afsset a été saisie le 15 novembre 2004 par la Direction Générale de la Santé (DGS), la Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques (DPPR) et l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) afin de réaliser une expertise collective sur l'évaluation des risques sanitaires liés à la prolifération de *Legionella* dans l'eau des tours aéroréfrigérantes des centres nucléaires de production électrique (TAR CNPE) d'EDF. Ces installations sont soumises à la réglementation des installations nucléaires de base (INB) et aux recommandations de l'ASN.

L'Agence a été sollicitée afin :

- d'évaluer pour le cas particulier des installations d'EDF et sur la base de leur situation actuelle, les niveaux d'intervention à partir desquels des mesures préventives (traitement de désinfection) devraient être appliquées ;

- d'expertiser les éléments relatifs à l'analyse des risques sanitaires et environnementaux fournis par l'exploitant.

La saisine était accompagnée d'une série de documents fournis par EDF incluant notamment :

- une démonstration s'appuyant sur la comparaison des concentrations en *Legionella* spp au sol générées par la dispersion atmosphérique du panache des TAR CNPE et des TAR ICPE, estimées à l'aide d'outils de modélisation,

- des bilans des concentrations en légionelles dans les bassins froids des différentes CNPE,

- d'une étude d'impacts sanitaires et environnementaux d'un traitement généralisé à la monochloramine.

Afin de répondre à la première partie de la saisine dans le cadre de l'expertise collective, un groupe de travail intitulé « *Legionella*-CNPE » a été créé par décision de la directrice générale de l'Afsset en date du 4 février 2005, sous la présidence de Monsieur Bernard

1 / 2

253 Avenue du Général Leclerc – 94701 Maisons-Alfort Cedex – n° siren 180092348
☎ 01 56 29 19 30 – ☎ 01 43 96 37 67 – site : <http://www.afsset.fr> – mél : afsset@afsset.fr

Conclusions de l'expertise collective**Saisine n° 2004/015**

Tribollet. Ce groupe de travail a été rattaché au Comité d'experts spécialisés (CES) « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » lors de son installation le 10 juin 2005.

Un avis de l'Afsset sur la première partie de la saisine a été publié en février 2006 soulignant la nécessité d'une mise en cohérence des niveaux d'intervention applicables aux CNPE avec le référentiel réglementaire ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement).

Afin d'instruire la seconde partie de la saisine, le même groupe de travail, élargi à de nouvelles compétences a été reconstitué à partir de mai 2006. Ce groupe de travail a été rattaché au Comité d'experts spécialisés « Evaluation des risques liés à l'eau et aux agents biologiques » lors de son installation le 4 mai 2007.

Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis régulièrement au CES « Evaluation des risques liés à l'eau et aux agents biologiques ». Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Le CES « Evaluation des risques liés à l'eau et aux agents biologiques » adopte le rapport d'expertise collective lors de sa séance du 01/10/2007 et fait part de cette adoption à la direction générale de l'Afsset.

Le Président du groupe de travail**La Présidente du CES**

2 / 2

Membres du groupe de travail « *Legionella* CNPE » de l'Afsset

Président

M. Bernard Tribollet, directeur de recherche, CNRS-Université Paris 6, membre du CES « Eaux » et « Agents biologiques »

Membres

Mme Florence Ader, médecin spécialisé en infectiologie, CHU Lyon

Mme Andrée Crémieux, Professeur Honoraire, Université d'Aix-Marseille II, Présidente du CES biocides, en retraite

M. Jean Philippe Croué, Professeur, ESIP- Université de Poitiers

M. Didier Hilaire, Expert microbiologiste, Centre d'études du Bouchet DGA, membre du CES « Eaux » et « Agents biologiques »

M. Henri Hoellinger, Directeur de recherche en retraite, INSERM.

M. Philippe Hubert, Directeur des Risques Chroniques, INERIS

M. Frédéric Marcel, Directeur Adjoint des Risques Chroniques, INERIS

M. Patrick Marchandise, Chargé de mission, MEDAD, Conseil Général des Ponts et Chaussées, membre du CES « Eaux » et « Agents biologiques »

Mme Laurence Mathieu, Maître de conférences, EPHE, membre du CES « Eaux » et « Agents biologiques »

Mme Christine Roques, Professeur, Université Paul Sabatier, Vice présidente du CES « Biocides »

M. Pierre Servais, Professeur, Université Libre de Bruxelles

M. Jacques Vendel, responsable du LPMA, IRSN

Membres de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset)

Chef de projet : Paulina Cervantès

Secrétaire scientifique : Carole Catastini

Secrétaire administrative : Sèverine Boix

Audition d'experts scientifiques extérieurs au groupe de travail

Bureau d'étude IRH Environnement-Agence Rhône Alpes

MM. Lionel Mondelin et Jean Louis Roubaty

Institut de veille sanitaire

M. Didier Che

Laboratoire de chimie de l'eau et de l'environnement-Université de Poitiers

Pr. Nicole Merlet et Pr. Bernard Parinet

Ministère de l'écologie et du développement durable

Direction de la prévention des pollutions et des risques

- **Bureau de la nomenclature, des émissions industrielles et de la pollution des eaux** : Mme Françoise Ricordel et M. Prevost

- **Bureau de la pollution des sols et des pollutions radioactives** : Mme Hélène Averous et M. Jean-Luc Perrin

Direction de l'eau

- **Bureau de lutte contre les pollutions domestiques et industrielles** : M.Yvan Aujollet

Autorité de sûreté nucléaire

MM. Fabien Ferron et Jacques Daublanc

Audition d'EDF

M. Cabanes, Service des études médicales

Mme Bourbonnais, Centre d'ingénierie, de déconstruction et d'environnement

Mme Harmand, Délégué de l'Etat-major Environnement à la division Production nucléaire

Mme Pain, Directeur délégué Environnement

M Pérard, Chef de projet Impacts sanitaires microbiologiques

Mme Pringuez, Centre d'ingénierie, de déconstruction et d'environnement

Mme Stutzmann, Centre d'ingénierie, de déconstruction et d'environnement

M. Tousset, Service Recherche et développement

SOMMAIRE

ABRÉVIATIONS	8
LISTE DES TABLEAUX	10
GLOSSAIRE	11
PREFACE	12
CHAPITRE I - EXPERTISE DES TRAITEMENTS MIS EN PLACE PAR EDF POUR LUTTER CONTRE LES LEGIONELLES ET L'ENTARTRAGE	15
I-1-TRAITEMENTS BIOCIDES	16
I-1-1-TRAITEMENTS BIOCIDES APPLIQUÉS DANS LES INSTALLATIONS D'EDF	16
I-1-1-1 <i>Activités et efficacité des traitements biocides</i>	16
I-1-1-3 <i>État des connaissances sur l'activité des biocides vis-à-vis des légionelles</i>	17
I-1-1-4 <i>Commentaires des experts</i>	17
I-1-2 SURVEILLANCE DES INSTALLATIONS- ANALYSE DES DONNÉES FOURNIES.....	18
I-1-2-1 – <i>Plan de surveillance</i>	18
I-1-2-2 – <i>Stratégie d'analyses et d'échantillonnage dans le cadre du plan de surveillance</i>	20
I-1-2-3 – <i>Suivi de la concentration en légionelles : méthodes analytiques</i>	21
I-1-3- EFFICACITÉ DES TRAITEMENTS BIOCIDES APPLIQUÉS PAR EDF	22
I-2-TRAITEMENTS ANTITARTRE	26
I-2-1 NIVEAU D'ENTARTRAGE DES CNPE.....	26
I-2-2-CARACTÉRISTIQUES DES TRAITEMENTS	28
I-2-2-1 <i>Caractéristiques des traitements réalisés lors du fonctionnement des tranches</i>	28
Injection d'acide à faible dose	28
Antitartres organiques	29
Injection de CO ₂ à faible dose	29
I-2-2-2 <i>Caractéristiques des traitements réalisés lors de l'arrêt de la tranche</i>	30
Lessivage acide	30
Lessivage au CO ₂	30
I-2-2-3 <i>Etats des lieux des traitements</i>	31
I-3 – CONCLUSIONS SUR LES TRAITEMENTS APPLIQUÉS PAR EDF	34
CHAPITRE II -IMPACTS SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTAUX DES TRAITEMENTS UTILISÉS PAR EDF	37
II-1-COMMENTAIRES DES EXPERTS SUR L'ÉVALUATION DE L'IMPACT SANITAIRE FOURNI PAR EDF	39
II-1-1-CONCERNANT LA CARACTÉRISATION DES DANGERS.....	39
II-1-2-CONCERNANT LA POPULATION	40
II-1-3-CONCERNANT LES HYPOTHÈSES D'EXPOSITION ET LES CHOIX DES VTR.....	41
II-2 COMMENTAIRES DES EXPERTS SUR L'ÉVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL FOURNI PAR EDF	42
II-2-1-CONCERNANT L'ANALYSE DES DONNÉES COLLECTÉES PAR EDF.....	42
II-2-2-CONCERNANT LE CHOIX DES SUBSTANCES	43
II-2-3-CONCERNANT LES CALCULS ET LES PARAMÈTRES PRIS EN COMPTE	44
II-3-CONCERNANT L'ANALYSE DÉTAILLÉE SUBSTANCE PAR SUBSTANCE DE L'IMPACT SANITAIRE ET ENVIRONNEMENTAL FAITE PAR EDF	45
II-3-1-LA MONOCHLORAMINE.....	45
II-3-2- COMPOSÉS AZOTÉS	45
Ammoniac	45
Nitrates	46

Nitrites	47
II-3-2-LES AUTRES SUBSTANCES.....	47
MES	47
AOX	48
THM	48
Chlorure, sodium.....	49
CRT.....	49
Nitrosamines.....	49
II-4-CONCLUSIONS CONCERNANT LES IMPACTS SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTAUX	50
CHAPITRE III - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	52
ANNEXES.....	56
ANNEXE 1.....	57
ANNEXE 2.....	59
ANNEXE 3.....	62
ANNEXE 4.....	66
ANNEXE 5.....	66
REFERENCES.....	75
TEXTES OFFICIELS	75
RAPPORTS	76
BIBLIOGRAPHIE.....	76
RÉFÉRENCES DES DOCUMENTS EDF.....	78

Abréviations

°F: degré français

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienist

AELB : Agence de l'eau Loire-Bretagne

Afsset : Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail

AOX : composés organohalogénés absorbables sur charbon actif

ASN : Autorité de sûreté nucléaire

ATO : antitartre organique

CES : comité d'experts spécialisés

CES-milieux air : Comité d'experts spécialisés « Évaluation des risques liés aux milieux aériens »

CIRC : centre international de recherché sur le cancer

CNPE : Centre nucléaire de production électrique

CNRS : Centre national de la recherche scientifique

COD : carbone organique dissous

COT : carbone organique total

CRT : chlore résiduel total

DCO : demande chimique en oxygène

DDASS : direction départementale des affaires sanitaires et sociales

DGA : direction générale de l'armement

DGS : direction générale de la santé

DJA : dose journalière admissible

DPPR : direction de la prévention des pollutions et des risques

DMA : demande de modification d'arrêté

DPPR : direction de la protection des pollutions et des risques

EDF : Electricité de France

EPA : Environment Protection Agency (Agence de protection de l'environnement des Etats-Unis)

EPHE : École pratique des hautes études

EQRS : évaluation quantitative des risques sanitaires

ERI : excès de risque individuel

ERU : excès de risque unitaire

GT : groupe de travail

HACCP : Hazard Analysis Critical Control Point

ICPE : Installation classée pour la protection de l'environnement

INB : Installation nucléaire de base

INCHEM : Chemical Safety Information from Intergovernmental Organisation

INERIS : Institut national de l'environnement industriel et des risques

InVS : Institut de veille sanitaire

IPCS : International Programme on Chemical Safety

Ir: indice de Ryznar

IRIS: Integrated Risk Information System

IRSN : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire

LPMA : Laboratoire de physique et métrologie des aérosols

MES : matière en suspension

MO : matière organique

NDMA : n-nitrosodiméthylamine

OMS : organisation mondiale de la santé

OEHHA : Office de l'environnement et du danger pour la santé de Californie

PCR : Polymerase Chain Reaction

PHG : Public Health Goal

PEC: concentration d'une substance dans un cours d'eau lors de l'étiage

PNEC: concentration prédite sans effet

RIVM : Institut néerlandais de la santé publique et de l'environnement

SDAGE : schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux

SEQ-Eaux : systèmes d'évaluation de la qualité des eaux

Spp : species (toutes espèces de *Legionella* confondues)

TAC : titre alcalimétrique complet

TAR : tours aéroréfrigérantes

TAR CNPE : tours aéroréfrigérantes des centres nucléaires de production électrique

TAR ICPE : Tours aéroréfrigérantes d'installation classée pour la protection de l'environnement

THM : trihalométhanes

UFC : unité formant colonie

US EPA : United States Environmental Protection Agency

VTR : valeur toxicologique de référence

Liste des tableaux

Tableau 1 : Fréquence des analyses en <i>Legionella</i> spp demandées en fonction des niveaux de concentrations	19
Tableau 2 : Limitations et contraintes de chaque traitement antitartre mis en œuvre par EDF [10]	31
Tableau 3 : Etats des lieux des traitements antitartre mis en œuvre par EDF sur les CNPE en 2004-2005 [12]	32
Tableau 4 : Etats des lieux des traitements antitartre mis en œuvre par EDF sur les CNPE en 2006 [11]	33
Tableau 5 : concentrations de référence pour différentes substances.....	44
Tableau 6 : Qualité de l'eau requise pour l'élevage des salmonidés (Morin, 2006)	46
Tableau 7 : relation entre l'indice de Ryznar et la tendance incrustante ou corrosive de l'eau	67

Liste des figures

Figure 1 : Répartition (%) des concentrations en légionelles pour les CNPE ne traitant pas à la monochloramine [6]	19
Figure 2 : Concentrations en légionelles dans l'eau des circuits de refroidissement du CNPE de Chinon (ex. des tranches 3 et 2) traitant à la monochloramine.....	24
Figure 3: Concentrations en amibes <i>Naegleria fowleri</i> dans l'eau des circuits de refroidissement du CNPE de Dampierre (tranche 1) en 2005 traitant à la monochloramine.....	25
Figure 4 : Concentration en légionelles dans l'eau des circuits de refroidissement du CNPE de Dampierre (tranche 1) en 2005 traitant à la monochloramine	25
Figure 5 Dynamique de formation et d'organisation et de persistance du biofilm.....	57
Figure 6 : Les différents phénotypes au cours de la multiplication bactérienne de <i>Legionella pneumophila</i>	58

Glossaire

Appoint : quantité d'eau qui rentre dans le circuit de pulvérisation (ou le circuit de refroidissement) pour compenser celle perdue par évaporation, par les entraînements vésiculaires et les purges de déconcentration.

Bassin de vie : territoire présentant une cohérence géographique, sociale, culturelle et économique, exprimant des besoins homogènes en matière d'activités et de services.

Biofilm : dépôt composé de microorganismes, polymères et sels minéraux se formant à la surface de matériau au contact de l'eau.

Chlore résiduel libre (CRL) : le CRL comprend le chlore gazeux, l'acide hypochloreux et les ions hypochlorites.

Chlore résiduel total (CRT) : le CRT est égal au chlore résiduel libre (CRL) auquel est ajouté les chloramines organiques et minérales.

Degré français : un degré français correspond à la dureté d'une solution contenant 10 mg.L⁻¹ de CaCO₃. Un degré français équivaut à 4 mg de calcium par litre et à 2,4 mg de magnésium par litre.

Dose active d'un biocide : dose permettant de répondre à l'objectif que l'on s'est fixé.

Eaux cyprinicoles : eaux dans lesquelles vivent ou pourraient vivre les poissons appartenant aux cyprinidés (carpe) ou d'autres espèces telles que les brochets, perches et anguilles.

Eaux salmonicoles : eaux dans lesquelles vivent ou pourraient vivre les poissons appartenant à des espèces telles que les saumons, truites, ombres ou corégones.

Entraînement vésiculaire : émissions d'une installation de refroidissement par voie humide, constituées de fines particules d'eau (ou **aérosols**) entraînées dans l'atmosphère à la sortie de la tour aéroréfrigérante (TAR). Ces gouttelettes ont la même composition que l'eau du circuit de la tour.

Facteur de concentration : rapport entre la quantité de sels dissous dans l'eau de circulation de la tour et dans l'eau d'appoint. Celui-ci dépend de la qualité de l'eau d'appoint et de celle admise par l'eau en circulation en fonction des matériaux utilisés sur les tours. Ce facteur de concentration est compris entre 2 et 4.

Packing ou corps d'échange : dispositif à travers lequel s'effectue le transfert thermique entre l'eau et l'air dans le cas de tours ouvertes c'est-à-dire qui ne sont pas du type à "circuit primaire fermé".

Panache : air saturé en vapeur d'eau provenant de la quantité évaporée pour assurer le refroidissement du fluide qui crée un nuage visible à la sortie des tours de refroidissement.

Soutien d'étiage : action ayant pour but d'augmenter le débit d'un cours d'eau en période d'étiage à partir d'un ouvrage hydraulique (barrage réservoir ou transfert par gravité ou par pompage).

PREFACE

La Direction générale de la santé (DGS), la Direction de la prévention des pollutions et des risques (DPPR) et l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), en date du 15 novembre 2004, ont saisi l'agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFSSET) afin de réaliser une expertise collective sur l'évaluation des risques sanitaires liés à la prolifération de *Legionella* dans l'eau des tours aéroréfrigérantes des centres nucléaires de production électrique (TAR CNPE) d'EDF. Cette demande se décline en deux parties bien distinctes :

- évaluer, pour le cas particulier de ces installations et sur la base de leur situation actuelle, des niveaux d'intervention à partir desquels des mesures préventives (traitement de désinfection) devraient être appliquées, en particulier en tenant compte de l'influence qu'exercent des facteurs tels que :
 - les concentrations de *Legionella* dans les circuits de refroidissement
 - la hauteur des tours
 - les technologies de surveillance
 - les caractéristiques des implantations vis-à-vis des populations exposées, notamment prenant en compte la densité de la population autour des TAR CNPE et les caractéristiques climatologiques ;
- expertiser les éléments relatifs à l'analyse des risques sanitaires et environnementaux fournis ou à fournir par l'exploitant, ainsi que les résultats des études pertinentes, dont certaines restent encore à produire ou à finaliser.

Afin de répondre à la première partie de cette saisine dans le cadre de l'expertise collective, un groupe de travail intitulé « *Legionella-CNPE* », a été créé par décision de la directrice générale de l'Afsset et installé en février 2005, sous la présidence de Monsieur Bernard Tribollet.

Un avis de l'Afsset sur la première partie de la saisine a été publié en juin 2006 soulignant la nécessité d'une mise en cohérence des niveaux d'intervention applicables aux CNPE avec le référentiel ICPE.

Afin d'instruire la seconde partie de la saisine, le même groupe de travail, élargi à de nouvelles compétences a été reconstitué à partir de mai 2006. Ce groupe de travail a été rattaché au Comité d'experts spécialisés « Eaux » et « Agents biologiques » lors de son installation le 4 mai 2007.

Le présent rapport concerne l'analyse des traitements de lutte contre la prolifération des *Legionella*, utilisés ou envisagés par EDF, dans les circuits de refroidissement d'eau et de leurs éventuels impacts sanitaires et environnementaux. Il se rapporte aux résultats fournis par EDF sur la période 2004-2006, et a été établi sur la base des données transmises par EDF jusqu'au 13 novembre 2006. D'autre part, les experts ont auditionné des représentants de l'exploitant à chaque séance de travail entre juillet et décembre 2006 et ont sollicité des compléments d'informations.

La visite d'un site CNPE en novembre 2006 a permis aux experts de mieux appréhender les procédures et interpréter les données et les conclusions d'EDF.

De plus, en février 2007, EDF a transmis aux experts un document présentant un nouveau plan stratégique pour la prévention des risques liés à la présence de *Legionella* dans les

circuits de refroidissement des TAR CNPE. Ce document décrit une série d'actions suggérées par les experts au cours des différentes auditions et également des demandes de l'ASN.

Le nouveau plan mis en œuvre par EDF pour réduire le risque légionelles a été présenté aux experts lors d'une audition le 26 avril 2007.

Le groupe d'experts s'est réuni en séance plénière 14 fois entre mai 2006 et juillet 2007. Il a procédé à l'analyse critique de l'ensemble des documents transmis par l'exploitant ainsi que des informations recueillies lors des auditions de plusieurs experts scientifiques, institutionnels et industriels.

Les différentes questions identifiées par les experts ont été soumises et discutées lors de séance plénière du groupe de travail « *Legionella*-CNPE ». Chaque membre a été sollicité sur son domaine de compétence et a participé à la rédaction des parties du rapport s'y rapportant. Toutes les contributions, internes ou externes au groupe, ont été présentées en séance plénière puis validées par les membres du groupe de travail.

Les travaux du groupe d'expertise ont été rapportés oralement devant le CES « Eau et Agents biologiques » par Bernard Tribollet, président du groupe de travail ainsi que par un représentant de chaque sous-groupe de travail, et y ont été débattus lors de ses séances du 4 mai 2007 ainsi que du 3 juillet 2007.

Cette méthode a permis d'assurer la pluralité des points de vue et d'identifier les points nécessitant un examen plus approfondi.

Contexte de l'expertise

EDF exploite 19 CNPE, dont 11 sont concernés par le programme de surveillance des légionelles, conformément aux prescriptions émanant de l'ASN [1].

De par leur conception, les 11 CNPE d'EDF équipés de grandes tours aéroréfrigérantes possèdent des circuits de refroidissement alimentés par des eaux de surface de qualité variable selon les sites où la bactérie *Legionella* est d'ores et déjà présente, parfois à des niveaux de concentration élevés sur certains sites (ou certaines tranches d'un même site). Le choix d'EDF d'utiliser l'eau brute des rivières à proximité des CNPE comme eau de refroidissement est le facteur-clé de la problématique légionelles d'EDF.

En effet, l'eau est le réservoir naturel des légionelles, ce qui rend leur présence inéluctable dans les écosystèmes aquatiques d'eau douce. De plus, leur prolifération est multifactorielle avec notamment, outre les amibes et les biofilms, la température, la teneur des eaux en matières organiques (les caractéristiques comportementales de *Legionella spp.* sont résumées en Annexe 1). De ce fait, la prévention et la gestion des risques sanitaires et environnementaux inhérents à des installations d'eau douce à grande échelle doivent inclure la prise en compte du risque légionelles.

Dans l'état actuel des connaissances, et faute de connaître les doses infectantes susceptibles d'induire des états pathologiques chez l'homme, l'évaluation des risques liés à la dispersion des légionelles à partir d'un foyer contaminé identifié repose sur le suivi microbiologique de ce foyer.

Actuellement la réglementation fixe « le maintien en permanence de la concentration en légionelles (*Legionella spp.* dont *L. pneumophila*) dans l'eau du circuit des installations de refroidissement par aspersion d'eau dans un flux d'air à un niveau inférieur à 1000 UFC.L⁻¹

d'eau » (arrêté du 13/12/04) dans les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

Le maintien des concentrations en légionelles dans les circuits de refroidissement en dessous de ces objectifs suppose la mise en œuvre :

- d'un protocole de maintenance et d'entretien des réservoirs et réseaux,
- d'un plan de surveillance et de suivi des installations,
- de logigrammes codifiant la conduite à tenir en cas de non conformité au respect des procédures établies ou selon les résultats des contrôles effectués.

Les actions ponctuelles ou permanentes correspondantes incluent par exemple, le prétraitement des eaux de surface alimentant les installations, le détartrage, les traitements biocides.

Ces opérations d'entretien et de maintenance des installations (ex. : nettoyage et détartrage) peuvent n'avoir aucun effet antimicrobien direct sur les légionelles mais peuvent contribuer à réduire significativement leur nombre en déstructurant les biofilms et les niches au niveau desquelles elles trouvent des conditions idéales de multiplication. Dès que les dénombrements des légionelles s'approchent du seuil critique (10^3 UFC.L⁻¹), et *a fortiori* s'ils le dépassent, le recours aux traitements biocides devient inévitable, mais il peut être insuffisant s'il n'est pas associé à des mesures non spécifiques (nettoyage, détartrage) visant à déstabiliser les foyers de multiplication active. Par ailleurs, la récurrence de valeurs proches du seuil critique doit entraîner une analyse du réseau, afin de définir les facteurs potentiels impliqués dans la prolifération des légionelles lors de ces événements et de mettre en place des actions correctives. L'objectif est alors clairement de revenir en continu à des valeurs inférieures au seuil critique de 10^3 UFC.L⁻¹ dans l'eau des circuits de refroidissement.

L'objectif assigné dans les conclusions et recommandations du premier avis de l'AFSSET publié en juin 2006 sur la diffusion de *Legionella* par les panaches et la pertinence de plans de surveillance mis en place par EDF est de retenir la valeur limite de 1000 UFC.L⁻¹ comme objectif à atteindre à terme pour les tours aéroréfrigérantes des CNPE alors qu'actuellement les seuils d'intervention fixés provisoirement par l'ASN (courrier en date du 28 janvier 2005 de l'ASN à EDF) sont de $5 \cdot 10^6$ UFC.L⁻¹ pour toutes les centrales munies de grandes tours et $5 \cdot 10^5$ UFC.L⁻¹ pour la centrale de Chinon. Afin de respecter ces seuils provisoires, EDF préconise des traitements biocides et antitartre et ont effectué des études d'impacts et environnementaux des traitements envisagés par EDF sur l'ensemble des CNPE existants sur le bassin de la Loire.

Ce rapport présente les principaux éléments d'analyse qui ont permis aux experts d'émettre leurs conclusions et recommandations sur d'une part l'efficacité des traitements mis en œuvre et d'autre part sur leurs impacts sanitaires et environnementaux. Afin de faciliter la lecture du rapport, il est à noter que les références numérotées se rapportent à des documents fournis par EDF tandis que les références notées d'une lettre (par exemple ref.a) se rapportent à des rapports scientifiques. Les articles issus de revues scientifiques sont référencés par le nom du premier auteur et de l'année.

Chapitre I -
***EXPERTISE DES TRAITEMENTS MIS EN
PLACE PAR EDF POUR LUTTER CONTRE
LES LEGIONELLES ET L'ENTARTRAGE***

I-1-Traitements biocides

I-1-1-Traitements biocides appliqués dans les installations d'EDF

Les choix d'EDF se sont portés sur des oxydants chlorés, dont les applications sont réalisées sur 6 des 11 sites sous forme :

- soit de « chocs » chlorés mis en œuvre de manière régulière dans les installations de Chinon (de 2004, 52 chocs « chlore », à 2005, 26 chocs « chlore ») et Dampierre (tranches 1 et 3, année 2005,) [3],
- soit de traitement continu à la monochloramine sur les sites de Chooz, Dampierre et Golfech depuis 1999, de Nogent depuis 2001, de Bugey depuis 2005 et de Chinon depuis 2006,
- soit de traitement séquentiel à la monochloramine sur le site de Bugey (tranche 5.1) mis en place de juin à septembre 2005 à titre expérimental.

Le traitement par chocs chlorés consiste à injecter une forte concentration d'hypochlorite de sodium dans le bassin froid des aéroréfrigérants des tranches en fonctionnement et le traitement à la monochloramine repose sur l'injection continue de l'oxydant dans le circuit de refroidissement à l'amont du condenseur. La monochloramine est produite *in situ*.

Des prélèvements d'eau sont réalisés au niveau du bassin froid de l'aéroréfrigérant afin de déterminer la concentration en légionelles dans le circuit et les analyses sont réalisées par des laboratoires accrédités.

I-1-1-1 Activités et efficacité des traitements biocides

Au vu des données fournies par EDF sur la concentration en légionelles dans les TAR CNPE, les traitements antimicrobiens ponctuels ou continus apparaissent nécessaires, particulièrement en période estivale.

L'efficacité de ces traitements est dépendante de la dose de biocide et des caractéristiques de l'installation (qualité de l'eau, temps de résidence, etc), d'où le besoin d'une évaluation intrinsèque des traitements anti-légionelles qui tiennent compte des paramètres de chaque site répondant à un objectif prédéfini.

L'évaluation d'un traitement doit donc prendre en compte :

- l'activité antimicrobienne du biocide, évaluée en laboratoire selon des conditions standardisées ;
- l'efficacité antimicrobienne dans des conditions représentatives de celles de la pratique (sur pilote ou sur site) ;
- la nature et le niveau des rejets attendus afin de définir la balance bénéfices/risques.

L'activité antimicrobienne d'un biocide est définie par sa faculté à produire un effet. Elle prend en compte le spectre d'action (qui regroupe toutes les espèces sensibles à son action) et le mode d'action qui peut être une action réversible (ex. inhibition de croissance) ou irréversible (effet létal). Des méthodes spécifiques d'essai doivent être appliquées pour caractériser ce mode d'action. L'activité bactéricide des biocides peut être déterminée par des essais standardisés (ex. NF EN 1040). Ces méthodes permettent d'effectuer des comparaisons d'activité entre plusieurs biocides et de définir les paramètres qui conditionnent leur action (température, pH, etc.). Un projet de norme européenne (pr EN 13623) destiné à évaluer l'activité bactéricide des désinfectants vis-à-vis des légionelles est en cours d'élaboration. Ainsi, les dénombrements de légionelles sur site tels que pratiqués

par EDF ne peuvent pas être considérés comme une méthode d'évaluation de l'activité des biocides utilisés.

L'efficacité du traitement biocide est définie par sa faculté à produire l'effet attendu, satisfaisant à un objectif assigné (taux de réduction ou seuil critique). Elle peut être évaluée globalement en comparant les dénombrements dans les eaux avant et après traitement de l'installation, en tenant compte de tous les paramètres intervenant dans le système (cinétique d'action du biocide, taux de croissance des légionelles, flux hydrauliques, etc.). Cela implique, pour chaque installation, des études préliminaires comportant :

- le suivi de l'évolution des populations microbiennes visées et non visées par le traitement ;
- la définition des points de prélèvement stratégiques (points à risque) ;
- la fiabilité des méthodes analytiques de dénombrement des légionelles puisque sur elles reposent le respect des seuils de contamination réglementaires et l'évaluation de l'efficacité des traitements biocides.

La détermination de la nature et du nombre de légionelles présentes dans les foyers contaminés et/ou dans les rejets des installations est donc cruciale pour la gestion des risques.

I-1-1-3 État des connaissances sur l'activité des biocides vis-à-vis des légionelles

L'annexe 2 présente une revue de la littérature effectuée par les experts sur l'évaluation des biocides vis-à-vis des légionelles. Il ressort de cette revue, que les oxydants et notamment les produits chlorés ont largement été évalués et utilisés dans le cadre de la maîtrise du risque légionelles.

Les biocides oxydants ont un large spectre d'action, couvrant notamment les légionelles et les amibes. Cependant l'étude bibliographique ne démontre en aucune façon une supériorité manifeste d'un traitement à la monochloramine sur les légionelles par rapport à un traitement chloré. En effet, les différentes études répertoriées portent généralement sur des comparaisons de procédés et non de produits ; les conditions d'essai sont très disparates ce qui rend alors difficile une extrapolation à de nouvelles données de terrain.

D'autre part, il apparaît que l'efficacité vis-à-vis des amibes est obtenue à des doses de monochloramine supérieures à celles nécessaires pour observer un effet létal sur les légionelles et que des différences sont observées selon les espèces d'amibes testées.

I-1-1-4 Commentaires des experts

Les experts attirent l'attention de l'Agence sur le fait que la monochloramine n'est pas un biocide soumis à notification dans le cadre de la directive biocide, du fait de sa production *in situ* (directive 98/8/CE). Elle fait cependant l'objet d'un projet de « position » de la Commission européenne suite à une discussion entre États membres au sujet des substances générées. (Document -biocides-2002/05-rev 30-07-2002).

Les experts notent qu'EDF a traité séparément les problèmes amibes et légionelles. Or, l'écologie des légionelles est intimement liée à celle des amibes et il serait pertinent que les suivis « légionelles » soient systématiquement associés aux suivis « amibes ». En effet, la monochloramine étant un biocide à action non spécifique, la distinction entre un traitement anti-amibien ou anti-légionelles est injustifiée. Seule la dose active¹ est différente.

¹ **Dose active d'un biocide** : dose qui permet de répondre à l'objectif que l'on s'est fixé.

Cependant, à l'heure actuelle, les données de la littérature ne permettent pas de donner des valeurs de dose active précises pour ces deux types de microorganismes.

Par ailleurs, la démonstration d'efficacité du procédé mis en place ne peut être uniquement basée sur des résultats de dénombrements de légionelles ponctuels, sans validation des conditions de prélèvement et sans prise en compte des autres paramètres (température, DCO, flore totale, amibes, COT, turbidité,...).

Les experts notent toutefois que la monochloramine est caractérisée par un meilleur maintien d'activité en présence de matières organiques par rapport aux chocs chlorés. Le choix d'EDF pour des eaux brutes non traitées et pour un usage continu de monochloramine peut alors s'expliquer.

Cependant, cette stratégie de traitement:

- ne peut concerner que les sites disposant d'une autorisation de rejet ;
- peut induire un risque au niveau de la maîtrise du procédé du fait de variations de concentrations en chlore en fonction de la qualité de l'eau d'alimentation des circuits.
- peut conduire à une surconsommation de monochloramine et donc à des rejets importants, remettant en cause le choix d'EDF d'une absence de prétraitement des eaux naturelles utilisées ;
- pourrait générer, sous l'effet d'une pression de sélection chronique, l'émergence de mutants de moindre sensibilité ou résistants à l'oxydant utilisé au sein des populations microbiennes, incluant les légionelles.

En outre, la sous-traitance des analyses confiées à des laboratoires accrédités ne suffit pas à assurer la fiabilité des résultats. En effet les éléments fournis par EDF pour justifier la validité des résultats présentés depuis 2004 montrent l'insuffisance et/ou les lacunes des procédures relatives au dénombrement des légionelles : par exemple, non-définition des points à risque, absence de protocole détaillé pour la conduite du prélèvement, etc. (Annexe 3).

Si un prétraitement de l'eau en amont est envisageable et envisagé, les avantages et donc le choix de la monochloramine en traitement continu ou séquentiel devra être réexaminé.

I-1-2 Surveillance des installations- Analyse des données fournies

I-1-2-1 – Plan de surveillance

La surveillance des installations réalisée par EDF s'appuie sur les suivis :

- de la concentration en légionelles d'un point des circuits de refroidissement situé au niveau du bassin froid des tours aéroréfrigérantes des CNPE,
- des traitements biocides et de leur efficacité (même point de prélèvement),
- de l'entartrage des installations.

Pour ce faire, EDF a mis en place deux logigrammes d'action (l'un pour le CNPE de Chinon, l'autre pour les 5 autres CNPE concernés par les traitements biocides) [1,2] basés sur une

fréquence de mesure recommandée par l'ASN dans son courrier du 28 janvier 2005 et décrit dans le tableau 1.

Tableau 1 : Fréquence des analyses en *legionella* spp demandées en fonction des niveaux de concentrations

Concentration dans les circuits (UFC/L) hors Chinon	Cas de Chinon (UFC/L)	Périodicité des mesures
$T \geq 10^5$	$T \geq 10^4$	Hebdomadaire
$10^4 \leq T \leq$	$T < 10^4$	Toutes les deux semaines
$T < 10^4$		Mensuelle

La prévention du risque légionelles sur l'ensemble des CNPE est uniquement basée sur l'entretien pour la maîtrise de l'entartrage du circuit d'eau [4-5]. Les experts notent, d'une part, qu'il ne s'agit donc en aucun cas d'une action dont l'objectif principal est une maîtrise du risque légionelles, mais bien d'une action globale d'entretien du système *a posteriori* puisque la relation entre légionelles et entartrage, affirmée par EDF, n'est pas démontrée, au moins dans certains cas (Dampierre, Bugey, Nogent) [6] et, d'autre part, que des actions sont prévues dans le cas des CNPE équipés avec des traitements biocides et possédant une autorisation de rejet : cela concerne 6 des 11 sites.

En revanche aucune procédure ou disposition n'existe dans les documents fournis pour la gestion du risque légionelles dans des CNPE qui ne peuvent avoir de traitement biocide ou disposer d'autorisation de rejet, dont les circuits de refroidissement sont pour certains largement colonisés par les légionelles (Figure 1).

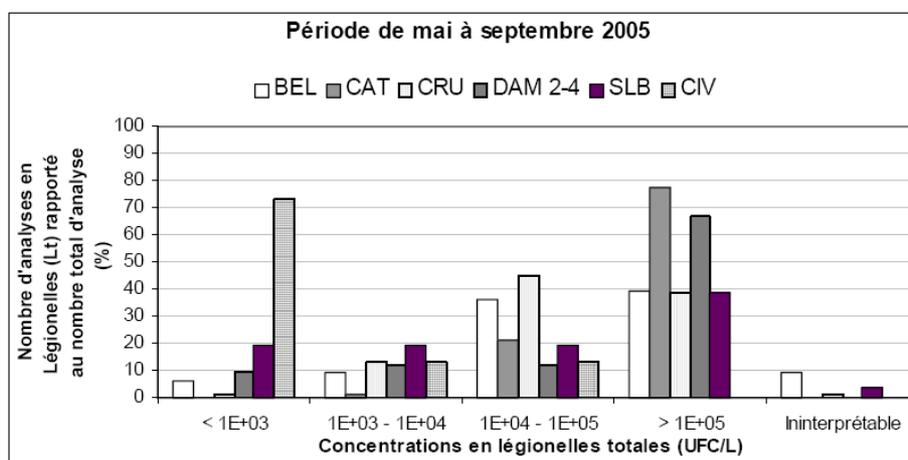


Figure 1 : Répartition (%) des concentrations en légionelles pour les CNPE ne traitant pas à la monochloramine [7]

(BEL = Belleville ; CAT = Cattenom ; DAM 2-4 = Dampierre tranches 2 et 4 ; SLB = Saint-Laurent des-Eaux ; CIV = Civaux)

En conclusion, il ressort clairement que la gestion du risque légionelles de l'ensemble des CNPE ne peut être pertinente que si les conditions de traitement sont établies et ajustées au cas par cas, site par site, voire même tranche par tranche au vu des différences importantes de colonisation sur un même site (exemple de Dampierre et Chinon).

I-1-2-2 – Stratégie d'analyses et d'échantillonnage dans le cadre du plan de surveillance

La stratégie de surveillance de la prolifération des légionelles adoptée par EDF est de réaliser des analyses systématiques de légionelles à intervalles de temps réguliers par la méthode standardisée de culture sur gélose (AFNOR NF T90-431). EDF procède à des prélèvements d'eau au niveau du bassin froid de l'aéroréfrigérant, en un point considéré comme étant le meilleur compromis en terme d'accessibilité et de représentativité de la colonisation des circuits des CNPE [1]. La stratégie d'échantillonnage prévoit aussi des prélèvements pour analyses de légionelles en amont et aval des 11 CNPE.

Les documents fournis par EDF précisent que la fréquence des échantillonnages s'est renforcée à partir de juin 2004 [1 et 8] dans une logique d'amélioration de la surveillance (niveau de légionelles, physico-chimie et entartrage).

Commentaires des experts

Le caractère systématique des campagnes d'analyses sur les sites CNPE correspond à une démarche que l'on peut comprendre en termes d'obligation. Cependant, aucun rationnel dans le choix des sites de prélèvement et de leur fréquence ne valide ces campagnes en terme de gestion du risque de prolifération des légionelles ; notamment il n'est tenu aucun compte des événements climatiques, ou saisonniers qui influent sur les niveaux de contamination des eaux (proliférations algales, apports de matières organiques (MO), précipitations, augmentations des températures, ...).

Les lieux de prélèvement et la fréquence des analyses ne sont ni formalisés dans des procédures, ni justifiés, alors qu'ils constituent les éléments objectifs de base de la surveillance et du respect du seuil assigné en nombre de légionelles dans les eaux des bassins de refroidissement.

Les experts soulignent :

- qu'un seul point de prélèvement, au "bord" du bassin froid ne peut être représentatif de la contamination de l'eau de ce bassin et du système de circulation de l'eau dans sa globalité, notamment du fait de zones différentes en terme de mélange (hydraulique variable) avec sans doute des zones de stagnation, de dépôt/suspension changeant, de dilution/apports variables, comme signalé dans le précédent rapport.
- l'absence de suivi par prélèvement (puis analyses) à différents points des circuits de refroidissements et à des temps complémentaires indépendants de ceux fixés par le cadre réglementaire se traduit par l'impossibilité d'évaluer la dynamique des légionelles dans les circuits, et particulièrement au niveau des zones critiques du circuit et des biofilms.

En conclusion, améliorer la surveillance des légionelles dans les circuits des TAR CNPE impose *a minima* la validation du ou des points d'échantillonnage en réalisant par exemple des cartographies de la contamination de bassins froids sur les différents sites. Une telle démarche devrait être étendue au circuit de refroidissement dans sa globalité et notamment dans les zones reconnues comme "productrices" de légionelles (bassins chauds, condenseur, ..).

Cette approche permettrait à EDF d'identifier et d'évaluer les points critiques des systèmes de refroidissement tel que signalés dans le précédent rapport. [ref. a]

I-1-2-3 –Suivi de la concentration en légionelles : méthodes analytiques

Les experts rappellent que l'évaluation de la concentration en légionelles présentes dans les eaux des bassins de refroidissement repose sur des analyses microbiologiques qui devraient permettre de déterminer la nature et le nombre de légionelles présentes dans les foyers contaminés et/ou dans les sources (ex. : rejets des installations) à l'origine de leur dissémination.

Les analyses permettent d'apprécier la contamination en légionelles à chaque point de prélèvement des échantillons et d'évaluer, en situation réelle, l'efficacité des traitements éventuellement mis en œuvre pour maîtriser les risques.

Actuellement il existe deux méthodes normalisées de dénombrement des légionelles :

- l'une par culture sur milieux spécifiques selon la norme NF T90-431 (dont les principaux points critiques des étapes du dénombrement sont décrits en annexe 3) ;

- l'autre selon la norme expérimentale XP T 90-471. Cette méthode permet de détecter les légionelles par biologie moléculaire (PCR), en un temps plus court que la méthode culturale (quelques heures *versus* 10 jours). Elle n'est toutefois pas reconnue à ce jour pour les contrôles réglementaires. Cette norme ne fait pas référence à un objectif, mais indique seulement les conditions de réalisation de ce type d'essai. C'est à l'utilisateur de définir les valeurs cibles qu'il se donne permettant ainsi de mieux répondre en termes de délais aux exigences de la gestion des risques associés aux légionelles.

D'autres technologies (ex. : cytométrie en phase solide et cytométrie en flux) sont susceptibles de fournir des méthodes alternatives et/ou complémentaires de quantification des légionelles, prenant ou non en compte les bactéries viables non cultivables (VNC) ou actives non cultivables (ANC) (réf. a). Dans les deux cas, l'utilisation en routine de ces méthodes pour une gestion du risque lié aux légionelles doit être faite après validation pour les types d'échantillons considérés et par rapport à une méthode de référence.

Actuellement, EDF sous-traite le dénombrement des *Legionella* selon la norme NF T90-431 à des laboratoires indépendants.

Commentaires des experts

Compte tenu des incertitudes pesant sur la fiabilité des mesures de légionelles réalisées par EDF, de la procédure minimale du plan d'échantillonnage, des incertitudes fortes sur la procédure de prélèvement (qui conditionne le résultat de l'analyse), les experts ont considéré que les valeurs données dans l'ensemble des documents fournis par EDF étaient des valeurs par défaut (annexe 2).

De plus, EDF ne dispose pas de procédure écrite relative aux modalités de prélèvement des échantillons analysés, de leur transfert au laboratoire, ainsi qu'aux choix techniques de l'analyse. Les rapports d'essai ne mentionnent pas systématiquement l'ensemble des indications relatives aux échantillons comme le demande la norme, et aucune interprétation du résultat ne tient compte des opérations de maintenance et/ou des traitements biocides (annexe 3).

En conclusion et comme signalé dans le précédent rapport, compte tenu des délais d'obtention des résultats par culture (10 jours), il s'avère indispensable de recourir à d'autres méthodes d'évaluation du nombre de légionelles et/ou à d'autres indicateurs biologiques afin de disposer plus fréquemment d'éléments « instantanés » capables de donner l'alerte en cas d'approche des seuils critiques.

I-1-3- Efficacité des traitements biocides appliqués par EDF

En 2006, six CNPE du parc d'EDF sont équipés d'installations de monochloramination Bugey, Chooz, Dampierre, Golfech, Nogent, et Chinon.

Le bilan dressé par EDF en 2006 est le suivant [9] :

[.....

- *entre 2004 et août 2006, les concentrations mesurées sur les cinq sites concernés (Bugey, Chooz, Dampierre, Golfech et Nogent) sont majoritairement inférieures au seuil de détection de la méthode de 500 UFC.L⁻¹ ;*
- *certaines CNPE tels que Golfech montrent une colonisation faible toute l'année ; il est ainsi impossible sur ces CNPE de détecter l'effet du traitement car les concentrations restent de l'ordre du seuil de détection de la méthode quelle que soit la période ;*
- *pour certains CNPE tels que Chooz et Bugey, on détecte clairement l'efficacité du traitement à la monochloramine avec des concentrations inférieures au seuil de détection de la méthode de 500 UFC.L⁻¹ pendant le traitement et des concentrations qui peuvent atteindre des valeurs de 10⁴ UFC.L⁻¹ sur les périodes sans traitement à la monochloramine ;*
- *pour le CNPE de Dampierre, les colonisations en période de traitement restent élevées comparativement aux autres CNPE comprises majoritairement entre 500 et 10⁴ UFC.L⁻¹ ; il faut souligner que les concentrations supérieures à 10⁴ UFC.L⁻¹ en période de traitement interviennent uniquement lorsque la teneur en chlore résiduel total est inférieure à 0,30 mg.L⁻¹ Cl₂ en sortie condenseur.]*

Sont décrit ci-dessous les traitements biocides réalisés sur 3 sites (Bugey, Chinon et Dampierre) et les conclusions des experts.

Bugey

Le site de Bugey bénéficie d'un traitement séquentiel à la monochloramine à titre expérimental (quelques mois de fonctionnement en 2006 sur une seule tranche). Les résultats ne permettent pas de conclure quant à l'efficacité ou non de ce type d'action sur les légionelles car :

- très peu de données légionelles sont présentées et le temps d'essai est trop court (3 mois : juillet-septembre 2006).
- la tranche 5.1 sur laquelle le traitement a été mis en place est peu contaminée en légionelles avant traitement (< 500 UFC.L⁻¹) et reste < 500 UFC.L⁻¹ en phase de traitement. Par contre, dès l'arrêt du traitement séquentiel, les teneurs en légionelles augmentent pour atteindre 10⁴ UFC.L⁻¹ (octobre-décembre 2005).

La mise en place d'un traitement séquentiel est intéressante puisqu'il semble y avoir un maintien des niveaux d'amibes en deçà du seuil de 100 UFC.L⁻¹ tout en réduisant la quantité de produit utilisé de 35 % et donc les rejets associés. Cependant l'efficacité sur la concentration en légionelles reste à démontrer.

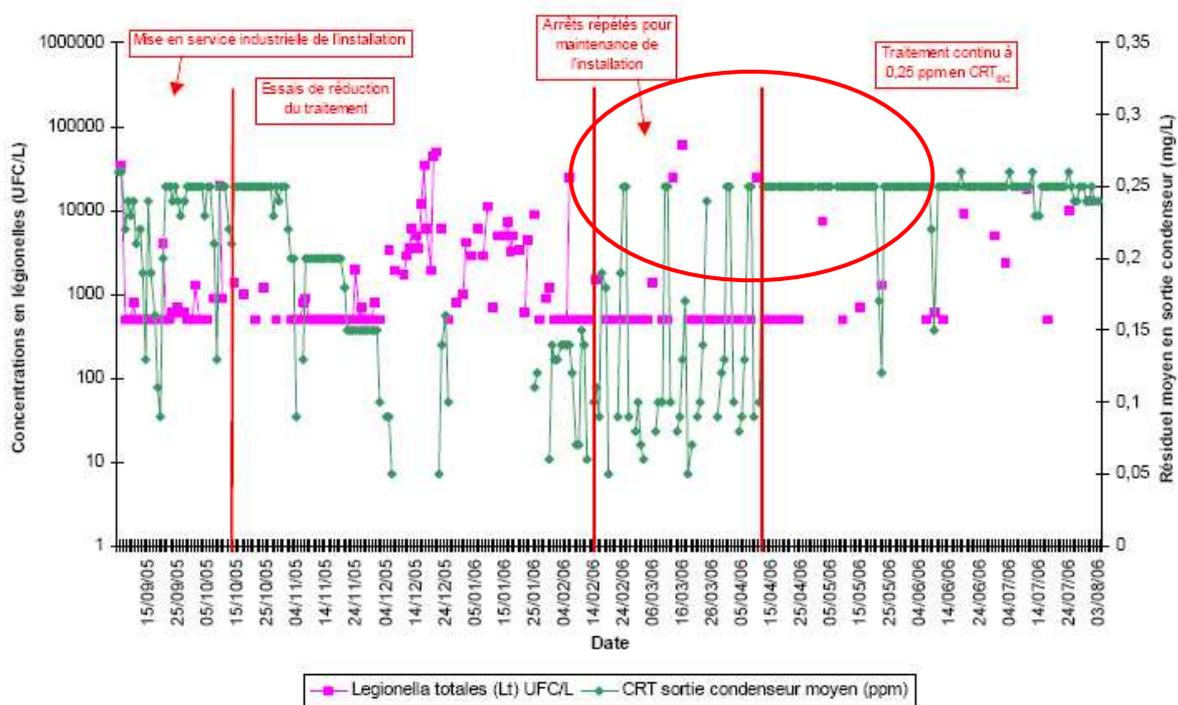
Chinon

La gestion du risque légionelles sur le site du CNPE de Chinon a d'abord imposé la réalisation de chocs chlorés à des concentrations extrêmement importantes, pour une

efficacité discutable, générant des rejets importants de sous-produits chlorés dans le milieu, un entartrage conséquent et un usage à long terme impossible. Cette pratique s'est soldée systématiquement par :

- la mise en œuvre de traitements supplémentaires à doses plus élevées,
- des recolonisations rapides des circuits jusqu'à des niveaux de légionelles comparables à ceux observés avant traitement.

EDF s'est alors réorienté mi-2005 vers le traitement continu à la monochloramine comme sur les 5 autres sites avec un résiduel de chlore total voisin (CRT) de $0,25 \text{ mg.L}^{-1}$. Ce traitement ainsi appliqué a permis, au moins ponctuellement, de limiter les concentrations en légionelles en deçà des seuils fixés par l'ASN. Toutefois, on constate sur les 4 tranches une dérive des concentrations en légionelles totales à partir de début juin 2005, dérive régulière qui atteint 10^4 UFC.L^{-1} sur les tranches 1, 3 et 4, et jusqu'à 10^5 UFC.L^{-1} sur la tranche 2 ; cette dérive a été suivie d'une augmentation du résiduel de chlore total jusqu'à $0,3 \text{ mg.L}^{-1} \text{ Cl}_2$ (Figure 2).



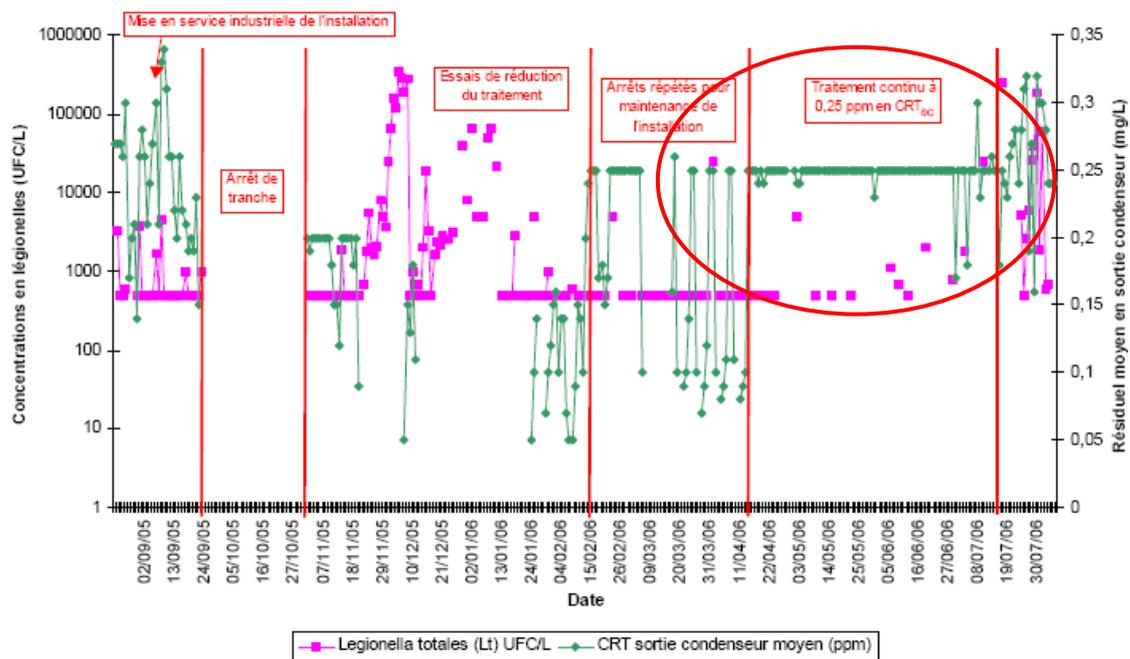


Figure 2 : Concentrations en légionelles dans l'eau des circuits de refroidissement du CNPE de Chinon (ex. des tranches 3 et 2) traitant à la monochloramine.

(Ces graphiques sont extraits des documents fournis par EDF (figures 19 et 20) [9]. Le niveau de concentration en légionelles de 500 UFC.L⁻¹ correspond à la limite de détection de la méthode utilisée)

Dampierre

Le site de Dampierre (tranches 1 et 3) est traité en continu à la monochloramine. Cependant, pour pallier des remontées intempestives de légionelles, EDF a appliqué deux chlорations chocs en même temps que le traitement monochloramine (Figure 3), suggérant de fait l'insuffisance du traitement à la monochloramine pour maîtriser la contamination ambiante sur ce site.

Les experts soulignent que cette pratique ne respecte pas les procédures et plan de surveillance fournis par EDF, puisqu'elle n'y figure pas.

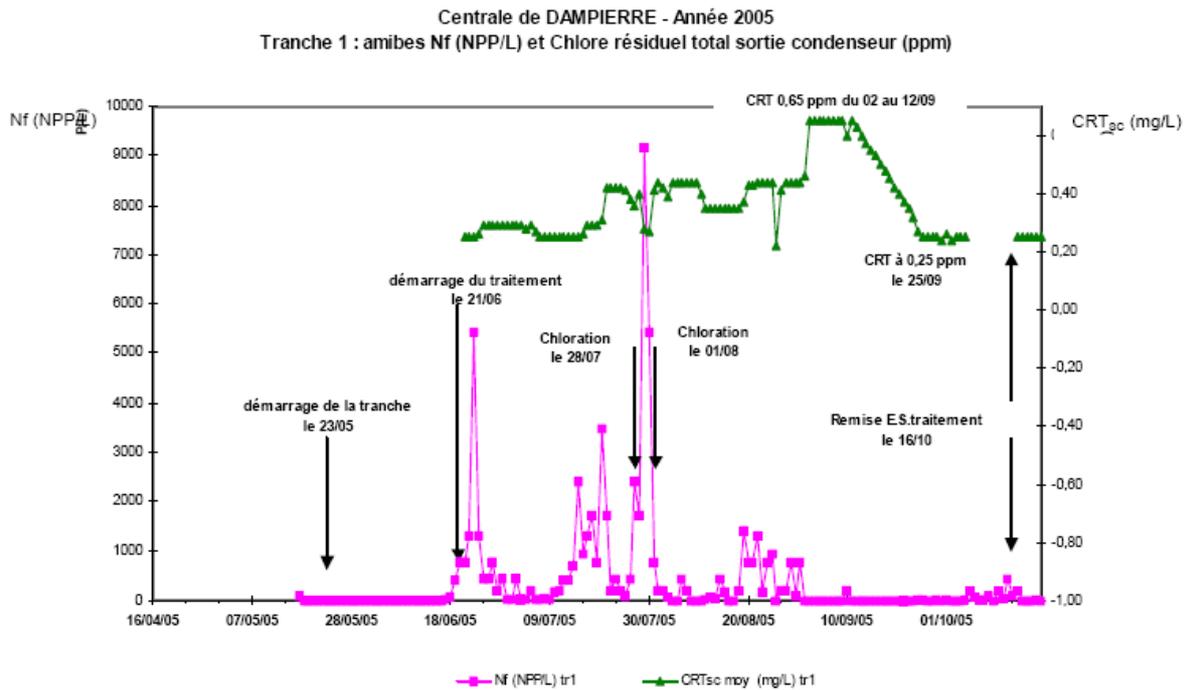


Figure 3: Concentrations en amibes *Naegleria fowleri* dans l’eau des circuits de refroidissement du CNPE de Dampierre (tranche 1) en 2005 traité à la monochloramine.

(Ce graphe est issu des documents d'EDF [3]).

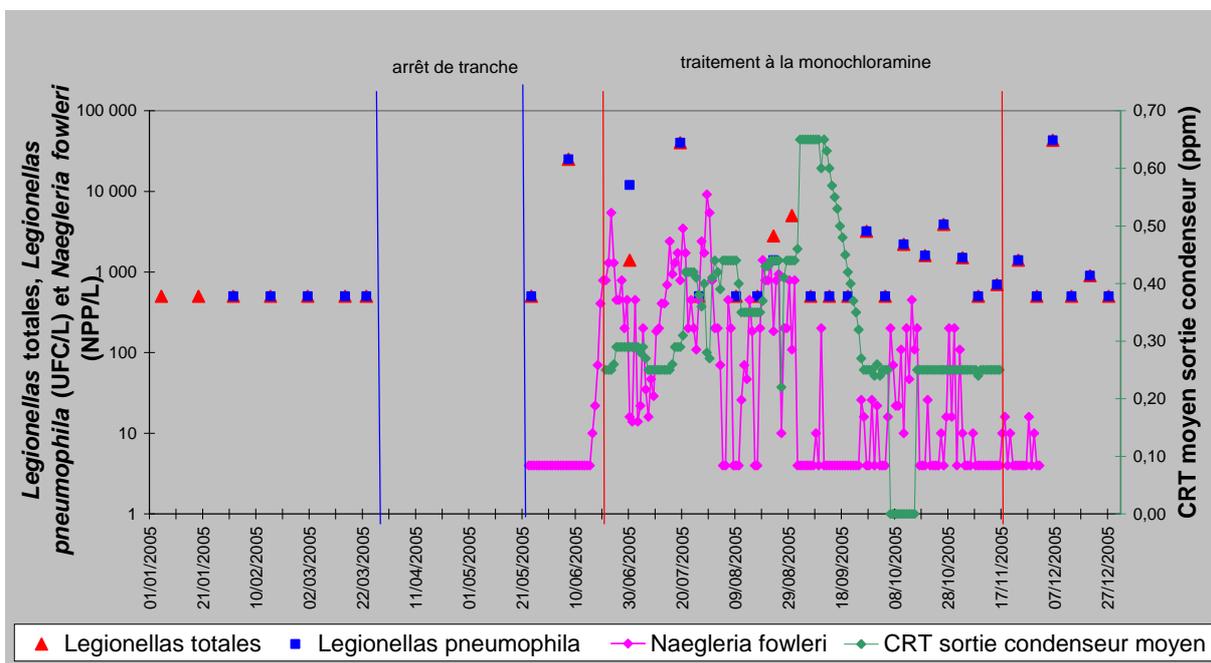


Figure 4 : Concentration en légionelles dans l’eau des circuits de refroidissement du CNPE de Dampierre (tranche 1) en 2005 traité à la monochloramine

Commentaires des experts (sur les résultats observés)

- Dans la logique des recommandations préconisées dans la première partie de la saisine, le groupe d’experts confirme que l’objectif à atteindre à terme est le seuil de gestion des ICPE, soit moins de 10^3 UFC.L⁻¹ en légionelles dans l’eau des TAR. En

deçà de ce seuil, des actions de maintenance/entretien ainsi que des actions de traitement biocide immédiates et appropriées à la situation, accompagnées éventuellement d'autres actions correctives doivent être mises en place.

- Les experts constatent que les seules données accessibles sont celles des traitements à la monochloramine et/ou un choc chloré. Aucune autre technique de traitement biocide n'a été présentée.
- Sur les sites faiblement contaminés en légionelles tels que Bugey, Chooz, Nogent et Golfech (concentration en légionelles proche du seuil de détection toute l'année) et à faible niveau d'encrassement, le traitement à la monochloramine, tel qu'appliqué par EDF (consigne en chlore total résiduel : 0,25 mg.L⁻¹ avec des augmentations possibles jusqu'à 0,5 mg.L⁻¹) permet de maintenir des concentrations en légionelles < 500 UFC.L⁻¹ (2004-2005) pendant la phase de traitement. Néanmoins, malgré ce traitement, des pics de contamination en légionelles apparaissent à des niveaux de 10⁴ – 10⁵ UFC.L⁻¹ légionelles totales (8 % des analyses en 2005).
- Par ailleurs, une diminution significative du CRT lors d'un traitement continu indique bien la difficulté d'une maîtrise de ce traitement, notamment lorsque la qualité de l'eau en amont n'est pas contrôlée et assurée *a minima*. Les experts soulignent qu'EDF n'a pas démontré l'efficacité de ces traitements puisqu'aucune donnée ne leur a été transmise sur le suivi de la consommation réelle en précurseurs et, par delà, la variation de consommation en chlore du système pendant la période de traitement..
- Sur le site de Bugey, les essais de traitement séquentiel à la monochloramine ont montré une réduction de la consommation de réactif de 35 % et par-delà une diminution des rejets. L'efficacité de ce traitement sur les taux de légionelles doit être démontrée, comme elle doit l'être sur des sites significativement contaminés.
- Par rapport à la réglementation actuellement en vigueur, on peut observer que le traitement continu à la monochloramine tel qu'appliqué permet de limiter temporairement et ponctuellement l'augmentation des concentrations en légionelles dans l'eau des bassins froids et respecter les seuils dérogatoires de 5 10⁶ UFC.L⁻¹ (5 10⁵ UFC.L⁻¹ pour Chinon).
En revanche, dans un objectif d'atteindre à terme un seuil de 10³ UFC.L⁻¹, force est de constater que la présence de monochloramine en traitement continu tel qu'appliqué par EDF ne permet pas de garantir ce niveau en légionelles et surtout ne permet pas de stabiliser leur concentration (Figure 2). Malgré la présence de chlore total résiduel (de 0,25 à 0,3 mg.L⁻¹), des dérives des concentrations en légionelles sont observées, preuve que la prolifération bactérienne (et celle des légionelles en particulier) dans les circuits est bien réelle et non contrôlée.

En résumé, les traitements actuels sont utiles mais doivent être améliorés. Ils ne sont pas suffisants pour maintenir et garantir une absence de prolifération des légionelles dans les circuits, indispensable à une maîtrise du risque légionelles au niveau des circuits de refroidissement des CNPE.

I-2-Traitements antitartre

I-2-1 Niveau d'entartrage des CNPE

L'utilisation d'eau de surface pour alimenter les circuits de refroidissement des CNPE pose des problèmes d'entartrage sur l'ensemble des circuits et notamment au niveau des échangeurs thermiques. (ref. a)

Les circuits de refroidissement des CNPE sont constitués d'un condenseur au niveau duquel se fait l'échange thermique entre la vapeur provenant de la turbine et l'eau provenant d'un aéroréfrigérant. Le condenseur est formé de 70 000 à 140 000 tubes dans lesquels circulent l'eau de refroidissement qui provient d'un aéroréfrigérant constitué d'une tour équipée d'un corps d'échange (packing, lattes ou caillebotis en PVC) et d'un séparateur de gouttes qui permet de limiter l'entraînement vésiculaire dans le panache. [10]

Le tartre va se déposer sur les surfaces où il y a ruissellement d'eau c'est-à-dire principalement au niveau du corps d'échange, des packings, du bassin froid, des piliers et du séparateur de gouttes. Le tartre peut également se déposer mais dans une moindre mesure dans les équipements de la boucle de refroidissement (ref. b). Il est dû à la précipitation des sels, formant des dépôts minéraux sur les surfaces. Dans les circuits de refroidissement, l'entartrage est causé par l'augmentation de la concentration en sels (due au facteur de concentration² du circuit), et à l'élévation de température. D'autre part la mise en place de traitements biocides en continu favorise également la formation de tartre par une légère augmentation du pH. Les espèces minérales impliquées sont principalement des composés du calcium, du magnésium, de la silice et du soufre, l'essentiel du dépôt est constitué de carbonate de calcium CaCO₃ précipité sous la forme de calcite.

L'entartrage des aéroréfrigérants diminue les performances thermiques de la source froide et par conséquent la production d'électricité (perte de 27 millions d'euros en 2003-2004), fragilise la structure des tours et limite la disponibilité des tranches. Il peut également présenter indirectement des impacts sanitaires [4]. En effet lorsque le tartre se forme, il se comporte comme un floculant entraînant dans sa précipitation d'autres produits comme les oxydes de fer ou des particules organiques (ref.b). Le tartre constitue alors un support qui permet un accrochage et un développement du biofilm créant ainsi des niches favorables à la colonisation par les légionelles. Cependant il faut bien noter qu'un circuit non entartré ne signifie pas un circuit sans légionelles. Il s'agit uniquement d'un circuit pour lequel le biofilm pourrait être plus facilement maîtrisé.

EDF a classé les différents CNPE selon la qualité physicochimique de l'eau d'alimentation du circuit de refroidissement (Ir, indice de Ryznar, tel que défini en Annexe 4) et selon les installations et moyens de traitement à disposition.

Les groupes créés en fonction de ces critères sont les suivants :

Groupe 1 : Les sites avec un fort risque d'entartrage disposant de moyens de traitements (Cattenom, Chooz, Golfech et Nogent)

Groupe 2 : Les sites à risques ne disposant pas de moyens pérennes de traitement (Belleville, Bugey, Chinon et Cruas)

Groupe 3 : Les sites à faibles risques (Civaux, Dampierre et Saint-Laurent des Eaux)

Pour illustrer le commentaire précédent concernant la relation entre le taux de légionelles et l'entartrage des circuits, les experts soulignent que les sites de Dampierre et de Saint-Laurent-des-Eaux font partie des sites où les concentrations en légionelles sont importantes alors que ces deux sites font parties du groupe de centrales considéré par EDF comme à faible risque pour l'entartrage.

² Facteur de concentration : rapport entre la quantité de sels dissous dans l'eau de circulation de la tour et dans l'eau d'appoint. Celui-ci dépend de la qualité de l'eau d'appoint et de celle admise par l'eau en circulation en fonction des matériaux utilisés sur les tours. Ce facteur de concentration est compris entre 2 et 4.

I-2-2-Caractéristiques des traitements

Afin de limiter la formation de tartre, EDF a mis en place différents traitements chimiques et physiques sur l'ensemble des sites. Quatre stratégies de traitements sont décrites dans les documents fournis par EDF [11] :

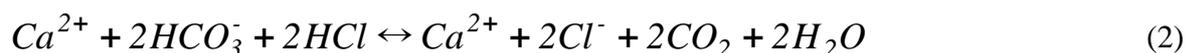
- *[...un fonctionnement avec un « facteur de concentration » de l'eau dans les circuits suffisamment bas pour ne pas rencontrer de problème d'entartrage à la conception (Belleville, Bugey, Chinon B, Civaux, Cruas, Dampierre, Saint-Laurent)...]. L'évolution des paramètres physico-chimiques des eaux des fleuves et des rivières, depuis la construction des CNPE, a entraîné la formation de tartre et a nécessité la mise en place de traitements...]*
- *[...un traitement par injection d'acide sulfurique ou d'acide chlorhydrique (vaccination acide) permettant de diminuer le pouvoir entartrant de l'eau dans le circuit, sur les sites alimentés par de l'eau ayant un pouvoir entartrant important (Cattenom, Chooz B, Golfech, Nogent) ou un traitement par injection d'un antitartre organique permettant d'agir sur les processus de germination et de croissance des cristaux de carbonate de calcium et de limiter l'adhérence des cristaux et des matières en suspension sur les parois (Nogent) ...]*
- *[...un traitement par injection de CO₂ agissant en tant qu'acide faible et permettant de diminuer le pouvoir entartrant de l'eau dans le circuit (ajustement de la quantité de CO₂ équilibrant dans l'eau, régulation du pH) (Chinon, Bugey)...]*
- *[...la combinaison d'une ou plusieurs des solutions précédentes...].*

Pour EDF la mise en place de ces traitements sont considérés comme « préventifs » puisque généralement réalisés lorsque la tranche est en fonctionnement. Ce type de traitement sera décrit ci-dessous dans le paragraphe « traitements réalisés lors du fonctionnement des tranches ». Dans le cas des traitements dits « curatifs » réalisés à l'arrêt des tranches et dont le but est l'élimination du tartre, leurs descriptions seront rapportées dans le paragraphe « traitements réalisés lors de l'arrêt de la tranche ».

I-2-2-1 Caractéristiques des traitements réalisés lors du fonctionnement des tranches

Injection d'acide à faible dose

L'un des moyens chimiques de prévenir l'entartrage consiste à ajouter, dans l'eau à traiter de l'acide sulfurique ou de l'acide chlorhydrique. Ceci permet le déplacement de l'équilibre calco-carbonique de façon à rendre l'eau de refroidissement moins entartrante. L'acide permet de diminuer le TAC de l'eau du circuit et par conséquent la formation de dépôts.



EDF a basé le dimensionnement du traitement sur un indice de Ryznar proche de 6 (Annexe 4). Pour l'ensemble des sites, les injections sont réalisées en continu en amont des pompes de recirculation. Cependant les quantités d'acide injectées varient d'un site à l'autre en fonction des caractéristiques physico-chimiques de l'eau et de la période de l'année.

Les rejets associés à ce type de traitement sont constitués essentiellement d'ions chlorure ou d'ions sulfate. Les quantités rejetées sont très importantes et à titre d'information on peut citer l'exemple du site de Nogent où les rejets en ions sulfate sont de l'ordre de 16 700 tonnes par an.

Antitartres organiques

Seul le site de Nogent est traité par les antitartres organiques en complément des injections d'acide. EDF précise que le traitement de l'eau des circuits par injection d'antitartre organique permet d'agir sur la cinétique d'encrassement des installations en retardant la germination puis la croissance des cristaux de carbonate de calcium.

Les inhibiteurs d'entartrage sont largement utilisés pour le traitement des eaux des circuits de refroidissement. On distingue :

- les polyphosphates;
- les phosphonates ;
- les phosphonocarbonates ;
- les polymères, copolymères et terpolymères tels les polyacrylates
- les polypeptides et polysaccharides.

Les doses d'emploi sont généralement de 1 à 10 mg.L⁻¹ de matière active. L'emploi de ces inhibiteurs permet d'augmenter le facteur de concentration en repoussant la limite de solubilité des sels entartrants, mais aussi en permettant la précipitation des sels sous forme non entartrante si la limite de solubilité est localement dépassée. Les polymères organiques s'adsorbent sur le cristal de CaCO₃ en formation et entravent son grossissement. À sa place, il se forme une espèce de boue non adhérente qui s'élimine avec le flux.

L'emploi d'un produit dispersant est aussi recommandé lorsque l'eau en recirculation est chargée de matières en suspension qui proviennent soit de l'eau d'appoint du système, soit du lavage de l'air au niveau des tours aéroréfrigérantes.

Sur le site de Nogent, le traitement est réalisé à partir d'antitartre organique de type polyacrylate en continu toute l'année. L'injection d'antitartre organique permet de limiter efficacement l'entartrage des condenseurs et des packings des aéroréfrigérants. Ce traitement conduit à des rejets en polyacrylates et en sodium.

Injection de CO₂ à faible dose

Comme l'injection d'acide, l'injection de CO₂ dans l'eau du circuit de CRF peut rendre l'eau non entartrante en ajustant la part de CO₂ équilibrant et en abaissant le pH de l'eau du circuit du fait de la faible acidité du CO₂. Tout comme pour le traitement par acide fort, le débit de traitement est ajusté afin de maintenir un indice de Ryznar de 6 dans le circuit. [11]

Le principe de ce traitement repose sur l'équation (3) donnée précédemment et rappelée ci-dessous:



Si on ajoute du CO₂ (atmosphère saturée en CO₂), les réactions se déplacent vers la droite, on dissout le calcaire et on a de plus en plus de bicarbonates. Si l'on fait se dégager le CO₂, on déplace les équilibres vers la gauche et le carbonate de calcium précipite.

Les sites de Chinon et de Bugey sont les seuls sites traités par cette technique. EDF indique que l'injection est continue sur la période estivale à Chinon et discontinuée le reste de l'année. L'injection reste ponctuelle sur le site de Bugey.

Ce mode de traitement est à l'heure actuelle en phase d'ajustement.

Commentaire des experts :

L'injection de CO₂, comme l'injection d'acide fort, engendre des rejets importants de matières en suspension (MES) et de métaux lourds. Ceci explique pourquoi EDF a demandé une autorisation pour ces rejets. [12].

I-2-2-2 Caractéristiques des traitements réalisés lors de l'arrêt de la tranche

Lessivage acide

Ce traitement consiste à dissoudre le tartre accumulé lors des cycles d'exploitation (en particulier en cas de chlорations massives). Il s'agit d'injecter de façon ponctuelle suffisamment d'acide pour rendre l'eau agressive vis-à-vis du carbonate de calcium et dissoudre ainsi le tartre (notamment au niveau des packings). Les lessivages acides sont réalisés avec de l'acide sulfurique. Les produits commerciaux ont été exclus par EDF pour des raisons de rejets et de leurs éventuels impacts sur l'environnement. L'acide utilisé permet de diminuer le TAC du circuit à une valeur de 2°F ainsi que l'eau d'appoint.

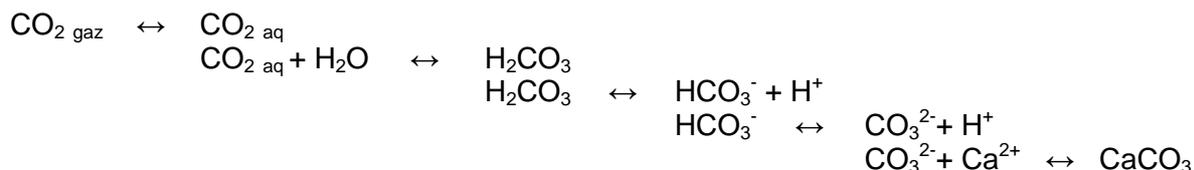
D'après EDF, le pH doit être maintenu à un pH minimum de 6 dans le circuit et la concentration en sulfate inférieure à 400 mg.L⁻¹ ou 800 mg.L⁻¹ selon les caractéristiques du circuit [11].

Les arrêtés d'autorisation de rejets permettent le traitement par lessivage chimique entre 20 et 40 jours cumulés par tranche et par an. Le lessivage chimique ne permet un nettoyage des packings qu'au début d'un épisode d'entartrage mais ne permet pas de retarder le remplacement des corps d'échange en cas d'entartrage massif. [11]

Les rejets associés sont constitués de sulfate mais également de cuivre et de zinc issus de la corrosion des condenseurs et des MES (MES emprisonnées dans les dépôts varient de 1 % à Chinon à 40 % à Nogent [13]).

Lessivage au CO₂

Le principe du détartrage par lessivage au CO₂ est le même que celui d'un lessivage par injection d'acide fort. L'augmentation de la concentration en CO₂ va favoriser la solubilisation du carbonate de calcium comme décrit dans les équilibres suivants :



Pour des raisons de dégazage, ce traitement se limite à des sections fermées de circuit et n'a été testé que sur un semi-condenseur à Chinon en novembre 2005.

En résumé d'après EDF :

Tableau 2 : Limitations et contraintes de chaque traitement antitartre mis en œuvre par EDF [10]

Nom	Préventif (P) ou curatif (C)	Limitations- contraintes
Injection d'acide à faible dose	P	Rejets dans l'environnement, manipulation acide Délai à prévoir pour l'installation. Coût d'investissement élevé. Quelques risques de corrosion
Spécifications chimiques	P	Efficacité limitée par la disponibilité ou l'absence d'injection d'acide
CO ₂	P-C	Essentiellement pour le condenseur Faible contrainte environnementale. Délai et coût d'investissement plus faibles que l'ajout d'acide mais coût d'exploitation plus élevé. Risque modéré de corrosion en curatif A appliquer sur des cas ciblés
Antitartre organique (ATO)	P	Essentiellement en complément de l'injection d'acide à faible dose ou pour des dépôts spécifiques (eau chargée en MES)
Lessivage chimique	C	Quantité d'acide limitée par les risques de dégradation (béton) et les rejets

I-2-2-3 Etats des lieux des traitements

Le tableau ci-dessous présente les traitements utilisés par EDF en 2004-2005 et le tableau 4 ceux utilisés en 2006.

Tableau 3 : Etats des lieux des traitements antitartre mis en œuvre par EDF sur les CNPE en 2004-2005
[12]

Type de traitement	Injection d'acide à faible dose	Injection d'antitartre organique	Lessive acide
Sites	Cattenom, Chooz B, Golfech, Nogent	Nogent	Bugey, Chinon, pas d'informations pour les autres sites
Procédure d'injection	Injection pilotée par automate (fonction du TAC, de la température et de la puissance de la tranche)	Injection pilotée manuellement en fonction de la concentration du produit commercial et du débit de recirculation	Injection par l'intermédiaire de la station d'injection d'acide à faible dose ou par une installation dédiée.
Produits	Acide sulfurique à 96% (sauf Cattenom : acide chlorhydrique à 33%)	Polyacrylates en solution aqueuse (30 à 50%)	Acide sulfurique ou CO ₂
Dimensionnement	Maintien d'un indice de Ryznar proche de 6	Concentration dans le circuit de 2 à 4 mg.L ⁻¹	Maintien d'un pH>6 et d'une concentration en sulfates comprise entre 400 et 800 mg.L ⁻¹
Fréquence et période de traitement	En continu toute l'année. Golfech : 50 à 100 jours par an	Discontinue et peu utilisée de 20 à 40j/an	Discontinue. De 20 à 40 jour par tranche et par an
Point d'injection	Amont pompes CRF	Amont pompes CRF	Amont pompes CRF
Quantités injectées par tranche	150 à 400 L.h ⁻¹	0 à 52000 kg/an (Nogent : ensemble du CNPE)	Non communiqué
Efficacité	Action préventive sur le dépôt de tartre, satisfaisante si le dimensionnement est optimisé	Complément à l'injection d'acide en cas de contrainte notoire sur les rejets. Retour d'expérience sur efficacité en cours d'acquisition	Efficacité au début d'un épisode d'entartrage
Rejets : paramètres règlementés	Sulfate, Chlorure	Polyacrylates, sodium et DCO	MES, sulfates et métaux lourds

Tableau 4 : Etats des lieux des traitements antitartre mis en œuvre par EDF sur les CNPE en 2006 [11]

CNPE	Traitement anti-tartre actuels	Traitements antitartre futurs envisagés	Traitements antitartre ponctuels éventuels
Belleville	-	ATO	H ₂ SO ₄ les /CO ₂ vac, les
Bugey (tranche 4 et 5)	CO ₂ prov, vac	CO ₂ vac, ou H ₂ SO ₄ les	H ₂ SO ₄ les/ CO ₂ vac, les
Cattenom	HCl vac	HCl vac + CO ₂ vac Ou HCl vac + ATO ou H ₂ SO ₄ vac ou H ₂ SO _{4vac} + CO _{2vac} , ou H ₂ SO _{4vac} + ATO ou CO ₂ vac	CO ₂ les
Chinon B	CO ₂ prov, vac	CO ₂ vac	H ₂ SO ₄ les/ CO ₂ les
Chooz B	H ₂ SO ₄ vac	H ₂ SO _{4vac}	H ₂ SO ₄ les/ CO ₂ les
Civaux	-	-	CO ₂ vac, les
Cruas	-	H ₂ SO ₄ vac	H ₂ SO ₄ les/ CO _{2vac} , les
Dampierre	-	-	H ₂ SO ₄ les/ CO ₂ vac, les
Golfech	H ₂ SO ₄ vac	H ₂ SO _{4vac} + ATO	H ₂ SO ₄ les / CO ₂ les
Nogent	H ₂ SO _{4vac} + ATO	H ₂ SO ₄ vac +ATO	H ₂ SO ₄ les / CO ₂ les
St Laurent	-	-	H ₂ SO ₄ les / CO _{2vac} ,les

Prov: provisoire; vac: traitement en continu par injection d'acide ; les : traitement ponctuel de lessivage chimique ; ATO : antitartre organique type polyacrylates

Commentaires des experts

Les experts soulignent que :

- dans le cas des injections d'acides à faible dose, il n'est pas indiqué dans les documents EDF les avantages et les inconvénients des différents réactifs (acide chlorhydrique, acide sulfurique ou CO₂). Ceci peut être illustré par le cas de Cattenom où EDF utilise un traitement par injection d'acide chlorhydrique alors que les rejets en chlorures dépassent largement les objectifs du SDAGE ;
- bien que l'injection de CO₂ est présenté par EDF comme étant un traitement préventif plus efficace que les autres types d'injections, aucune donnée chiffrée sur l'efficacité de ce traitement n'est indiquée ;

- les arrêts de tranche ne sont pas réalisés en fonction de l'entartrage du circuit mais de façon planifiée annuellement ;
- la complexité de la conduite et de la rentabilité de telles installations ne permet le remplacement que d'un tiers des packings à chaque arrêt afin de maintenir la production d'électricité constante ;
- l'injection de CO₂ comme spécifié tableau 3, n'est efficace qu'au niveau du condenseur. Il est alors surprenant qu'EDF envisage de le généraliser à tous les sites. Il faudrait traiter tout le circuit et pas uniquement les condenseurs ;
- Les documents d'EDF comportent également quelques contradictions notamment sur les relations possibles entre les traitements biocides et la précipitation du tartre. Ceci peut être illustré par les deux citations ci-dessous tirés de l'un des documents fournis par EDF [13] :

p22 : « d'autre part la mise en place d'un traitement en continu à la monochloramine va entraîner une légère augmentation du pH de l'eau de circulation, ce qui est favorable à la précipitation du tartre »

p32 « il n'y a pas d'interaction attendue des traitements biocides et antitartre si ce n'est une augmentation des quantités d'acide consommées prise en compte dans le dimensionnement : pas de modification de pH des circuits de refroidissement et pas de formation de sous-produit de recombinaison »

I- 3 – Conclusions sur les traitements appliqués par EDF

Le groupe d'experts reprend ici les points-clés concernant les traitements biocides et antitartre appliqués par EDF sur les eaux des circuits de refroidissement des CNPE.

A l'issue des observations et des remarques faites ci-avant, les experts concluent aux points clés notés ci-après :

sur les traitements biocides

- **Une hétérogénéité des circuits de refroidissement et des qualités d'eau, ainsi que des lacunes dans l'analyse des points critiques des circuits de refroidissement.** En effet, la majorité des sites CNPE sont contaminés par les légionelles et certains plus que d'autres. Les hypothèses avancées pour expliquer ces différences résident essentiellement dans des différences de qualité d'eau brute. Pour pallier la colonisation et prolifération, naturelles et attendues, des systèmes par les bactéries, EDF a mis en place des traitements à l'aide de biocides chlorés, mais EDF ne semble pas s'être donné les moyens de mieux caractériser les zones critiques de son réseau et notamment les points de prolifération des légionelles ni d'entreprendre un vrai travail sur le biofilm de ces installations alors que cette structure biologique contribue à la problématique légionelles et à la difficulté de leur éradication.
- **Une gestion du risque lié aux légionelles essentiellement basée sur l'utilisation de biocides chlorés et limitée dans leur champ d'application.** EDF considère que l'injection continue massive de monochloramine (consigne CRT = 0,3 mg.L⁻¹) est un moyen de prévention de prolifération des légionelles permettant de respecter les seuils actuellement en vigueur. La pertinence de ces seuils n'est pas démontrée.

Aucune réflexion sur l'optimisation du traitement et la limitation des rejets n'a été envisagée. Aucune prise en compte des facteurs climatiques ou des conditions environnementales, connus pour favoriser la prolifération des légionelles dans les installations, n'a été mentionnée. Par ailleurs, ces actions sont uniquement possibles dans le cas des CNPE équipés de traitements biocides et possédant une autorisation de rejet (6 sur 11 sites). Aucune disposition n'existe pour la gestion du risque légionelles dans des CNPE connus pour avoir des problèmes de légionelles récurrents mais qui ne peuvent avoir de traitement et/ou d'autorisation de rejet. Au vu des résultats fournis par EDF, la gestion du risque légionelles dans les CNPE ne peut être pertinente que si les conditions de traitement sont établies/ajustées au cas par cas, site par site voire même tranche par tranche.

- **Des actions insuffisantes à améliorer.** Les traitements biocides utilisés par EDF ne peuvent constituer l'unique barrière fiable contre le risque légionelles en raison de recolonisations rapides des circuits, de l'effet négligeable des désinfectants sur les biofilms, des rejets que cela occasionne et du risque d'acquisition de résistances.

sur les traitements antitartre

- **Une insuffisance de données sur l'entartrage de l'ensemble du circuit de refroidissement.** Les experts jugent insuffisants les données fournies par EDF pour démontrer l'entartrage de la boucle. Seules quelques informations sont données pour les packings et le condenseur.
- **Une absence de justification dans le choix des traitements antitartre.** En effet EDF ne présente pas dans les documents fournis, les avantages et les inconvénients des traitements mis en place sur les différents sites traités. Il est en de même pour les différents réactifs proposés pour chaque type de traitement (acide chlorhydrique, acide sulfurique ou injection de CO₂).
- **Une absence de démonstration sur la fréquence des lessivages acides**
- **Un manque d'information sur l'efficacité attendue des injections d'acide à faible dose.** Les injections et les lessivages acides permettent d'abaisser le TAC. S'il est dit que les lessivages permettent de descendre à un TAC de 2°F [13], aucune donnée n'est fournie quant à l'efficacité des injections.
- **La nécessité d'un approfondissement des connaissances sur l'efficacité des traitements antitartre sur les différentes espèces minérales présentes dans le milieu.** Les traitements proposés visent uniquement à dissoudre le carbonate de calcium. Comme citée en introduction, le tartre est également composé d'autres espèces minérales comme le magnésium, la silice ou le soufre. Aucune donnée n'est fournie quant à l'efficacité des traitements antitartre sur les autres espèces minérales.

En conclusion de ces observations et des remarques faites ci-dessus, les experts considèrent que les traitement actuels semblent utiles mais doivent être améliorés. En effet, ils ne sont pas suffisants pour maintenir et garantir l'absence de prolifération des légionelles dans les circuits, indispensable à une maîtrise du risque légionelles au niveau des circuits de refroidissement des CNPE.

A terme, d'autres solutions devront être appliquées afin, d'une part, de réduire le nombre de légionelles à l'entrée des CNPE et/ou des aéroréfrigérants par l'application de traitements physico-chimiques (filtration, coagulation/floculation/décantation, ...), et, d'autre part,

d'améliorer la qualité organique de l'eau. Les experts insistent sur l'intérêt des traitements physico-chimiques, et soulignent l'utilité des actions qui sont d'ores et déjà en cours d'évaluation par EDF.

***Chapitre II -IMPACTS SANITAIRES
ET ENVIRONNEMENTAUX
DES TRAITEMENTS UTILISES PAR EDF***

Ce chapitre concerne principalement l'analyse du document d'EDF intitulé « CNPE implantés en bord de Loire - Impacts sanitaires et environnementaux d'un traitement généralisé à la monochloramine » noté dans les paragraphes ci-dessous document « Val-de-Loire ». Pour réaliser cette analyse, les experts ont néanmoins tenu compte de l'ensemble de données présentées dans les différents documents d'EDF mis à leur disposition.

Le document « Val-de-Loire » présente une évaluation des impacts sanitaires et environnementaux des rejets cumulés issus d'une généralisation hypothétique du traitement à la monochloramine à l'échelle du bassin de la Loire qui accueille quatre CNPE : Belleville, Dampierre, Saint-Laurent des Eaux et Chinon.

Ces évaluations sont basées :

- sur des hypothèses de dimensionnement des flux annuels basés sur une injection en monochloramine correspondant à un CRT :
 - de 0,35 mg.L⁻¹ pour l'ensemble des tranches de Belleville et Civaux et pour les tranches 2 et 4 de Dampierre,
 - de 0,42 à 0,55 mg.L⁻¹ sur 6 mois de l'année et de 0,35 mg.L⁻¹ les autres 6 mois pour les tranches 1 et 3 de Dampierre,
 - de 0,42 à 0,35 mg.L⁻¹ pour les sites de Chinon et de Saint-Laurent-des-Eaux.
- sur des données de débits de la rivière recueillis par EDF sur une période de 22 ans (1983-2004) considérées comme représentatives de l'hydrologie actuelle de la Loire, et tenant compte du soutien d'étiage³ excepté pour Chinon où les données ne sont disponibles que sur la période de 1993-2004.

EDF utilise des données collectées sur le terrain pour l'ensemble des tranches de Chinon et pour les tranches 1 et 3 de Dampierre. Pour les autres sites, selon les paramètres, il s'agit des valeurs calculées ou mesurées.

Pour évaluer l'impact environnemental, EDF s'appuie sur trois étapes : l'analyse-retour d'expérience, l'évaluation substance par substance et la comparaison des concentrations attendues dans ces rejets par rapport aux objectifs de qualité des eaux fixés par le SDAGE de Loire-Bretagne. Cette démarche se situe donc dans un cadre strictement réglementaire, et non dans celui d'une argumentation scientifique visant à démontrer l'innocuité du procédé.

En effet, EDF signale que « *la présente étude réalisée selon la méthodologie habituellement utilisée dans les dossiers d'autorisation examinés par l'administration, permet d'évaluer les conséquences environnementales et sanitaires d'une généralisation éventuelle de ces traitements à l'échelle du bassin de Loire.. ;* » ; « *nous ne considérons dans cette partie que les textes réglementaires (décret 91-1283 du 19/12/1991) relatifs aux rejets chimiques étudiés dans le cadre de cette étude* ».

En revanche, concernant l'impact sanitaire EDF utilise la démarche d'analyse de risque classique en 4 étapes : l'identification des dangers, la définition des relations dose-réponse, l'évaluation des expositions et l'estimation des risques.

Les experts considèrent que si les principes méthodologiques retenus sont recevables, leurs applications, d'une manière générale, manquent de rigueur, ce qui nuit à la lisibilité et à la validité de l'étude et soulignent plusieurs limites du dossier présenté par EDF :

³ Soutien d'étiage : Action d'augmenter le débit d'un cours d'eau en période d'étiage à partir d'un ouvrage hydraulique.

- les rejets atmosphériques ne font pas partie de l'évaluation de l'impact sanitaire et environnemental dans le document Val-de-Loire. Les arguments justifiant la non prise en compte de ces rejets sont partiellement développés dans le document DMA de Chinon [13] ;
- seul le traitement par injection de monochloramine est pris en compte pour établir l'inventaire des substances rejetées. En effet, les interactions possibles entre le traitement à la monochloramine et les autres traitements (chocs chlorés, antitartre, anticorrosion) ne sont pas évoqués, alors que l'injection simultanée ou séquentielle de produits peut avoir un impact aussi bien sur l'efficacité des traitements que sur la formation des éventuels sous-produits. En effet, ces interactions pourraient conduire à la formation de sous produits qui ne seraient pas formés lorsque la monochloramine est mise en œuvre seule ;
- les séquences de traitement, entre le traitement à la monochloramine et la chloration massive ainsi que les doses utilisées ne sont pas clairement indiquées. Dans ces conditions un calcul sur différentes périodes des masses et des concentrations de produits rejetés est pratiquement impossible ;
- de nombreuses expressions, notamment des unités de mesure, ne sont pas clairement explicitées et représentent donc des sources d'erreur d'interprétation ;
- de nombreuses données sur lesquelles reposent les hypothèses retenues dans ce document ne sont pas décrites explicitement et leur source n'est pas précisée ;
- enfin, un certain nombre de conclusions est fourni par EDF sans que le lecteur puisse consulter aisément les données utiles à leur compréhension et à leur fondement.

En résumé, les experts considèrent que le document Val-de-Loire ne correspond pas un dossier dûment constitué tendant à démontrer l'innocuité des procédés et des procédures à l'aide d'un argumentaire solide.

II-1-Commentaires des experts sur l'évaluation de l'impact sanitaire fourni par EDF

Comme indiqué dans l'introduction du chapitre, EDF s'appuie sur la démarche classique d'évaluation des risques en 4 étapes pour évaluer l'impact sanitaire d'une généralisation du traitement à la monochloramine sur le bassin de Loire c'est-à-dire : l'identification des dangers (ou substances ayant des effets néfastes), le choix des valeurs toxicologiques de référence, l'évaluation de l'exposition des populations et la caractérisation des risques.

Les commentaires des experts sur l'identification des dangers, le choix de valeurs toxicologiques de référence et la population exposée sont présentés ci-après.

Des remarques sur les flux attendus et les arguments d'EDF concernant l'analyse détaillée substances par substances pour les impacts sanitaires et environnementaux font l'objet du sous chapitre II-3.

II-1-1-Concernant la caractérisation des dangers

Les experts regrettent que l'identification des dangers, c'est-à-dire, des substances pouvant avoir un effet néfaste pour l'homme soit placée dans une annexe en fin de rapport alors que cette partie constitue la première étape de l'évaluation du risque sanitaire. Ils considèrent

qu'il aurait été également nécessaire de présenter des chapitres concernant la caractérisation de l'environnement des installations étudiées, l'inventaire des substances, le choix des traceurs de risque sanitaire ainsi que la discussion des incertitudes de l'évaluation.

En effet, dans une étude d'impact, les autres traitements (chocs chlorés, anti-tartre, anti-corrosion) devraient être abordés ainsi que leurs interactions possibles avec le traitement à la monochloramine.

Par ailleurs, en ce qui concerne la détermination des concentrations pour un composé ou un groupe de produits donnés dans l'eau en aval du site de Chinon, la concentration en Loire est donnée par la formule ci-dessous : [15]

$$C_{Loire} = \frac{[C_{Chinon} \times D_{Chinon}] + [(C_{Civaux} \times D_{Civaux}) + F_{Civaux}]}{D_{Chinon} + D_{Civaux}}$$

C= Concentration

D= Débit en aval du site considéré

F= Flux du rejet

Les experts considèrent que la méthode de calcul des flux pour le site de Chinon n'est pas recevable, puisque dans la formule utilisée par EDF il est fait l'hypothèse que la quantité de composés rejetés par ce CNPE s'additionne à la quantité du même composé déjà présent dans l'eau de la Loire en amont, dans l'eau de la Vienne en amont de Civaux et du rejet de Civaux. Toutefois, pour estimer la concentration calculée en aval de Chinon EDF se place après la confluence de la Loire avec la Vienne. Ceci conduit à une sous-estimation de la concentration d'une substance donnée par le fait de l'addition du débit de la Loire et de la Vienne.

II-1-2-Concernant la population

Les experts soulignent que le bassin de vie considéré dans le document Val-de-Loire compte 1 230 000 habitants (ref. e). Un minimum de détails sur les caractéristiques de la population concernée par l'étude et l'usage des milieux hydriques (baignade, utilisation agricole, quantité annuelle, type de culture, abreuvement d'élevage...) sont indispensables pour caractériser la population dans l'évaluation des risques. Or le document Val-de-Loire ne présente aucune description de la population concernée.

Les experts regrettent que la seule voie d'exposition étudiée par EDF soit celle d'ingestion d'eau potable et que les usages de l'eau pour des activités agricoles n'aient pas été abordés de même que l'ingestion de végétaux et de produits animaux ayant été soumis aux retombées des panaches. Par conséquent il est difficile d'apprécier l'importance de cette voie d'exposition sur le niveau de risque sanitaire.

Concernant l'exposition *via* la consommation de poisson, EDF déclare « *Les substances étudiées ne sont pas bioaccumulables. Par conséquent, la population ne peut être exposée aux substances rejetées par cette voie.* » [13].

Cette analyse est un peu rapide. En effet, certains composés comme les AOX qui ont la propriété de s'adsorber sur charbon actif, présentent un potentiel d'accumulation dans les graisses des poissons. De plus, cette hypothèse de non accumulation n'est pas recevable puisque le niveau de rejet des métaux, zinc, cuivre provenant, notamment des traitements

antitartre, est élevé. Dans ce cas la bioaccumulation chez le poisson ne peut être exclue. Il aurait été plus satisfaisant de justifier l'absence de bioaccumulation des substances étudiées dans le poisson par des références bibliographiques. En l'état, la non prise en compte des phénomènes de bioaccumulation des AOX et des métaux lourds n'est pas recevable.

II-1-3-Concernant les hypothèses d'exposition et les choix des VTR

Deux types d'exposition sont étudiés : l'exposition chronique de l'homme lors d'un traitement continu à la monochloramine sur toute l'année et l'exposition aiguë lorsque le traitement est réalisé à dose élevée en monochloramine ou en période d'étiage.

Les experts considèrent que la méthode d'interprétation des doses d'exposition aiguë est surprenante car il s'agit en fait d'exposition plusieurs fois répétée dans la vie d'un individu mais de manière discontinue à des concentrations maximales.

Ils notent que l'équation de calcul des doses d'exposition est correcte mais que celle-ci ne mentionne pas la fréquence d'exposition (nombre de jours d'exposition par an), ainsi les experts ont considérée par défaut qu'elle était égale à 1.

Par ailleurs, les experts soulignent que la source des valeurs de paramètres d'exposition utilisés (poids corporel et quantité journalière d'eau ingérée) n'est pas précisée.

Dans le document Val-de-Loire, il est indiqué que les VTR établies pour les effets à seuil correspondent à une dose journalière admissible et que les VTR sans seuil de dose correspondent à un excès de risque unitaire (ERU). Ceci n'est pas exact puisque des acronymes différents sont données par chaque organisme qui établit les VTR et ceci aussi bien pour les VTR à seuil de dose que pour les VTR sans seuil de dose. D'autre part, dans les documents, les études sources ayant permis aux organismes d'établir les VTR ne sont pas référencées. Ce qui apparaît important et peut avoir un impact sur le choix des VTR.

Les VTR recommandées par les organismes suivants : le RIVM, Santé Canada ou l'OEHHA n'ont jamais été cités dans les documents remis par EDF. Il est également critiqué le rappel constant à l'US EPA ou à l'OMS alors que la réglementation européenne n'est pas ou rarement citée et que c'est essentiellement sur cette réglementation que l'évaluation du risque chimique devrait s'appuyer.

Les valeurs réglementaires indiquées dans le document Val-de-Loire sont souvent non référencées à l'exception des valeurs françaises et celles présentées pour la monochloramine. De plus, contrairement aux VTR, aucun choix, ni critère de choix de ces valeurs règlementaires n'a été indiqué et il n'est pas précisé si ces valeurs sont utilisées dans l'étude d'impact.

L'équation de calcul du Quotient de Danger (QD) est correcte ; en revanche, celle de l'excès de risque individuel (ERI) est incomplète : il manque le rapport T/Tm correspondant à la durée d'exposition des individus par rapport à la durée de vie standard (prise égale à 70 ans en suivant les recommandations de l'US EPA). Les experts ont considéré que ce rapport était égal à 1, ce qui sous-entend que les populations adultes sont exposées vie entière.

En résumé comme pour l'impact environnemental l'absence d'un réel argumentaire construit, structuré et démonstratif ne permet pas une évaluation rigoureuse du risque sanitaire.

Pour une meilleure lisibilité du document Val-de-Loire, il aurait été préférable d'indiquer dans le corps du texte les différents effets néfastes (toxiques, mutagènes, cancérogènes..) induits

par les substances étudiées ainsi que les valeurs toxicologiques de référence (VTR) et les valeurs réglementaires disponibles. Les experts soulignent qu'il est également très difficile de différencier dans le document Val-de-Loire ce qui relève du calcul et de la modélisation de la démarche expérimentale ou des données de terrains.

Pour toutes ces raisons la caractérisation des risques ne peut donc être correctement réalisée.

II-2 Commentaires des experts sur l'évaluation de l'impact environnemental fourni par EDF

Comme indiqué ci-dessus, EDF s'appuie sur trois étapes pour évaluer l'impact environnemental d'une généralisation du traitement à la monochloramine sur le bassin de Loire: l'analyse retour d'expérience, l'évaluation substance par substance et la comparaison des concentrations attendues dans ces rejets par rapport aux objectifs de qualité des eaux fixés par le SDAGE de Loire-Bretagne.

Les observations des experts sont présentées ci-après selon le plan suivant : analyse de données, choix de substances et calculs.

Le sous-chapitre II-3 concernant l'analyse détaillée substance par substance de l'impact sanitaire et environnemental présente les remarques des experts concernant les concentrations des substances rejetées, les flux attendus et leur impacts sanitaires et environnementaux lors du traitement à la monochloramine.

II-2-1-Concernant l'analyse des données collectées par EDF

EDF réalise le calcul des concentrations des rejets chimiques en supposant :

- une dispersion instantanée dans le milieu. Or, les rampes de dispersion utilisées par EDF ne se situent pas sur la totalité du profil transversal du cours d'eau et ne peuvent donc pas assurer une dispersion instantanée des rejets. Pourtant, EDF reconnaît qu'un mélange homogène des rejets n'intervient qu'après une distance comprise entre 500 m et quelques km en aval d'un CNPE et applique ainsi, un facteur de correction (k)⁴ notamment pour estimer la concentration des amibes ([9] ref.f). Ce facteur n'est néanmoins pas repris pour les calculs de la concentration de composés chimiques en aval des CNPE. Les experts concluent qu'il existe une hétérogénéité de la concentration des composés rejetés dans la rivière, entraînant une sous-estimation des concentrations en certains points et des surestimations dans d'autres et par conséquent, ne valident pas l'hypothèse de la dispersion instantanée des rejets ;
- un calcul par pas de temps mensuel alors que les contrôles sont effectués sur 24 heures (arrêté du 20/10/2005). Ceci entraîne un lissage des concentrations maximales observées puisque celles-ci sont moyennées sur le mois. Pourtant, l'existence de concentrations maximales est indiquée par EDF [*...Les concentrations maximales en nitrites dépassent le seuil de 0,3 mg.L⁻¹ de la grille de l'Agence de l'Eau, en situation exceptionnelle conjuguant débit très faible, niveau de traitement*]

⁴ Facteur de dilution k : coefficient de prise en compte de l'hétérogénéité du mélange des effluents du CNPE dans le cours d'eau à l'aval direct du CNPE.

renforcé (moins de 10% du temps) et situation d'exploitation particulière (redémarrage)...][14].

EDF utilise des résultats peu détaillés pour en apprécier leur validité. Les tests écotoxicologiques, par exemple, sont insuffisants en nombre et ne permettent pas d'effectuer l'estimation des niveaux d'exposition auxquels sont soumis les organismes aquatiques (PEC) ni la caractérisation des risques (PEC/PNEC). Parfois, les documents fournissent des données chiffrées sur des groupes de composés mais ne contiennent pas d'informations sur la toxicité de ces produits pour les populations, la flore et la faune et à l'aval des sites.

II-2-2-Concernant le choix des substances

L'évaluation des impacts proposé par EDF porte sur deux catégories de substances : les substances eutrophisantes et les substances toxiques.

EDF précise : « *Nous ne considérons dans cette partie que les textes réglementaires (décret 91-1283 du 19/12/1991) relatifs aux rejets chimiques étudiés dans le cadre de cette étude* ».

Pourtant, seules les substances imposées par les arrêtés en vigueur pour le suivi analytique des rejets issus du traitement à la monochloramine (CRT, AOX, Chlorures, Sodium, Ammonium, Nitrites et Nitrates) sont considérées dans le dossier d'étude d'impact « Val de Loire ». Les experts regrettent que cet inventaire ne prenne pas en compte les autres substances qui font aussi l'objet d'un suivi de rejets comme indiqué dans les arrêtés en vigueur pour chaque CNPE.

Il est à noter que pour certaines substances, des seuils de gestion à ne pas dépasser dans les rejets sont imposés par des arrêtés, c'est le cas de l'ammoniac, des nitrites et des nitrates tel qu'indiqué dans le tableau 5.

Rappelons aussi, comme indiqué dans le logiciel SEQ eau, que les seuils doivent être respectés pour 90 % des mesures sur la base d'une fréquence de prélèvement mensuelle⁵.

Malgré les remarques précédentes, les experts considèrent que le principe d'évaluation des concentrations dans le milieu est intéressant dans la mesure où les installations ne sont pas considérées isolément dans le document Val-de-Loire et que l'influence des autres installations est prise en compte. Ainsi, le terme source d'une substance donnée sur un site donné est constitué du flux de la substance sur le site, additionné des flux des sites localisés en amont de la même substance.

Enfin, les experts considèrent qu'une meilleure connaissance de l'origine de certains sous-produits de désinfection tel que la NDMA ou les THM permettrait de mieux comprendre la caractérisation des flux à l'émission utilisée pour les calculs de risques notamment sanitaires.

⁵ Règle des 90 % : on retient la classe la plus défavorable après avoir éliminé 10% des plus mauvais prélèvements. On évite ainsi de prendre en compte des conditions exceptionnelles, peu représentatives de la situation réelle observée.

Tableau 5 : concentrations de référence pour différentes substances

	Ammonium Total NH_4^+ (mg.L ⁻¹)	Nitrates (mg.L ⁻¹)	Nitrites (mg.L ⁻¹)
Décret 19/12/1991 Valeurs guides	0,2* (cyprinidés) 0,04** (salmonidés)		0,03* (cyprinidés) 0,01**(salmonidés)
Décret 19/12/1991 C max	1 (cyprinidés) 1 (salmonidés)		
SDAGE Bretagne/Loire 1B	0,2	7 / 10 / 25	

*cyprinidés : poisson d'eau douce des régions tempérées de l'hémisphère nord, caractérisé par une nageoire dorsale unique (carpe).

**salmonidés : poissons à deux nageoires dorsales tels que le saumon ou la truite.

II-2-3-Concernant les calculs et les paramètres pris en compte

Les experts signalent que les séquences entre le traitement à la monochloramine et la chloration massive ne sont pas clairement indiquées. Les doses utilisées ne sont pas non plus précisées. Dans ces conditions un calcul sur différentes périodes de la masse et de la concentration de différents produits rejetés est pratiquement impossible.

De nombreuses expressions, notamment des unités de mesure, ne sont pas clairement explicitées et représentent donc des sources d'erreur d'interprétation. En effet, des termes tels que « concentrations moyennes », « concentration ajoutée », « concentrations cumulées » et « concentrations maximales cumulées » ne sont pas définies.

Au-delà du manque de définition de ces unités, les résultats fournis ne présentent pas la cohérence nécessaire : les concentrations ajoutées moyennées sont soit mesurées soit calculées pour chacune des centrales pour **des mois différents**. Ces valeurs ne peuvent donc pas être comparées entre elles ni permettre une évaluation de l'impact bien qu'elles donnent l'impression de se situer dans le cas le plus défavorable.

Par ailleurs les experts remarquent que la méthode de calcul des flux à l'émission (annuels et 24h) de chaque substance n'est pas détaillée. Il en est de même pour les conditions d'obtention des concentrations en amont. Néanmoins, ils soulignent que l'évaluation des concentrations uniquement basé sur le calcul du flux est majorante.

En conclusion, les experts considèrent la méthode d'évaluation des concentrations dans les rejets pour l'étude d'impact environnemental comme recevable car cette méthode prend en compte l'hypothèse maximaliste que la quantité de composés rejetés par un CNPE s'additionne à la quantité du même composé déjà présent dans l'eau de la Loire (d'origines diverses) en amont du CNPE suivant. Cependant, ils regrettent que malgré les nombreuses auditions et demandes, des interrogations soient restées sans réponse. Des précisions faisant défaut, il n'est pas possible d'avoir une vision sinon exacte du moins cohérente sur l'ensemble de la démarche.

II-3-Concernant l'analyse détaillée substance par substance de l'impact sanitaire et environnemental faite par EDF

II-3-1-La monochloramine

La monochloramine rejetée est une source de composés chlorés dans le milieu naturel. Les experts regrettent qu'aucun inventaire ni information sur ses sous-produits n'ait été fournie par EDF dans le document Val-de-Loire et qu'un document complémentaire sur l'un d'entre eux, la NDMA, ne leur ait été remis qu'à la suite de leur demande.

Bien que la monochloramine ne figure pas sur la liste des composés de la directive européenne biocide, il aurait été souhaitable de fournir des informations toxicologiques et écotoxicologiques sur ce composé notamment le fait que certaines études chez l'animal ont montré des effets hématologiques dont certains sont significatifs (IPCS/INCHEM, 2000).

Par ailleurs, EDF ne mentionne pas dans le document Val-de-Loire que la monochloramine a été classée par le CIRC en 2004, en groupe 3. Pour information, cette section regroupe les agents dont le mécanisme de cancérogénicité bien qu'observé chez l'animal, n'est pas transposable à l'homme ou que le risque cancérogène pour l'homme n'a pas été démontré.

Enfin, les experts signalent qu'EDF propose une DJA de $100 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour une exposition chronique par ingestion de monochloramine référencée « US EPA (IRIS) 1997 », alors que cette VTR a été construite en 1994 et revue en 2005 par cet organisme.

II-3-2- Composés azotés

Ammoniac

L'ammoniac existe simultanément sous deux formes : NH_3 (ammoniac non ionisé) et NH_4^+ (ions ammoniums). La proportion de chacune des formes dépend en grande partie du pH et de la température.

Les seuils de toxicité de l'ammoniac total varient selon les sources d'information. Certains travaux ont montré que la tolérance des poissons à l'ammoniac augmente avec la concentration en oxygène. Il est recommandé que les concentrations d'ammoniac sous la forme toxique (NH_3) ne dépassent pas $0,003 \text{ mg.L}^{-1}$ pour les alevins et de $0,006$ à $0,010 \text{ mg.L}^{-1}$ pour les plus gros poissons (Morin, 2006).

Le tableau 6 présente les concentrations maximales en ammoniac total exprimées en mg.L^{-1} (ammoniac et ammonium) conseillées pour une eau d'élevage pour différentes températures et pH, afin de ne pas dépasser un seuil toxique de $0,010 \text{ mg.L}^{-1}$ en ammoniac toxique.

Les concentrations maximales cumulées en ammonium varient de $0,09 \text{ mg.L}^{-1}$ en aval du CNPE de Belleville à $0,26 \text{ mg.L}^{-1}$ au CNPE de Chinon. EDF signale « *la concentration maximale aval de Chinon dépasse par contre les valeurs guides définies dans l'arrêté de 1991 (dont $0,2 \text{ mg/L}$ pour les eaux cyprinicoles). Cette concentration est cependant rarement rencontrée (elle correspond à un débit d'étiage et à un rejet maximal) et reste néanmoins en deçà de la valeur impérative de 1 mg/L de l'arrêté.* »

Ces valeurs sont largement inférieures à la valeur limite pour l'eau de boisson (4 mg.L^{-1}) et à la valeur guide eau (2 mg.L^{-1}).

Les experts notent qu'aucune information sur la concentration en ammoniac toxique n'a été fournie dans les documents.

Tableau 6 : Qualité de l'eau requise pour l'élevage des salmonidés (Morin, 2006)

Température °C	pH				
	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
0	38,3	12,1	3,8	1,22	0,39
5	25,3	8,0	2,5	0,81	0,26
10	17,0	5,4	1,7	0,55	0,18
15	11,6	3,7	1,2	0,38	0,13
20	8,0	2,5	0,8	0,28	0,09

Nitrates

Les nitrates représentent la seconde source, après les phosphates, de l'eutrophisation des eaux douces.

Les concentrations cumulées moyennes mensuelles maximales ainsi que les concentrations maximales, après mélange dans le milieu, en aval des 4 CNPE, restent inférieures (21 mg.L^{-1}) aux valeurs précisées par le décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 de 50 mg.L^{-1} .

Les experts rappellent qu'EDF prend en compte des valeurs moyennées, les effets de pic sont lissés et masquent donc les expositions fortes, même si l'on présume que ce sont sur des temps relativement courts et constatent que malgré ce lissage les concentrations cumulées dépassent largement, dans tous les CNPE, la valeur SEQ Eaux qui s'élève à 10 mg.L^{-1} [15].

Par ailleurs, les experts considèrent comme non-recevable l'argument d'EDF qui préconise que les faibles concentrations en phosphore présentes dans l'eau de la Loire l'autoriseraient à rejeter des nitrates. Certes, l'absence ou la présence limitée de phosphore permet de limiter l'eutrophisation du milieu aquatique mais ne justifie en aucun cas les rejets de nitrates au dessus de la valeur SEQ.

En outre, les experts attirent l'attention sur le fait que seules les populations adultes et nourrissons sont étudiées dans le document Val-de-Loire, alors qu'il aurait été nécessaire de prendre en compte la population enfant (par exemple l'enfant de 6 ans) pour laquelle le rapport quantités ingérées/poids corporel est le plus défavorable, et par conséquent représente la population la plus exposée. Les calculs d'évaluation de risques sanitaires ne sont donc pas complets.

D'autre part, la VTR de $1,6 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$, établie par l'US EPA, a été convertie par EDF en une VTR de $7,1 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$. Pour ce faire EDF intègre dans le calcul le fait que les nitrates contiennent 23% en masse d'azote [15]. Or, rien ne précise dans les documents de l'US EPA que cette VTR a été exprimée en masse d'azote et donc rien ne justifie le calcul réalisé par EDF. Ce calcul est d'autant plus difficile à accepter que la VTR construite par l'OMS n'a pas été modifiée par EDF de la même façon.

De plus, la modification de la VTR établie par l'US EPA, effectuée par EDF, conduit à une incohérence. En effet, la VTR de l'OMS de $3,7 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ qui protège les adultes devient dans ce cas plus pénalisante que celle de l'US EPA reconstruite par EDF (nouvelle valeur calculée = $7,1 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$) pour les nourrissons. Pourtant, les nourrissons sont plus sensibles que les adultes aux nitrates.

Nitrites

Les nitrites représentent le premier composé issu de l'oxydation de l'ammoniac par la flore bactérienne. Ils contribuent à l'eutrophisation des milieux aquatiques et présentent une toxicité élevée. Les effets létaux ou sub-létaux de l'espèce nitrite ont surtout été mis en évidence dans la littérature pour les salmonidés adultes et juvéniles (Smith et Williams, 1974 ; Perrone et Meade, 1977 ; Russo *et al.*, 1981 ; Massa *et al.*, 2000). Les concentrations sans effets indésirables généralement admises varient en fonction des concentrations en chlorures, entre 0,02 à $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ pour les rivières à salmonidés

En ce qui concerne l'impact environnemental, même si EDF respecte les limites réglementaires, les experts constatent que les concentrations de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ et $0,72 \text{ mg.L}^{-1}$ obtenues 10 % du temps dépassent largement les limites de qualité acceptables pour les salmonidés.

Les experts constatent que les nitrites sont générés lors du démarrage du traitement à la monochloramine.

Quant à l'impact sanitaire, la valeur de $0,33 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ indiquée dans le document Val-de-Loire comme étant la VTR proposée par l'US EPA ($0,1 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$) pour une exposition chronique par ingestion aux nitrites a été également calculée par EDF, comme pour les nitrates, en tenant compte du fait que les nitrites contiennent 30% en masse d'azote [15]. Or, rien ne justifie cette modification. Les experts remarquent que la prise en compte de cette VTR modifiée a une conséquence sur l'évaluation du risque final.

De plus, il est mentionné que la VTR élaborée par l'US EPA pour une ingestion de nitrites a été construite pour une exposition chronique alors que dans le corps du texte du document Val-de-Loire est indiqué que cette VTR est valide pour une exposition aiguë [15]. Si l'US EPA a élaboré cette VTR pour qu'elle soit applicable pour une exposition chronique, il est difficile de l'utiliser telle quelle pour une exposition aiguë à moins qu'une recherche approfondie à ce sujet soit réalisée.

Le calcul des flux de nitrites, générés de façon épisodique et temporaire n'est pas du tout explicite. Il mériterait d'être éclairci pour valider les résultats de risque pour les nitrites.

II-3-2-Les autres substances

MES

La composition des MES provenant des fosses de neutralisation n'est pas présentée dans les documents d'EDF. Les raisons pour lesquelles ces MES sont rejetées dans la rivière ne sont pas décrites non plus [13].

AOX

Les AOX (Composés organohalogénés absorbables sur charbon actif) sont des substances organiques contenant des halogènes, présentes dans l'eau. Ils regroupent un large éventail de produits parmi lesquels on peut citer les trihalométhanes (THM), les acides chloracétiques, les chloroacétonitriles et les chloracétones. Dans les cours d'eau éloignés de toute source de pollution, on peut trouver un niveau relativement élevé d'AOX, puisque les champignons et les moisissures qui décomposent le bois produisent des acides chlorés phénoliques et humiques naturels. Les AOX sont donc simplement des indicateurs de qualité et non de toxicité.

La *moyenne mensuelle des concentrations ajoutées* en AOX passe de 2 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ au CNPE de Belleville pour atteindre 142 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ en aval du CNPE de Chinon, avec des concentrations maximales à 35 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ pour cette dernière centrale. Les concentrations cumulées mensuelles moyennes maximales quant à elles se situent entre 25 et 33 $\mu\text{g.mL}^{-1}$.

Les experts signalent qu'il conviendrait de définir avec précision ce que recouvrent ces deux appellations compte tenu de la difficulté de détermination de la composition des AOX. En effet, les AOX à l'amont et à l'aval de chacune des centrales sont des molécules vraisemblablement pas de même nature. La composition considérée par EDF étant hypothétique, les calculs de la concentration mensuelle moyenne et de la concentration cumulée mensuelle moyenne dans le document Val-de-Loire ou des doses journalières d'exposition maximales dans le document DMA et leur comparaison aux DJA des acides chloracétiques n'est pas recevable. Pour cela il faudrait que les molécules composant les AOX soient identifiées et leur toxicité évaluée.

Il faut également souligner que l'acide trichloracétique a été classé par le CIRC en catégorie 3⁶ en 2004 et en groupe 3 A par l'ACGIH⁷. Ceci n'a pas été précisé dans le rapport.

Enfin, des campagnes de mesure d'AOX sont mentionnées dans les documents relatifs au bilan des concentrations en légionelles pour l'année 2005 [3]. Cependant les experts notent qu'EDF apporte des informations contradictoires dans ce document. Ainsi par exemple, les concentrations maximales d'AOX sont inférieures à 30 $\mu\text{g.L}^{-1}$ pour les sites de Chooz et Golfech (page 52 du document) alors que des valeurs d'AOX ajoutées aux rejets bien inférieures de 9 et 6 mg.L^{-1} sont données respectivement pour Chooz et Golfech (page 37 du même document).

Il aurait été également utile de fournir l'étude provenant de l'agence de l'eau qui définit un seuil en dessous duquel il n'y a pas de risques chroniques sub-létaux pour les espèces les plus sensibles, notamment les juvéniles.

THM

Les experts notent qu'aucune donnée de concentration en THM n'est disponible dans le dossier Val-de-Loire. EDF argumente cette position par le fait que la monochloramine ne peut en générer.

⁶ Catégorie 3 de l'IARC : agent inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme

⁷ Groupe 3A de l'ACGIH : cancérogène confirmé chez l'animal ; la transposition à l'homme est inconnue.

Les experts signalent que, bien que l'utilisation de la monochloramine réduise considérablement la production de THM, on ne peut cependant pas éviter la décomposition de celle-ci car son hydrolyse conduit à la libération de traces de chlore (HOCl/OCl) pouvant induire la formation de THMs.

Chlorure, sodium

Aucun effet indésirable chez l'homme pour ces deux substances n'est décrit dans les documents. Il est également à noter qu'aucune VTR n'existe actuellement pour les ions chlorure et sodium. Cependant, il aurait été utile de le préciser dans les documents.

CRT

EDF déclare dans le document Val-de-Loire que :

« Aucune valeur de référence, n'est indiquée dans la grille de l'AELB, le SEQ-Eau et les différents arrêtés. Une fois rejetée en rivière, comme tout oxydant, la monochloramine va réagir avec la matière organique disponible pour former des AOX. Les tests chroniques effectués en période de traitement à la monochloramine dans les rejets des CNPE ne montrent pas de toxicité. » [15].

Les experts rappellent que le chlore résiduel total (CRT) n'est que l'appellation générique d'un large ensemble de composés chlorés résultant des divers traitements appliqués : chloramination, chocs chlorés, désentartrage...Le CRT ne se limite donc pas au chlore *stricto sensu* (chlore résiduel libre), même dans le cas d'un unique traitement par la monochloramine, mais englobe l'ensemble de molécules ayant réagi avec le chlore. Dans le cas des chocs chlorés notamment, le chlore résiduel libre va réagir avec les composés présents dans l'eau de la Loire et produire, entre autres, des AOX. Une attention particulière devrait donc être portée à la composition des CRT et à leur capacité à générer d'autres composés dont l'innocuité resterait à démontrer.

Nitrosamines

Les experts remarquent que lors de l'audition d'EDF du 19/09/2006, EDF a présenté les résultats d'une étude de laboratoire permettant d'estimer les rejets en Loire de N nitroso-diméthylamine (NDMA), sous-produits issus du traitement à la monochloramine. Les essais ont été effectués avec de l'eau brute prélevée en amont des CNPE de Belleville, Nogent et Civaux et consistaient à réaliser un choc à la monochloramine. Les doses de monochloramine utilisées étaient plus importantes que celles habituellement utilisées par EDF, afin de permettre la détection des sous-produits (1 mg.L⁻¹ eq Cl₂ en monochloramine). Les concentrations en NDMA ont été mesurées en fonction du temps. Un maximum de 6 ng.L⁻¹ a été mesuré au bout de 24h. EDF extrapole les résultats de ces essais et conclut à une absence d'impact alors que les résultats de laboratoire montrent une augmentation de la concentration en NDMA dans le milieu. [16]

Par ailleurs, EDF déclare dans le document présentant le bilan en légionelles de l'année 2005[3] : *[..Ces résultats sont à comparer avec ceux issus de mesures de nitrosamines réalisées en 2003 et 2004 sur le terrain, visant à rechercher certains sous-produits de monochloramination potentiels au rejet et à l'aval des CNPE...]*.

En effet parmi 40 mesures au rejet sur 5 sites, la concentration en NDMA a légèrement dépassé une seule fois la limite de quantification au rejet sur le site du CNPE de Bugey en juillet 2004, avec une valeur de 34 ng.L⁻¹. Toutes les mesures de NDMA au rejet de CNPE effectuées par la suite se sont révélées inférieures à la limite de quantification (15 ng.L⁻¹)

Les résultats de ces mesures sont à comparer avec :

- la valeur d'objectif de santé publique de 3 ng.L⁻¹ proposée par le « Drinking Water California Public Health Goal December 2006 » (ref.d),
- et les 6,6 ng.L⁻¹ de NDMA, formés après un maximum de 24 heures de réaction entre la monochloramine et le mélange d'eau brute prélevée en amont des CNPE obtenus en laboratoire par EDF [16].

EDF relativise les flux de NDMA rejetés par ses installations par rapport aux flux générés par la chloration d'eaux résiduaires urbaines. Or la chloration d'eaux usées est très ponctuelle en France et les débits traités des CNPE sont bien plus importants. Cette dernière remarque est valable pour les flux (débit x concentration) de tous les éléments rejetés.

II-4-Conclusions concernant les impacts sanitaires et environnementaux

Les experts soulignent que :

- si l'étude qui est proposée, présente clairement les principes de la méthode qui a été adoptée, elle ne présente pas cependant l'application de la méthode d'évaluation des risques attendue ;
- l'évaluation par substance est basée sur des résultats très synthétiques et les conclusions sont mal formulées. Ainsi le document présenté ne permet pas de conclure à une absence d'impact ;
- la Directive 2006/11/CE du 15 février 2006 demande aux Etats membres, dans son article 3, l'élimination de composés comme les organohalogénés et autres substances pouvant donner naissance à de tels composés dans le milieu aquatique ;
- l'absence d'information sur les rejets gazeux issus du traitement à la monochloramine notamment pour les impacts sanitaires ;
- l'évaluation de l'exposition humaine n'est basée que sur l'ingestion d'eau alors que d'autres voies telles que l'ingestion de produits agricoles auraient dû être pris en compte ;
- la population la plus exposée et la plus sensible (nourrisson) n'est pas considérée dans l'évaluation de risques.
- le choix des valeurs toxicologiques de références est inapproprié.

Globalement, le manque d'informations sur la composition précise des rejets et la toxicité des substances composant ces rejets ne permet pas de réaliser une analyse complète des impacts de ces rejets. De nombreuses données sur lesquelles reposent les hypothèses retenues dans le document de base Val-de-Loire ne sont pas décrites explicitement et leur source n'est pas précisée (certaines justifications, restant partielles et fragmentaires, ont été trouvées dans des documents annexes fournis par EDF). Par ailleurs, les auteurs renvoient à des études non référencées. Ceci nuit gravement à la lisibilité et la transparence de l'étude.

En outre, dans le choix des substances retenues pour l'évaluation des risques, il n'est pas tenu compte de la simultanéité des différents traitements (antitartre, antiacides, antilégionelles, anticorrosion) pouvant engendrer également des sous-produits toxiques.

Les concentrations des substances chimiques dans le milieu ne tiennent pas compte ni des objectifs réglementaires ICPE à atteindre ni des diminutions des débits d'étéage des cours d'eaux susceptibles de se produire avec les évolutions climatiques.

L'ensemble de ces remarques ont à l'évidence des conséquences sur l'évaluation des risques sanitaires qui est faite et, dans ces conditions, les experts ne peuvent conclure sur la validation de cette étude.

***Chapitre III -
CONCLUSIONS
et RECOMMANDATIONS***

Le groupe de travail tient à témoigner de l'énorme difficulté qu'il a rencontrée tout au long de ses travaux pour apprécier la cohérence et la fiabilité des données dans la volumineuse documentation fournie par EDF. En effet, les données utiles à l'expertise sont fragmentées et ont nécessité un laborieux et hasardeux travail de recollement pour tenter d'en apprécier la complétude et la validité.

Rappelons ici que les travaux menés au cours de la première phase de la saisine, avaient permis de conclure sur l'irrecevabilité de la démonstration présentée par EDF visant à justifier l'écart entre les seuils d'interventions provisoires retenus pour les CNPE par l'ASN (courrier de l'ASN du 16 juin 2006) et ceux de la réglementation des ICPE.

Au cours de cette deuxième phase, EDF a présenté les traitements de lutte contre la prolifération de légionelles dans ses installations CNPE ainsi que les risques sanitaires et environnementaux liés à leurs rejets dans l'environnement. Deux types de traitements sont appliqués par EDF, l'un, antitartre et l'autre, biocide.

Bien qu'EDF utilise un indicateur d'entartrage, l'indice de Ryznar, celui-ci ne permet qu'une appréciation qualitative de l'entartrage du circuit de refroidissement. Ainsi, en absence de données quantitatives de production de tartre présentées par EDF, les experts ne peuvent se prononcer ni sur l'efficacité réelle des différents traitements à visée antitartre utilisés, ni sur l'impact de leurs rejets sur l'environnement.

Dans sa stratégie de lutte contre les légionelles (et les amibes), EDF a choisi d'utiliser des traitements biocides à base d'oxydants chlorés, injectés soit en continu (monochloramine), soit en traitement « choc » (chlore), dans l'eau des circuits de refroidissement des CNPE.

Ces traitements visent à maintenir la concentration en légionelles dans les circuits de refroidissement tertiaires en deçà des seuils d'intervention fixés provisoirement par l'ASN pour ces installations. Par rapport à ces seuils d'intervention, le traitement continu à la monochloramine actuellement appliqué par EDF permet de limiter temporairement et ponctuellement l'augmentation de la concentration en légionelles dans l'eau des bassins froids, mais il ne permet pas de maîtriser durablement leur concentration. *A fortiori*, dans un objectif d'atteindre à terme un seuil de 10^3 UFC.L⁻¹, ce traitement continu ne permettra pas de garantir le seuil d'intervention réglementaire applicable aux ICPE. De plus, d'après les conclusions mêmes d'EDF, le traitement à la monochloramine aurait pour conséquence, s'il était généralisé à l'ensemble des tranches du bassin de Loire, d'exercer une pression *difficilement supportable* sur l'écosystème, au regard des objectifs retenus par le SDAGE du bassin de la Loire.

Les traitements actuellement mis en place par EDF ne peuvent constituer l'unique stratégie de réduction du risque légionelles en raison de recolonisations rapides des circuits de refroidissement, de l'effet limité des désinfectants sur les biofilms, des rejets dans le milieu que cela occasionne et du risque d'acquisition de résistances des bactéries.

Dans les conditions actuelles d'applications par EDF, les experts considèrent que l'absence d'impact des traitements n'est pas démontré ni pour la santé humaine ni pour l'environnement.

En outre, en n'envisageant pas l'application d'autres traitements biocides que celui décrit dans les documents soumis aux experts, EDF devrait, pour respecter les seuils en vigueur dans les ICPE, dimensionner un procédé où les quantités de produits biocides alors mises

en œuvre seraient telles que, nonobstant une inefficacité probable pour atteindre le seuil ICPE, ce traitement constituerait en plus une réelle menace en terme d'impacts environnementaux et sanitaires.

Ainsi une voie alternative ou complémentaire au traitement adopté par EDF aujourd'hui s'impose. Une piste a déjà été évoquée au cours de la première phase, celle-ci consiste à adopter un pré-traitement de l'eau d'appoint. Il appartient à EDF d'apporter la preuve que le pré-traitement de l'eau d'appoint permettrait une amélioration de l'efficacité des traitements biocides et antitartre, une réduction drastique des rejets dans l'environnement ainsi qu'une absence d'impact sur la santé humaine et sur l'environnement.

A la demande de l'ASN en décembre 2006 et suite aux remarques des experts, EDF a présenté au groupe d'experts en avril 2007 un programme d'étude reprenant un certain nombre d'actions suggérées au cours des différentes auditions.

Les experts regrettent qu'aucun objectif chiffré sur les niveaux de concentration en légionelles dans le circuit de refroidissement à atteindre, n'ait été spécifié dans ce programme. Cependant, ce programme atteste de la volonté d'EDF de mettre en œuvre un certain nombre d'actions dans la perspective d'une meilleure maîtrise du risque légionelles.

C'est dans ce même esprit que le groupe d'experts a proposé au cours des auditions des recommandations présentées ci-dessous, dont certaines sont d'ores et déjà en cours d'évaluation par EDF.

Les experts attirent en priorité une attention toute particulière sur :

- **les 6 sites CNPE ne pouvant bénéficier actuellement d'un traitement biocide**
- **le bassin de Loire où sont concentrées 4 installations ;**
- l'intérêt d'une veille scientifique et d'une approche technique afin de détecter la diminution ou la perte de sensibilité aux agents chlorés des amibes et des légionelles

et rappellent que les rejets envisagés actuellement ne correspondent pas à un traitement visant à respecter les seuils de gestion retenus par la réglementation ICPE.

Les experts émettent les recommandations suivantes :

➤ à court terme, mettre en œuvre dans le but d'améliorer le **contrôle qualité** global de la gestion du risque « Légionelles » les actions suivantes :

- coupler **les suivis amibes totales et *legionella* spp**, en particulier *L. pneumophila*, compte tenu du rôle de réservoir des amibes environnementales ;
- améliorer la **gestion qualité** des protocoles de prélèvements et analyses, principal support décisionnel d'action. Cette action devrait inclure :
 - **une cartographie** individualisée des points critiques d'échantillonnage au niveau des circuits de refroidissement et des bassins froids de l'aéroréfrigérant,
 - **une harmonisation logistique** inter- et intra-sites des méthodes de prélèvements, de conservation et d'acheminement des échantillons jusqu'au laboratoire de manière à obtenir une meilleure « lisibilité » de la répartition des tâches ;
- améliorer l'exploitation des résultats (microbiologiques, physico-chimiques, climatiques...) collectés au sein de chaque site. Notamment prévoir une adaptation du **rythme du suivi** des concentrations de légionelles et d'amibes en fonction des conditions et /ou contraintes environnementales locales, durables ou transitoires ;

- assurer la **traçabilité** de toutes les procédures et méthodes, du prélèvement au résultat et à son interprétation, ainsi que celle des actions préventives et/ou curatives qui en résultent ;
- fournir la composition et les concentrations précises dans les rejets des composés ajoutés et formés par l'ensemble des traitements au pas de temps journalier ainsi que l'historique complet des traitements effectués tranche par tranche, site par site ;
- mener une évaluation des risques pour la santé et l'environnement, inspirée des documents de référence du domaine dont certains sont cités par EDF dans ses études, mais en respectant les règles de bonnes pratiques comme par exemple dans le choix des VTR et dans l'évaluation des expositions ;
- évaluer la toxicité des composés présents dans ces rejets pour la santé humaine et pour l'environnement ;
- renforcer et optimiser la pertinence des **plans préventifs anti-légionelles**, pour chaque site et en particulier pour les sites ne pouvant accéder aux traitements biocides ;
- établir des logigrammes d'action et ce, site par site voire tranche par tranche. Pour ce faire, les experts suggèrent qu'EDF :
 - définisse les critères physico-chimiques (en liaison avec des paramètres climatiques et environnementaux) permettant une hiérarchisation des situations à risques de prolifération de légionelles,
 - identifie des actions appropriées à chaque situation.
- réaliser une étude d'impact sanitaire plus détaillée notamment en considérant les phénomènes d'accumulation des polluants dans le milieu ;

➤ au terme des programmes actuellement menés et présentés par EDF, mettre en œuvre les actions suivantes:

- définir les contraintes et évaluer l'efficacité d'un **traitement amont de l'eau brute**. La mise en place de ce dispositif de traitement amont suppose une intervention de nettoyage/désinfection préalable du circuit de refroidissement ;
- en cas de traitement amont de l'eau, évaluer le bénéfice sur **les traitements biocides actuels et l'efficacité éventuelle d'autres traitements** ;
- améliorer la stratégie **d'autocontrôle** des installations par :
 - l'utilisation, la validation et la comparaison des **méthodes de quantification rapide** de légionelles dans les eaux ;
 - la recherche et l'évaluation de marqueurs physiques, chimiques et/ou biologiques susceptibles d'être des indicateurs d'une prolifération de légionelles (flore totale...) ;
 - le monitoring des traitements à partir des données de quantification rapide et d'autocontrôle ;
- Evaluer une stratégie de maîtrise **des biofilms**

ANNEXES

ANNEXE 1

LEGIONELLA ET LEGIONELLA PNEUMOPHILA

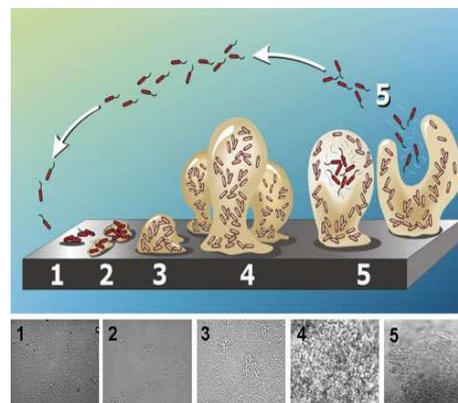
Dans la lignée des γ protéobactéries, la famille des *Legionellaceae* est un sous-groupe mono phylogénique consistant en un seul genre nommé *Legionella*. On dénombre à ce jour plus d'une cinquantaine d'espèces et plus de 70 sérogroupes distincts. L'espèce *Legionella pneumophila* (*L. pneumophila*), la plus fréquemment pathogène chez l'homme, comporte à elle seule 15 sérogroupes. Cette famille bactérienne est en constante évolution puisque de nouvelles espèces sont régulièrement identifiées.

Les *Legionella* sont ubiquitaires et hydro-telluriques. Elles ont pour principal habitat naturel les eaux douces (la salinité élevée de l'eau de mer ne permet pas leur survie). Dans la classification des eaux douces, on distingue les réservoirs naturels (par exemple les lacs, rivières et sources) et les réservoirs artificiels créés par l'homme dans lesquels circulent des flux aqueux dits « domestiqués » (par exemple les systèmes de climatisation, les systèmes d'eau chaude sanitaire, les fontaines urbaines, les tours aérofrigorifères, les dispositifs médicaux producteurs d'aérosols, etc...) qui sont la source de la propagation à grande échelle et des cas sporadiques ou épidémiques de contamination humaine vectorisés par des aérosols infectés.

Les amibes sont des prédateurs hydro-telluriques se nourrissant de bactéries, de champignons et d'algues par phagocytose puis digestion dans le phagolysosome. Quelques microorganismes ont évolué de façon à, soit éviter la phagocytose, soit éviter la digestion post-intériorisation. *Legionella* appartient à cette deuxième catégorie en ayant, de surcroît, développé une capacité à se multiplier et lyser l'amibe hôte. Ainsi, 14 espèces d'amibes peuvent jouer le rôle de réservoir naturel et de vecteur de propagation et de distribution de *Legionella* au sein des réseaux d'eau douce naturels et/ou artificiels.

Il est prouvé que le développement des bactéries d'origine hydrique, et de *Legionella* en particulier, est intimement liée à la biogénèse de biofilm. Dans les réseaux artificiels d'eau potable, qui sont des milieux oligotrophes en comparaison aux réservoirs naturels, l'interface eau-matériaux est le lieu privilégié pour l'accumulation de matières organiques et de bactéries. De plus, les matériaux métalliques contenant du fer, du zinc et de l'aluminium et les produits de corrosion associés stimulent la croissance et la survie de *Legionella*. Ces facteurs concourent au développement d'un biofilm qui est un agglomérat de microorganismes multi-espèces contenus dans une matrice extra-cellulaire solidement arrimé à un support polymérique extra-cellulaire (Figure 5.). Dans le biofilm co-existent donc *Legionella* et les amibes non pathogènes. Ces films adhèrent aux surfaces submergées et sont trouvés dans l'environnement aquatique. Ces communautés microbiennes sessiles adoptent un phénotype particulier en terme de croissance et d'expression génétique. Les microorganismes relargués à partir de ces structures sédentaires sont appelés « planctoniques ». Le biofilm sert de réservoir de nutriments, de niche protectrice vis à vis des biocides.

Figure 5 Dynamique de formation et d'organisation et de persistance du biofilm



Ces dix dernières années, d'énormes progrès ont été effectués dans la compréhension du cycle infectieux de *L. pneumophila* où l'on distingue désormais deux états bactériens ou phénotypes: la forme intracellulaire cloisonnée au sein d'une vacuole cytoplasmique autonome ou forme intra-vacuolaire et la forme mature aussi appelée MIF (mature

intracellular form) libérée par la lyse vacuolaire. Ce dimorphisme temporel est couplé à un dimorphisme structurel et fonctionnel (Figure 6) :

- sur le versant structurel, les bactéries intra-vacuolaires sont longues, filamenteuses, non flagellées. Leur nombre est en expansion logarithmique grâce à l'exploitation du métabolisme énergétique cellulaire. Par contre, les bactéries matures sont courtes, motiles, riches en inclusions cétoniques (source d'énergie carbonique). La densité bactérienne est faible résultant d'un effet stationnaire de croissance dû à un état d'épargne métabolique.
- sur le versant fonctionnel, la forme intra-vacuolaire multiplicative correspond à un phénotype avirulent de *Legionella* dédié à la prolifération bactérienne. Par contre, la forme mature libérée dans le milieu extra-cellulaire cumule des caractéristiques de résistance et de virulence. En effet, ces formes bactériennes sont plus résistantes aux biocides, aux antibiotiques et aux variations osmotiques. Concernant leur virulence, elles sont plus cytotoxiques, expriment des états de surface propices à l'interaction avec diverses cellules hôtes et sont capables de détourner des fonctionnalités élémentaires cellulaires d'où la dénomination de phénotype virulent ou infectieux.

Le «switch phénotypique» ou littéralement l'alternance de phase représente l'aptitude à passer d'un état à une autre, traduisant une adaptation aux conditions environnementales. Cette différenciation cellulaire permet à *L. pneumophila* d'optimiser l'adaptation et la survie à un environnement intra-cellulaire (à l'intérieur de l'hôte) et un environnement extra-cellulaire (à l'extérieur de l'hôte). Il semble que le déterminant majeur du passage d'une forme à l'autre soit l'appauvrissement en nutriments et notamment en acides aminés dans le milieu ambiant. Ce point critique correspond à un modèle de réponse stringente dont les mécanismes de régulation sont complexes. L'expression ou la répression de certains groupes de gènes serait électivement associée aux phénotypes avirulent ou virulent.

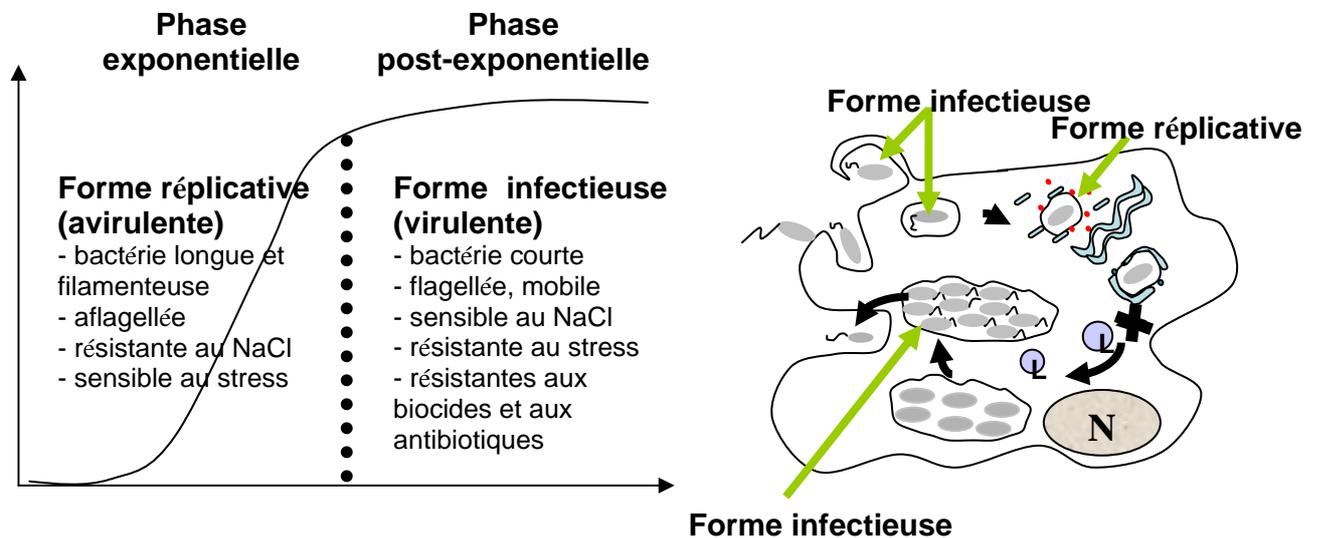


Figure 6 : Les différents phénotypes au cours de la multiplication bactérienne de *L. pneumophila*

ANNEXE 2

ACTIVITE DES DESINFECTANTS VIS-A-VIS DES LEGIONELLES

Différents traitements anti-légionelles ont été mis en place dans les réseaux d'eau potable ou dans les tours aéroréfrigérantes : chlore, traitement thermique ($> 55^{\circ}\text{C}$), ammoniums quaternaires associés ou non à la bis(tri-n-butylène), chloramines. La mise en place de tels traitements est globalement empirique.

Peu de travaux font état d'une **comparaison d'activité anti-légionelles des désinfectants**. En 1980, Skaliy *et al.* évaluent l'activité bactéricide du chlore, de la 2,2-dibromo-3-nitrilopropionamide, d'un composé associant du chlorure de didécylidiméthylammonium et de l'isopropanol, des formulations comportant des thiazolines, des thiocarbamates et des chlorophénols. Une destruction de 6 log de *L. pneumophila* est obtenue dès contact avec 3,3 mg de chlore libre/L. L'association chlorure de didécylidiméthylammonium – isopropanol se révèle également rapidement efficace à 72 mg.L^{-1} . La 2,2-dibromo-3-nitrilopropionamide présente une activité temps et dose-dépendante (destruction de 6 log après 3h de contact à 24 mg.L^{-1} ou après 24h de contact à 6 mg.L^{-1}). Les autres composés testés sont moins efficaces. Il faut ici souligner que certaines activités bactéricides sont notées dès T0. Les auteurs indiquent l'utilisation d'une méthode d'arrêt du contact microorganisme-produit par dilution-neutralisation du fait d'une absence de croissance après filtration. Cependant, seule l'innocuité des neutralisants a été contrôlée mettant en cause la validité de la méthode.

Lors d'un essai comparatif *in vitro*, Larry *et al.* (1987) notent des temps de contact nécessaires pour une réduction de 4 log de *L. pneumophila* supérieurs pour une chloramine organique par rapport au chlore. Un temps de contact de 1 minute est suffisant dès une concentration de 2 mg.L^{-1} en $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, contre 30 minutes pour la chloramine (pH 9,5). Cette différence d'activité s'atténue lorsque les essais sont réalisés en présence de protéines : 5 minutes de contact à 2 mg.L^{-1} en $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, contre 30 minutes pour la chloramine. La chloramine est caractérisée par une meilleure stabilité en solution et se révèle plus efficace lors d'un challenge sur 1 mois avec ré-inoculation bactérienne.

Il faut noter que, même si au niveau des tours aéro-réfrigérantes, le suivi concerne non seulement l'espèce *L. pneumophila*, mais également le genre *Legionella* dans son ensemble, la littérature sur l'activité des biocides vis-à-vis des autres espèces de légionelles est quasi, voire inexistante. Par ailleurs, la bibliographie fait surtout état de l'efficacité des traitements (formulations associant plusieurs produits et protocoles) plutôt que de celle des produits.

Lors d'une étude très intéressante, England III *et al.* (1982) ont évalué la contamination de tours aéro-réfrigérantes faisant l'objet de protocoles de traitement par des produits considérés comme efficaces, inefficaces ou donc l'activité était inconnue. Il ressort de leurs analyses que les échantillons présentant une contamination par *L. pneumophila* étaient au nombre de :

- 2 sur 4 pour les tours non traitées,
- 2 sur 4 pour les tours traitées par des agents considérés comme inefficaces d'après les essais de laboratoire (pentachlorophénol, ammonium quaternaire associé à une alkyl propanediamine),
- 6 sur 11 pour les tours traitées par des agents théoriquement efficaces (ammoniums quaternaires associés à la tri-n-butylène et/ou du chlore),
- 0 sur 4 pour les tours traitées avec un agent dont l'efficacité n'était pas connue (méthylène bis thiocyanate).

Les auteurs concluent en l'absence de prédictibilité de l'efficacité des traitements *in situ* sur la base des travaux réalisés sur biocides en laboratoire et donc la nécessité de développer de nouveaux outils d'évaluation. Ce manque de corrélation entre les données de laboratoire et de terrain est également souligné par Edelstein *et al.* (1982) dans le cas de l'ozone. Les auteurs notent des réductions supérieures à 4 log dès 20 minutes de contact avec 0,32 mg.L⁻¹ d'ozone. Sur réseau, des concentrations supérieures se révèlent inefficaces.

Kim *et al.* ont publié en 2002 une revue de la littérature sur l'efficacité des traitements désinfectants vis-à-vis de *Legionella*. Cette revue confirme la supériorité des oxydants, notamment du chlore, par rapport aux agents non oxydants.

L'efficacité des traitements au chlore sur les légionelles avait déjà été mise en doute par Wang *et al.* (1979) sur la base d'une sensibilité moindre de *L. pneumophila* par rapport à *E. coli*.

En 1983, Kuchta *et al.* évaluent la sensibilité de différentes souches de *L. pneumophila* et de *L. micdadei* au chlore en fonction de la température et du pH, dans une eau de réseau, afin de se rapprocher des conditions réelles d'utilisation. Alors que les coliformes sont détruits dès 1 minute de contact avec 0,1 mg.L⁻¹ de chlore, une réduction de 2 log de *L. pneumophila* n'est observée qu'après 30 à 60 minutes de contact (pH 7,6 – 21°C). L'activité bactéricide est corrélée à la température et inversement corrélée au pH. Par ailleurs, les souches présentent des sensibilités variables : temps de bactéricide de 30 à 120 minutes selon les souches.

En 1985, les mêmes auteurs démontrent la diminution de sensibilité au chlore de *L. pneumophila* maintenue en conditions « naturelles » par rapport à des cultures sur milieux riches. Dans les conditions standards utilisées (pH 7,6 à 8,0 – 21°C – 0,25 mg.L⁻¹ de chlore libre), 10 minutes de contact suffisent pour détruire 2 log de bactéries entretenues sur milieu riche, alors que 60 à 90 minutes sont nécessaires pour les souches maintenues en eau de réseau.

Différents modèles ont par la suite été utilisés pour évaluer **la perte de sensibilité de *L. pneumophila* aux désinfectants au sein de réseaux, sous forme biofilm, ainsi que sous forme extra- ou intra-cellulaire.**

En effet, la capacité pour *L. pneumophila* de se multiplier dans des protozoaires libres ou associés au biofilm est un des mécanismes envisagés afin d'expliquer la persistance de la bactérie dans l'environnement (Fields, 1996). Parallèlement, la colonisation par légionelles est considérée comme significativement associée à la présence d'amibes dans les réseaux d'eau. Cette association est particulièrement vérifiée au cours de traitement par chloration, mettant en avant le rôle protecteur des amibes (Moore *et al.*, 2006).

La monochloramine, fréquemment utilisée pour son activité vis-à-vis de *Naegleria fowleri*, présente une activité bactéricide vis-à-vis de *L. pneumophila* (99% de réduction après 15 minutes de contact à 1 mg.L⁻¹) (Cunliffe, 1990). Moore *et al.* (2006) considèrent que la diminution de la colonisation par *L. pneumophila* au sein des réseaux d'eau est principalement liée à une conversion d'une partie du chlore en monochloramine (Pryor *et al.*, 2004).

De nombreux travaux semblent indiquer une meilleure activité de la monochloramine sur biofilm (Rao *et al.*, 1998, LeChevallier *et al.*, 1988), sur *L. pneumophila* au sein d'un réseau modèle et sur *L. pneumophila* au sein de biofilm en présence de *H. vermiformis* (180 mn de contact) (Donlan *et al.*, 2002).

Dans une étude plus récente (Donlan *et al.*, 2005), la perte de sensibilité au chlore et à la monochloramine de *L. pneumophila* au sein d'un biofilm mixte (*P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *Flavobacterium* sp. sur support) est évaluée en présence de *Hartmannella*

vermiformis. Sur biofilm sans protozoaire, un contact de 60 minutes avec 0,5 mg.L⁻¹ de chlore ou de monochloramine se traduit par une réduction en légionelles d'environ 2 log. Après 24 heures de traitement, les réductions logarithmiques sont relativement comparables entre les 2 produits (2,7 et 3,1 respectivement). La présence de *H. vermiformis* se traduit par une perte d'activité (réduction inférieure à 1 log après 60 minutes de contact). Après 24 heures, la population de légionelles est réduite de 0,9 log pour le chlore et 1,6 log pour la monochloramine. Durant cet essai, les auteurs ont confirmé la présence de bactéries intracellulaires et de formes kystes et trophozoïtes du protozoaire. Parallèlement, un contact de 24 heures se traduit par une destruction partielle du protozoaire pouvant expliquer une persistance de l'activité anti-légionelle (libération de formes extra-cellulaires) des 2 produits.

Dans un modèle représentatif de l'écosystème d'un réseau (présence de bêta-Proteobacteria, de légionelles et d'amibes), Thomas *et al.* (2004 ; 2005) ont évalué différents traitements continus pour la maîtrise du taux de légionelles. Le traitement par ionisation cuivre-argent se révèle le moins efficace que ce soit sur les légionelles libres ou sur le biofilm. La monochloramine à 0,5 mg.L⁻¹ induit une destruction bactérienne élevée mais l'efficacité sur le biofilm même n'est que partielle. Les auteurs soulignent ici l'importance de la nature du support dans la structure du biofilm et secondairement dans la perte de sensibilité aux désinfectants observée et pourrait expliquer les différences de classement des produits selon les études (Huang *et al.*, 1995). Parallèlement, les auteurs soulignent la croissance potentielle des bactéries nitrifiantes liée au traitement continu par monochloramine (Regan *et al.*, 2003). L'application d'ozone à 0,5 mg.L⁻¹ est caractérisée par une activité intermédiaire. Les deux traitements les plus efficaces sont le chlore (2,5 mg.L⁻¹) et le dioxyde de chlore (0,5 mg.L⁻¹) induisant une réduction de la flore totale, des légionelles et du biofilm. La re-colonisation est retardée avec le dioxyde de chlore. Cependant, quel que soit le traitement appliqué, les légionelles ré-apparaissent. La résistance des amibes aux différents traitements est impliquée par les auteurs, soit par enkystement au cours du traitement (Pernin *et al.*, 1998) ou par adaptation (Srikanth et Berk, 1993).

Parmi les amibes, l'espèce *Acanthamoeba* est considérée comme plus résistante que l'espèce *Hartmannella* et l'espèce *Naegleria* (Rodriguez-Zaragoza, 1994) et la survie de *L. pneumophila* dans les kystes d'*Acanthamoeba* apparaît à plus haute fréquence (Greub & Raoult, 2003).

La résistance des kystes d'*Acanthamoeba* a été démontrée par Storey *et al.* (2004). Des concentrations de 100 mg.L⁻¹ et des températures de 80°C ne permettent pas une éradication complète de ces formes, alors que des traitements conventionnels peuvent se révéler efficaces sur légionelles liées au protozoaire. Lors de cette étude, différentes espèces de légionelles ont été testées.

Récemment, Williams *et al.* (2005) ont démontré l'influence de traitements prolongés par le chlore ou la monochloramine sur l'évolution de l'écosystème constitué par le biofilm. Le traitement par monochloramine se traduit par la détection de séquences génomiques correspondant aux genres *Mycobacterium* et *Dechloromonas*. Alors que le traitement au chlore est caractérisé par la détection d'une grande variété d'alpha et de bêta-protéobactéries.

ANNEXE 3

FACTEURS INTERVENANT SUR LA VALEUR DES ANALYSES

Les réserves faites dans le rapport sur la valeur des dénombrements de légionelles rapportés par EDF et sur le risque que ces valeurs soient des valeurs par défaut sont explicitées ci-après. Plusieurs causes peuvent être évoquées aux divers stades de l'analyse.

I - PHASE PRÉ-ANALYTIQUE

A - Les prélèvements d'échantillons

Modalités/ procédure

Les modalités de prélèvement d'échantillons pour analyse bactériologique font appel en principe à du matériel stérile. Cependant, dans le cas d'eaux contaminées par une flore microbienne abondante et en vue de la recherche spécifique de *Legionella*, il suffit d'utiliser des récipients propres, de taille ou volume très supérieur à celui du récipient (1 litre), qui servira au transfert vers le laboratoire et qui, lui, devra être stérile. Les modalités du prélèvement doivent figurer dans le rapport d'essai. L'usage d'un inhibiteur de croissance destiné à réduire la prolifération de la flore interférente durant le transport a été évoqué mais cette procédure, non prévue dans la norme réglementaire, ne serait acceptable qu'après validation.

Par ailleurs, les personnes habilitées à effectuer les prélèvements doivent recevoir une formation spécifique.

Fréquence

En vue d'un suivi des taux de concentration en légionelles, il importe de définir :

- la fréquence des prélèvements à effectuer « en routine » en tenant compte des délais d'obtention des résultats d'analyse et des mesures à instaurer en cas d'évolution de ces taux ;
- la fréquence (et les modalités) de prélèvement dans le cadre des opérations d'entretien habituel ;
- la fréquence (et les modalités) de prélèvement dans le cadre des traitements biocides.
- les autres situations pouvant nécessiter un contrôle.

Commentaire des experts

Aucune procédure écrite relative aux modalités de prélèvement des échantillons analysés, de leur transfert au laboratoire, ainsi qu'aux choix techniques de l'analyse n'a été communiquée par EDF. La fréquence des analyses (généralement mensuelle) ne tient aucun compte de la programmation des traitements biocides ou des autres opérations de maintenance.

B - La neutralisation des biocides

La norme NF T90-431 précise que pour les eaux traitées, les échantillons doivent être « neutralisés » pour éviter une sous-estimation du nombre de légionelles (voire une inhibition de la culture). L'usage du thiosulfate de sodium est préconisé pour la neutralisation des oxydants (produits chlorés, bromés ou ozonés). Mais d'autres neutralisants doivent être envisagés dès lors que d'autres biocides sont appliqués.

Modalités/ procédure

La neutralisation doit intervenir immédiatement après le prélèvement en ajoutant une quantité définie de neutralisant adapté dans un volume défini d'échantillon. Seul le respect

des quantités respectives d'échantillon et de neutralisant peut assurer la validité de l'opération.

Commentaire des experts

Les prélèvements au seau (observation sur site à Chinon) sont transférés sans mesure de volume (avec débordement) dans des flacons d'un litre contenant une quantité de thiosulfate (poudre). Lors du débordement du flacon une partie du thiosulfate peut être expulsée. La responsabilité de la fourniture des flacons et surtout de la quantité de thiosulfate qu'il contiennent ne sont ni définies ni vérifiées.

La possibilité d'interférence avec autre type de biocide, ou un autre inhibiteur de la croissance des légionelles, non neutralisé, n'est jamais évoquée. En absence de procédure et de sa validation, il n'y a aucune garantie de neutralisation des inhibiteurs de croissance des légionelles dans l'échantillon prélevé.

C – Le transfert des échantillons au laboratoire

Modalités/ procédure

Les échantillons doivent parvenir au laboratoire au plus tard le lendemain du prélèvement et les ensemencements doivent être effectués au plus tard le surlendemain du prélèvement. Dans les cas exceptionnels où ces délais ne peuvent être respectés, une tolérance de 24 h est admise à condition de placer les prélèvements dans un emballage réfrigéré à 5°C ± 3°C pour le transport comme le stockage au laboratoire (information à faire figurer sur le rapport).

Commentaire des experts

Les informations requises sur le transfert des échantillons et leur stockage avant analyse ne sont pas reportées sur les rapports d'essai.

La glacière mise à disposition pour les flacons de prélèvement (observation sur site à Chinon) ne contient pas de système de réfrigération conforme à un envoi différé.

La viabilité/cultivabilité des légionelles dans les échantillons prélevés n'est pas assurée.

II - PHASE ANALYTIQUE

A - La compétence du laboratoire

Intérêt de l'Accréditation

Le COFRAC est l'organisme français chargé d'évaluer et de surveiller la conformité du laboratoire au référentiel qualité décrit dans la norme ISO 17025. Au terme d'une procédure d'audit, le laboratoire satisfaisant aux spécifications du référentiel et ayant démontré sa compétence dans un domaine d'essai sera accrédité. Dans certains domaines, la réglementation impose que les analyses soient réalisées dans des laboratoires accrédités.

Importance du contrat de demande d'essais

Pour valider les résultats d'essais selon la norme NFT 90-431, toutes les contraintes de la norme doivent être respectées. Or des clauses contractuelles entre le laboratoire et son client (telles que prévues dans la norme ISO 17025) peuvent avoir des conséquences sur la viabilité et la cultivabilité des cellules (neutralisation, délais, températures, etc..) et sur les choix méthodologiques ou techniques (options prévues ou non dans la norme). La revue de contrat d'essai doit donc préciser les modalités d'essai retenues et interdire toute dérogation aux spécifications de la norme.

Commentaire des experts

Les dénombrements de légionelles sont réalisés dans des laboratoires accrédités par le COFRAC pour cet essai, ce qui apporte a priori des garanties sur leur compétence et sur la

qualité des essais. Cependant l'absence de convention (revue de contrat de demande d'essai) délimitant les responsabilités au niveau du prélèvement et de la neutralisation des échantillons d'une part, et définissant les modalités techniques de l'essai d'autre part, remet en cause la fiabilité des résultats obtenus.

B - La qualité des essais

L'obligation de respecter les délais et éventuellement les températures de stockage imposés par la norme (pour ne pas altérer la viabilité (cultivabilité) des légionelles) impose de rapporter tous les éléments nécessaires à la traçabilité de ces données.

La norme offre pour certaines étapes de l'essai des alternatives techniques (centrifugation, ultra-sons, etc....) qui sont plus ou moins appropriées en fonction des échantillons. Tout écart aux instructions de la norme doit être noté et rapporté.

Commentaire des experts

Il faut souligner les lacunes constatées au niveau des rapports d'essais réalisés par les laboratoires relatifs aux prélèvements d'eaux dans les installations d'EDF :

- les délais entre prélèvement et mise en culture ne sont pas mentionnés,*
- les informations relatives aux eaux traitées ne sont pas mentionnées,*
- les choix méthodologiques ou techniques ne sont ni définis ni justifiés.*

C – Le résultat de l'analyse et son interprétation

Dans ce type d'essai, le résultat du dénombrement doit être confronté aux informations relatives au prélèvement car les éléments méthodologiques mais aussi le lien avec les traitements biocides (ou autres) sont indispensables pour valider le résultat puis au delà, pour son exploitation dans le cadre du suivi de l'installation.

Commentaire des experts

Le rapport d'essai ne comporte pas les éléments nécessaires à la validation et à l'exploitation des résultats de dénombrement.

Par ailleurs, aucune procédure ou instruction n'indique la conduite à tenir et les mesures à mettre en œuvre au regard du ou des résultats obtenus.

Remarque :

Les notes techniques EDEAPC06-0445 (date d'approbation : 26 octobre 2006) et EDEAPC-06-0476 (date d'approbation : 27 octobre 2006) ne mentionnent pas de date de mise en application. Ce sont des documents très généraux, concernant l'ensemble des sites, qui apportent certaines précisions sur divers points évoqués ci-dessus. Mais de tels documents ne peuvent se substituer à des procédures ou instructions techniques détaillées, adaptées à chacun des sites, qui seules pourraient garantir la valeur des analyses en permettant d'avoir une traçabilité complète de toutes les opérations participant aux analyses.

III - PHASE POST-ANALYTIQUE

L'interprétation du résultat dans le cadre du contexte des analyses

Des données relatives au suivi des taux de légionelles dans les différentes installations ont été présentées au cours des différents exposés et/ou diffusées de façon dispersée dans des documents regroupant des données disparates. Ces données sont très difficiles à appréhender et à exploiter car elles ne sont pas confrontées avec les facteurs (périodes climatiques, opérations de maintenance, traitements biocides notamment) dont l'impact sur le nombre des légionelles est important. Notamment, la comparaison des valeurs aval/bassin/amont n'est pas réalisée et donc pas utilisée dans le cadre de la gestion du risque.

Commentaire des experts

Aucun document spécifiquement destiné à corréler l'évolution dans le temps du nombre de légionelles avec les opérations de maintenance et/ou traitement des installations n'est disponible. Il est donc difficile

- (1) de vérifier la cohérence des résultats avec les séquences de traitements biocides,*
- (2) d'apprécier l'efficacité et donc l'utilité de ces traitements biocides.*

Par ailleurs, la fréquence mensuelle des analyses, compte tenu des délais d'obtention des résultats (10 jours) ne peut permettre d'intervenir efficacement pour assurer le respect d'un seuil assigné pour la contamination maximale en légionelles. Il s'avère indispensable de recourir à d'autres méthodes d'évaluation du nombre de légionelles et à d'autres indicateurs biologiques afin de disposer rapidement et plus fréquemment d'éléments capables de donner l'alerte en cas d'approche du seuil autorisé et donc de mettre en œuvre au plus tôt des mesures adaptées.

ANNEXE 4

CAPACITE ENTARTRANTE DES EAUX

La capacité d'entartrage des circuits dépend principalement des caractéristiques physicochimiques de l'eau d'appoint utilisée.

D'autres facteurs peuvent également favoriser son apparition comme :

- les conditions hydrauliques (en cas de courants de circulation d'eau trop faibles),
- la minéralisation de l'eau (le TH, le TA),
- la température (la formation de tartre augmente lorsque la température s'élève),
- le pH.

Afin de contrôler le risque d'entartrage du circuit, le dimensionnement des installations d'EDF (pompage d'eau d'appoint, rejets d'eau chaude, impact sur l'environnement) repose sur un rapport de concentration, R_c , entre le débit d'appoint et le débit de purge.

$$R_c = \frac{A}{P}$$

avec A= débit d'appoint en m³/h

P= débit de purge en m³/h

Le risque d'entartrage peut être évalué à partir de plusieurs indices dont l'indice de Ryznar qu'EDF utilise pour déterminer le pouvoir entartrant des eaux d'appoint.

L'indice de Ryznar permet de définir la tendance agressive ou entartrante d'une eau aérée. Il est déterminé par la formule suivante :

$$I_r = 2 \text{pH}_s - \text{pH}$$

Le pH_s , ou pH de saturation est calculé à partir de la formule empirique ci-dessous :

$$\text{pH}_s = (9,3 + A + B) - (C + D)$$

avec A= Log_{10} (salinité en mg.L⁻¹) - 1/10

B = -13,12 X Log_{10} (température en °C + 273) + 34,55

C= Log_{10} (dureté calcique en mg.L⁻¹) - 0,4

D= Log_{10} (TAC en mg.L⁻¹) (rapport IRH)

Le pH_s dépend :

- de la température de l'eau. Dans un circuit de refroidissement, celle-ci varie entre la température la plus froide (dans le bassin de la tour) et la plus chaude (couche limite d'eau en contact avec les parois chaudes à refroidir,
- de la teneur en bicarbonate dans l'eau (TAC),
- de la teneur en calcium (dureté calcique),

- de la salinité de l'eau.

Le tableau ci-après donne les relations entre l'indice de Ryznar et la tendance incrustante ou corrosive de l'eau (GLS.fr memotec n°17)

Tableau 7 : relation entre l'indice de Ryznar et la tendance incrustante ou corrosive de l'eau

Ir	Tendance
4 à 5	Entartrage important
5 à 6	Entartrage faible
6 à 7	Equilibre
7 à 7,5	Légère corrosivité
7,5 à 8,5	Corrosivité notable
> 8,5	Corrosivité importante

ANNEXE 5

SYNTHESE DES DECLARATIONS D'INTERETS PAR RAPPORT AU CHAMP DE LA SAISINE

RAPPEL DES RUBRIQUES DE LA DECLARATION PUBLIQUE D'INTERETS

IP-A	Interventions ponctuelles : autres
IP-AC	Interventions ponctuelles : activités de conseil
IP-CC	Interventions ponctuelles : conférences, colloques, actions de formation
IP-RE	Interventions ponctuelles : rapports d'expertise
IP-SC	Interventions ponctuelles : travaux scientifiques, essais, etc.
LD	Liens durables ou permanents (Contrat de travail, rémunération régulière ...)
PF	Participation financière dans le capital d'une entreprise
SR	Autres liens sans rémunération ponctuelle (Parents salariés dans des entreprises visées précédemment)
SR-A	Autres liens sans rémunération ponctuelle (Participation à conseils d'administration, scientifiques d'une firme, société ou organisme professionnel)
VB	Activités donnant lieu à un versement au budget d'un organisme

DECLARATIONS PUBLIQUES D'INTERETS DES MEMBRES DU CES

NOM	Prénom	Date de déclaration	de des
Rubrique de la DPI		intérêts	
Description de l'intérêt			
ABSI	Rafik	19/01/2007 04/05/2007	
Aucun lien déclaré			
BALLET	Jean-Jacques	22/01/2007 04/05/2007	
Aucun lien déclaré			
BERJEAUD	Jean-Marc	07/11/2006 04/05/2007	
VB			
Co-directeur de thèse sur une bactériocine anti-légionelle (bourse CIFRE/Veolia)			
Analyse Afsset : pas de risque de conflit d'intérêts par rapport à la saisine.			
BOUDENNE	Jean-Luc	27/10/2006	

		04/05/2007
	Aucun lien déclaré	
BRUGERES-PICOUX	Jeanne	14/12/2006 03/07/2007
	Aucun lien déclaré	
CABILLIC	Pierre-Jean	09/11/2006 04/05/2007
	Aucun lien déclaré	
CAMUS	Patrick	15/02/2006 04/05/2007
	Aucun lien déclaré	
CREPPY	Edmond	18/01/2007 04/05/2007
	Aucun lien déclaré	
CUDENNEC	Christophe	12/12/2006 04/05/2007
	Aucun lien déclaré	
DAGOT	Christophe	09/11/2006 03/07/2007
	Aucun lien déclaré	
DUKAN	Sam	30/10/2006 03/05/2007
	Aucun lien déclaré	
GEHANNO	Jean-François	21/11/2006 04/05/2007
	Aucun lien déclaré	
GILLI	Eric	13/12/2006 02/07/2007
	Aucun lien déclaré	
GUT	Jean-Pierre	28/11/2006 04/05/2007
	Aucun lien déclaré	
HILAIRE	Didier (membre du groupe de travail)	15/12/2006 04/05/2007
	Aucun lien déclaré	
HUMBERT	Jean-François	27/10/2006 04/05/2007
	Aucun lien déclaré	

LAKEL	Abdel	22/01/2007 04/05/2007
	Aucun lien déclaré	
LE BACLE	Colette	16/01/2007 04/05/2007
	Aucun lien déclaré	
LEDRU	Eric	08/01/2007 04/05/2007
	Aucun lien déclaré	
MARCHANDISE	Patrick (membre du groupe de travail)	11/06/2003 22/11/2005 27/11/2006 04/05/2007
	<i>Intégré au GT en mai 2006</i>	
	Aucun lien déclaré	
MATHIEU	Laurence (membre du groupe de travail)	11/12/2006 03/07/2007
	VB	
	Participation à des programmes de recherche :	
	- Caractérisation de l'exposition aux aérosols de légionnelles financé par Ademe, Afsset, Veolia, DGS et EDF	
	- Biofilms financé par Anjou Recherche, AESN, Sédif et NanCIE.	
	Analyse Afsset : Activité de recherche financée par des consortiums majoritairement publics : pas de risque de conflit d'intérêts.	
MOGUEDET	Gérard	17/01/2007 01/10/2007
	Aucun lien déclaré	
MORIN	Anne	17/01/2007 04/05/2007
	Aucun lien déclaré	
MOUNEYRAC	Catherine	03/01/2007 04/05/2007
	Aucun lien déclaré	
OCCHIALINI-CANTET	Alessandra	08/12/2006 04/05/2007
	Aucun lien déclaré	
POURCHER	Anne-Marie	28/11/2006 03/07/2007

Aucun lien déclaré		
RAUZY	Sylvie	19/01/2007 04/05/2007
Aucun lien déclaré		
RUNIGO-MAGIS	Renée	16/01/2007 03/07/2007
Aucun lien déclaré		
SAUVANT-ROCHAT	Marie-Pierre	30/11/2006 04/05/2007
Aucun lien déclaré		
TANDEAU de MARSAC	Nicole	14/11/2006 03/07/2007
Aucun lien déclaré		
TREMBLAY	Michèle	16/11/2006 04/07/2007
Aucun lien déclaré		
TRIBOLLET	Bernard (président du groupe de travail)	15/11/2006 04/05/2007
Aucun lien déclaré		
VILLENA	Isabelle	08/11/2006 04/05/2007
Aucun lien déclaré		

DECLARATIONS PUBLIQUES D'INTERETS DES MEMBRES DU GT

NOM	Prénom	Date de déclaration	de des intérêts
ADER	Florence	10/04/2005	
		15/02/2007	
Aucun lien déclaré			
CAMPAGNA	Dave	28/06/2004	
		21/11/2005	
		06/11/2006	
		13/12/2006	
<i>Participation aux trois premières réunions sur quatorze, puis démission en octobre 2006</i>			
Aucun lien déclaré			
CREMIEUX	Andrée	27/09/2004	
		04/12/2004	
		21/01/2006	
		16/05/2006	
		18/06/2006	
<i>Intégrée au GT en mai 2006</i>			
<i>IP-AC</i>			
Consultante en microbiologie			
Analyse Afsset : Activité de consultance hors champ de la saisine : pas de risque de conflit d'intérêts.			
CROUE	Jean-Philippe	22/07/2005	
<i>IP-SC</i>			
Participation à des projets de recherche pour Veolia Water et Anjou Recherche			
Analyse Afsset : Activité de recherche hors champ de la saisine : pas de risque de conflit d'intérêts.			
HILAIRE	Didier	20/04/2005	
		15/12/2006	
		04/05/2007	
Aucun lien déclaré			
HOELLINGER	Henri	11/06/2003	
		12/01/2007	
<i>Intégré au GT en mai 2006</i>			
<i>IP-AC</i>			
Audit scientifique pour AND International			

Analyse Afsset : Activité de consultation hors champ de la saisine : pas de risque de conflit d'intérêts.

LESNE	Jean	Pas de DPI
<i>Participation aux deux premières réunions sur quatorze, puis démission en septembre 2006</i>		
Aucun lien déclaré		
MARCHANDISE	Patrick	11/06/2003 22/11/2005 27/11/2006 04/05/2007
<i>Intégré au GT en mai 2006</i>		
Aucun lien déclaré		
MATHIEU	Laurence	10/01/2005 16/06/2006 11/12/2006
VB		
Participation à des programmes de recherche :		
- Caractérisation de l'exposition aux aérosols de légionnelles financé par Ademe, Afsset, Veolia, DGS et EDF		
- Biofilms financé par Anjou Recherche, AESN, Sédif et NanCIE.		
Analyse Afsset : Activité de recherche financée par des consortiums majoritairement publics : pas de risque de conflit d'intérêts.		
PEUCH	Vincent-Henri	22/04/2004 24/10/2005 11/02/2007
Aucun lien déclaré		
ROQUES	Christine	05/01/2005 18/05/2006 20/06/2007
<i>Intégrée au GT en mai 2006</i>		
LD		
Vice-présidente de FONDEREPHAR (depuis 1992)		
VB		
Participation à une étude sur l'écosystème des boues thermales.		
Analyse Afsset : Activité hors champ de la saisine: pas de risque de conflit d'intérêts.		
SERVAIS	Pierre	22/04/2005

	27/06/2007
VB	18/09/2007
Participation à un projet de recherche pour Anjou Recherche : détection des Escherichia coli dans les eaux de surface.	
Analyse Afsset : Activité hors champ de la saisine : pas de risque de conflit d'intérêts.	

TRIBOLLET Bernard	03/01/2005
	17/03/2005
	15/11/2006
	04/05/2007
Aucun lien déclaré	

VENDEL Jacques	01/07/2005
	14/11/2006
Aucun lien déclaré	

ORGANISME-EXPERT PARTICIPANT

L'INERIS, représenté par Philippe HUBERT et Frédéric MARCEL, a signé une attestation, le 1^{er} février 2006, garantissant l'absence de liens de nature à présenter un conflit d'intérêt avec le champ de la saisine.

REFERENCES

Textes officiels

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

-Arrêté du 17 août 2005 modifiant l'arrêté du 20 mai 2003 relatif à l'autorisation de prélèvements d'eau et de rejets d'effluents liquides et gazeux du site nucléaire de Chinon

-Directive 98/8/CE relative à la mise sur le marché des produits biocides

-Directive 2006/11/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 février 2006 concernant la pollution causée par certaines substances dangereuses déversées dans le milieu aquatique de la Communauté

-Annexe 1, directive 67/548 CEE sur la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses

-Décret 91-1283 du 19/12/1991 relatif aux objectifs de qualité assignés aux cours d'eau, sections de cours d'eau, canaux, lacs ou étangs et aux eaux de la mer dans les limites territoriales

-Décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles

-NF EN 1040 Avril 2006 : Antiseptiques et désinfectants chimiques - Essai quantitatif de suspension pour l'évaluation de l'activité bactéricide de base des antiseptiques et des désinfectants chimiques - Méthode d'essai et prescriptions (phase 1)

-NF EN 1276 Octobre 1997 : Antiseptiques et désinfectants chimiques - Essai quantitatif de suspension pour l'évaluation de l'activité bactéricide des antiseptiques et des désinfectants chimiques utilisés dans le domaine de l'agro-alimentaire, dans l'industrie, dans les domaines domestiques et en collectivité - Méthode d'essai et prescriptions (phase 2, étape 1)

-NF T90-431 Septembre 2003 : Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement de *Legionella* spp et de *Legionella pneumophila* - Méthode par ensemencement direct et après concentration par filtration sur membrane ou centrifugation

-EN 13623 Chemical disinfectants and antiseptics - Bactericidal activity of products against *Legionella pneumophila* - Test method and requirements (phase 2/step 1)

- XP T90-471 Avril 2006 : Qualité de l'eau - Détection et quantification des *Legionella* et/ou *Legionella pneumophila* par concentration et amplification génique par réaction de polymérisation en chaîne (PCR)

- Doc-biocides-2002/05-rev 30-07-2002-Guidance document agreed between the commission services and the competent authorities of member states regarding the in-situ generation of active substances and related notifications.

-Programme IPCS/INCHEM, 2000 sur les désinfectants et leurs produits de synthèses

[-http://www.epa.gov/iris/subst/0644.htm](http://www.epa.gov/iris/subst/0644.htm)

Rapports

- (a) Evaluation des risques sanitaires liés aux proliférations de *Legionella* dans l'eau des Tours aéroréfrigérantes des centres nucléaires de production électrique d'EDF. Première phase d'analyse : Evaluation de la pertinence des seuils d'action actuellement recommandés- Rapport AFSSET 2007
- (b) Evaluation des risques sanitaires liés aux proliférations de *Legionella* dans l'eau des TAR des CNPE- Rapport IRH
- (c) Guide des bonnes pratiques "Legionella et tours aéroréfrigérantes ", INERIS, 2001
- (d) Drinking Water California Public Health Goal December 2006 - Public Health Goal for N-Nitrosodimethylamine in Drinking Water prepared by pesticide and Environmental Toxicology Branch, Office of Environmental Health Hazard Assessment, California Environmental Protection Agency
- (e) SDAGE du Bassin Loire Bretagne. Présentation administrative et démographique du bassin Loire Bretagne, 2003.
www.centre.ecologie.gouv.fr/SDAGE/TBSDAGE2003/PRESENTATION.pdf
- (f) Compte rendu de la réunion de travail du groupe de travail « Legionella –CNPE » de l'AFSSET du 13 octobre 2006.

Bibliographie

- Cunliffe. 1990. Inactivation of *Legionella pneumophila* by monochloramine. J. Appl. Bacteriol. 68:453-459.
- Donlan et al. 2002. Monochloramine disinfection of biofilm-associated *Legionella pneumophila* in a potable water model system. In: *Legionella 2002*, Washington DC, ASM. pp 406-410.
- Donlan RM et al. 2005. *Legionella pneumophila* associated with the protozoan *Hartmannella vermiformis* in a model multi-species biofilm has reduced susceptibility to disinfectants. Biofouling. 21:1-7.
- Edelstein et al. 1982. Efficacy of ozone in eradication of *Legionella pneumophila* from hospital plumbing fixtures. Appl. Environ. Microbiol. 44:1330-1334.
- England III et al. 1982. Failure of *Legionella pneumophila* sensitivities to predict culture results from disinfectant-treated air-conditioning cooling towers. Appl. Environ. Microbiol. 43:240-244.
- Fields BS. 1996. The molecular ecology of legionellae. Trends Microbiol. 4:286-290.
- Greub et al. 2003. Morphology of *Legionella pneumophila* according to their location within *Hartmannella vermiformis*. Res. Microbiol. 154:619-621.
- Kim et al. 2002. Litterature review – efficacy of various disinfectants against *Legionella* in water systems. Water Res. 36:4433-4444.

- Kuchta et al. 1983. Susceptibility of *Legionella pneumophila* to chlorine in tap water. Appl. Environ. Microbiol. 46:1134-1139.
- Kuchta et al. 1985. Enhanced chlorine resistance of tap water-adapted *Legionella pneumophila* as compared with agar medium-passaged strains. Appl. Environ. Microbiol. 50:21-26.
- Larry et al. 1987. Inactivation of *Legionella pneumophila* by hypochlorite and an organic chloramines. Appl. Environ. Microbiol. 53 :2983-2986.
- LeChevallier et al. 1988. Inactivation of biofilm bacteria. Appl. Environ. Microbiol. 54 :2492-2499.
- Loret et al. 2005. Comparison of disinfectants for biofilm, protozoa and *Legionella* control. J. Water Health. 3:423-433.
- Massa F., 2000. - Sédiments, physico-chimie et développement embryo-larvaire de la truite commune (*Salmo trutta*). Étude en milieu naturel anthropisé et en conditions contrôlées. 214p. Doctorat de troisième cycle, mention Sciences de l'Environnement, Institut National d' Agronomie.
- Moore et al. 2006. Introduction of monochloramine into a municipal water system : impact on colonization of buildings by *Legionella* spp. Appl. Env. Microbiol. 72:378-383.
- Morin R., Qualité de l'eau requise pour l'élevage des salmonidés, Publication de la direction de l'innovation et de la technologie, Canada, avril 2006, 20 pages.
- Pernin et al. 1998. Comparative recoveries of *Naegleria fowleri* amoebae from seeded river water by filtration and centrifugation. Appl. Environ. Microbiol. 64:955-959.
- Perrone S.J. & Meade T.L, 1977. - Protective effect of chloride on nitrite toxicity to coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). J. Fish. Res. Board Can., 34(4): 486-92.
- Pryor et al. 2004. Investigation of opportunistic pathogens in municipal drinking water under different supply and treatment regimes. Water Sci. Technol. 50:83-90.
- Rao et al. 1998. Biocidal efficacy of monochloramine against biofilm bacteria. Biofouling. 12:321-332.
- Regan et al. 2003. Diversity of nitrifying bacteria in full scale chloraminated distribution systems. Water Research. 37:197-205.
- Rodriguez-Zaragoza. 1994. Ecology of free-living amoebae. Crit. Rev. Microbiol. 20:225-241.
- Russo R.C., Thurston R.V and Emerson K., 1981. - Acute toxicity of nitrite to Rainbow trout (*Salmo gairdneri*): Effects of pH, nitrite species and anion species. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 38: 387-393.
- Skaliy et al. 1980. Laboratory studies of disinfectants against *Legionella pneumophila*. Appl. Environ. Microbiol. 40:697-700.
- Smith C.E. & Williams W.G, 1974. - Experimental nitrite toxicity in rainbow trout and chinook salmon. Trans. Am. Fish. Soc., 2: 389-390.

- Srikanth et al. 1993. Stimulatory effect of cooling tower biocides on amoebae. Appl. Environ. Microbiol. 59:3245-3249.
- Storey et al. 2004. The efficacy of heat and chlorine treatment against thermotolerant *Acanthamoebae* and *Legionellae*. Scand J. Infect. Dis. 36:656-662.
- Thomas et al. 2004. Amoebae in domestic water systems: resistance to disinfection treatments and implication in *Legionella* persistence. J. Appl. Microbiol. 97:950-963.
- Wang et al. 1979. Growth, survival, and resistance of the Legionnaires' disease bacterium. Ann. Intern. Med. 90:614-618.
- Williams et al. 2005. Population diversity in model potable water biofilms receiving chlorine or chloramines residual. Biofouling. 21:279-288.
- <http://www.gls.fr/memotec17.htm>

Références des documents EDF

[1] Note technique EDEAPC06-0445 -Etat des lieux et perspectives pour améliorer la mesure et la surveillance des développements de légionelles.

[2] : Document EDF référencé D 4550.35-06/4162 –Bilan légionelles 2006

[3] Prévention du risque lié à la présence de légionelles dans les circuits de refroidissement - Bilan de l'année 2005 du traitement à la monochloramine à visée anti-amibienne - D4550.35-06/3243 - Page 14/57).

[4] Prescription DT191 : Prévention de la légionellose-Modalités de maîtrise et de réduction du risque lié à la présence de légionelles dans les installations

[5] Prescription DT 200 : Maîtrise de l'entartrage des réfrigérants atmosphériques EDEECHO40097-13 janvier 05

[6] Prévention du risque lié à la présence de légionelles dans les circuits de refroidissement des Centres Nucléaires de Production d'Electricité : Stratégie d'échantillonnage- Résultats et interprétations.Mai 2005

[7] Document EDF référence EDEAPC06-0460 indice A : Bilan 2004-2005 des colonisations en légionelles dans les circuits de refroidissement semi-fermés des CNPE- Septembre 2006.

[8] Document EDF référence EDEAPC06-0476 : Colonisations en légionelles : Mesures mises en œuvre sur les tours aéroréfrigérantes d'EDF. Octobre 2006

[9] Document EDF référence EDE APC 06 0473- Traitement par monochloramination : Modalités de traitement, efficacité et optimisation. Octobre 2006.

[10] Document EDF référence D4550.06-04/5391- Bilan Legionelles 2004 p6/147

[11] Document EDF Référence EDEECH060326-Caractérisation des traitements utilisés dans le cadre de la maîtrise de l'entartrage des circuits de refroidissement CRF

[12] Document EDF- Prévention du risque lié à la présence de Legionelles dans les circuits de refroidissement des Centres Nucléaires de Production d'Electricité : Traitements mis en œuvre- Mai 2005

[13] Dossier de demande de modification de l'arrêté de prise d'eau et de rejets du CNPE de Chinon- Août 2006

[14] Legionelles et tours aéroréfrigérantes des centrales nucléaires-Audition AFSSET 19/09/2006, page 28

[15] Document EDF E234/017901/EREJBIO- CNPE implantés en bord de Loire- Impacts sanitaires et environnementaux d'un traitement généralisé à la monochloramine.

[16] Support de la présentation de l'audition du 19/09/2006 Legionelles et tours aéroréfrigérantes des centrales nucléaires.



agence française de **sécurité sanitaire**
de l'environnement et du travail

253, avenue du Général Leclerc
94701 Maisons-Alfort Cedex
Tél. +33 1 56 29 19 30
afsset@afsset.fr

www.afsset.fr

ISBN 978-2-11-097045-9

