



OPUR : Observatoire des Polluants Urbains en Île de France
Thème de recherche n°8
Action de recherche n°8.2 – Critères de qualité pour l'utilisation de
l'eau de pluie

**ETUDE DU TRANSFERT DES MICROORGANISMES DE
L'EAU VERS LE LINGE LORS DU LAVAGE DE L'EAU DE
PLUIE**

Rapport final
Nathalie Garrec (CSTB)



EN CAPE 18.216 C – V0

**Étude du transfert des microorganismes de l'eau
vers le linge lors du lavage à l'eau de pluie**

Garrec Nathalie

Direction Climatologie – Aérodynamique – Pollution – Epuration

Étude du transfert des microorganismes de l'eau vers le linge lors du lavage à l'eau de pluie

GARREC Nathalie

DIRECTION CLIMATOLOGIE – AERODYNAMIQUE

POLLUTION - EPURATION

*Cette étude a été réalisée
à la demande de l'ENPC
suivant la lettre de commande n° CF-2018-01724
en date du 24/09/2018*

Offre n° 9955

Nantes, le 10 décembre 2018


Anthony COUZINET
Chef de Division EAU
Direction Opérationnelle CAPE
Climatologie-Aérodynamique-
Pollution-Epuration


Nathalie GARREC
Ingénieur Division EAU
Direction Opérationnelle CAPE
Climatologie-Aérodynamique-
Pollution-Epuration

Mots clés : Eau de pluie, alimentation du lave-linge, transfert des microorganismes de l'eau vers le linge

Nbre de pages : 24

Version n° : 0

CSTB
le futur en construction

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT
11 rue Henri Picherit – BP 82341 – 44323 Nantes cedex 3
Tél. : +33 (0)2 40 37 20 00 – Siret 775 688 229 00035 – www.cstb.fr
Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2
Établissement public à caractère industriel et commercial – RCS Meaux 775 688 229 – TVA FR 70 775 688 229
MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA ANTIPOLIS

Liste des Abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

CSHPF : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France

DGS : Direction Générale de la Santé

EDCH : Eau Destinée à la Consommation Humaine

LAV : Lutte Anti-Vectorielle

LEESU : Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains

PSM : Poste de Sécurité Microbiologique

OPUR : Observatoire des Polluants URbains

rpm : rotations par minute

ufc : unité formant colonie

SKW : Schweizerischer Kosmetikund Waschmittelverband = Association suisse des cosmétiques et des détergents

PPRDE : personne publique ou privée responsable de la distribution d'eau

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	1
2. Contexte et enjeux	3
3. Etude Expérimentale	9
3.1 Matériel et Méthodes	9
Eprouvettes de tissus	9
Eaux	9
Contamination artificielle des eaux	10
Dénombrement de la flore aérobie revivifiable à 22°C	10
Lessive utilisée	10
Expérimentation <i>in vitro</i>	11
Expérimentation à échelle réelle	11
3.2 Résultats	13
Expérimentation <i>in-vitro</i> avec des eaux naturellement contaminées	13
Expérimentation <i>in-vitro</i> avec des eaux artificiellement contaminées	14
Expérimentations dans le lave-linge	16
3.3 Conclusion	17
4. Préconisations et Recommandations	18
5. Références bibliographiques	19
6. Annexes	20

1. INTRODUCTION

Le programme OPUR est un programme de recherche pérenne dans le domaine de l'hydrologie urbaine, développé et géré par le LEESU depuis 1994. Il est structuré en phases de recherche successives d'une durée moyenne de six ans. Les recherches menées tiennent compte des changements multiples (urbanisme et architecture, réglementation, pratiques et usages, modes de gestion) et analysent la résilience des infrastructures de gestion des eaux urbaines à ces changements (ouvrages de gestion des eaux pluviales, ouvrages de dépollution, réseaux). Les données et les connaissances acquises servent au développement d'outils d'aide à la gestion des eaux et des polluants en milieu urbain. La phase 4 du programme OPUR, qui s'étend sur la période 2013-2018, est structurée en 11 thèmes de recherche qui visent à maîtriser à la source la contamination des eaux pluviales urbaines, à favoriser le développement de ressources alternatives à l'eau potable en ville, à développer de nouvelles méthodes pour le suivi et la caractérisation des contaminants et à modéliser les flux de polluants. Le thème 8 s'intéresse spécifiquement à l'utilisation des ressources alternatives à l'eau potable en ville. C'est au sein de ce thème, dans l'action « 8.2 critères de qualité pour l'utilisation de l'eau de pluie » que l'étude du transfert de microorganismes naturellement présents dans l'eau de lavage vers le linge a été réalisée. Cette action a été élaborée pour acquérir des données susceptibles d'éclairer les choix en matière de traitement de l'eau de pluie préconisés par la réglementation en vigueur. En effet, l'arrêté du 21 août 2008 dans son article 2, indique que « l'utilisation d'eau de pluie collectée à l'aval de toitures inaccessibles est autorisée, à titre expérimental, pour le lavage du linge, sous réserve de mise en œuvre de dispositifs de traitement de l'eau adaptés », sans que ne soient donnés davantage de précisions sur la nature des dispositifs évoqués.

Le lavage du linge domestique à l'aide d'un lave-linge est un procédé complexe au cours duquel plusieurs facteurs peuvent influencer la qualité du lavage. Son efficacité à éliminer les salissures et les contaminants repose essentiellement sur quatre facteurs interdépendants que sont la température, le temps de lavage, l'action mécanique et l'action chimique des produits lessiviels. Selon le cercle de Sinner (SKW, 2010), ces quatre facteurs sont interdépendants et la diminution de l'un peut être compensée par l'augmentation de l'autre. Le lavage du linge en machine présuppose le brassage de microorganismes d'origines diverses (i) qui sont véhiculés par l'eau de lavage ou de rinçage, (ii) qui font partie de l'écosystème du lave-linge (biofilm) et (iii) qui sont apportés par le linge souillé.

Plusieurs travaux, recensés par un rapport d'expertise de l'ANSES (2016) décrivent le transfert de microorganismes entre les différents linges au cours du lavage avec de l'eau destinée à la consommation humaine (EDCH), une seule étude s'intéresse au transfert des microorganismes constitutifs du biofilm du lave-linge vers le linge (Callewaert *et al*, 2015). Le transfert de l'eau vers le linge n'est étudié que dans le cas de l'utilisation d'une eau de pluie

et, sur ce sujet, seules deux études ont été recensées (Holländer *et al.* 1993, Callewaert *et al.*, 2015).

L'objectif de ce travail est de mieux appréhender les transferts de microorganismes qui peuvent avoir lieu dans le lave-linge, de l'eau vers le linge. L'étude se décompose en 3 phases expérimentales. La première expérimentation consiste à étudier *in-vitro* le transfert de la flore aérobie revivifiable initialement présente dans 3 types d'eau (EDCH, eau de pluie et eaux grises correspondant à la dernière eau de rinçage d'un lave-linge). L'EDCH est utilisée comme eau de référence, l'eau de pluie comme eau d'étude, et les eaux grises ont été sélectionnées pour disposer d'une condition critique. En effet, leur réutilisation directe en tant que première eau de lavage du cycle suivant a été envisagée par certains constructeurs de lave-linge, puis l'idée a été rapidement abandonnée du fait des nuisances engendrées. De plus, il convient de rappeler que l'ANSES a estimé que les eaux grises traitées ne peuvent pas être utilisées pour le lavage du linge même avec un cycle comprenant un rinçage à l'EDCH (ANSES, 2015). La seconde expérimentation consiste à étudier le transfert de l'eau vers le linge de 3 microorganismes (*Pseudomonas aeruginosa*, *E. coli* et *Bacillus subtilis*) présents dans de l'EDCH, de l'eau de pluie et des eaux grises après une contamination artificielle. La troisième expérimentation consiste à recueillir des données de contamination du linge après un lavage en machine alimentée par de l'eau de pluie traitée ou non.

Ce rapport est subdivisé en trois parties, la première présente le contexte réglementaire et les facteurs ayant influés sur le développement de l'utilisation de l'eau de pluie à l'intérieur du bâtiment depuis le début des années 2000. La seconde partie s'attache à détailler le programme expérimental conduite en 2015 au sein de la plateforme expérimentale AQUASIM du CSTB de Nantes en précisant le matériel et les méthodes utilisés, les résultats obtenus ainsi que les conclusions. La troisième et dernière partie s'attache à formuler quelques préconisations et recommandations en lien avec les résultats de l'étude.

2. CONTEXTE ET ENJEUX

Depuis les années 2000, l'utilisation de l'eau de pluie à l'intérieur du bâtiment a fait l'objet de nombreux débats et ce sujet a conduit à la rédaction de différents textes et documents visant à développer, encadrer, accompagner et sécuriser cette pratique. Les étapes clés sont présentées chronologiquement dans la Figure 1.

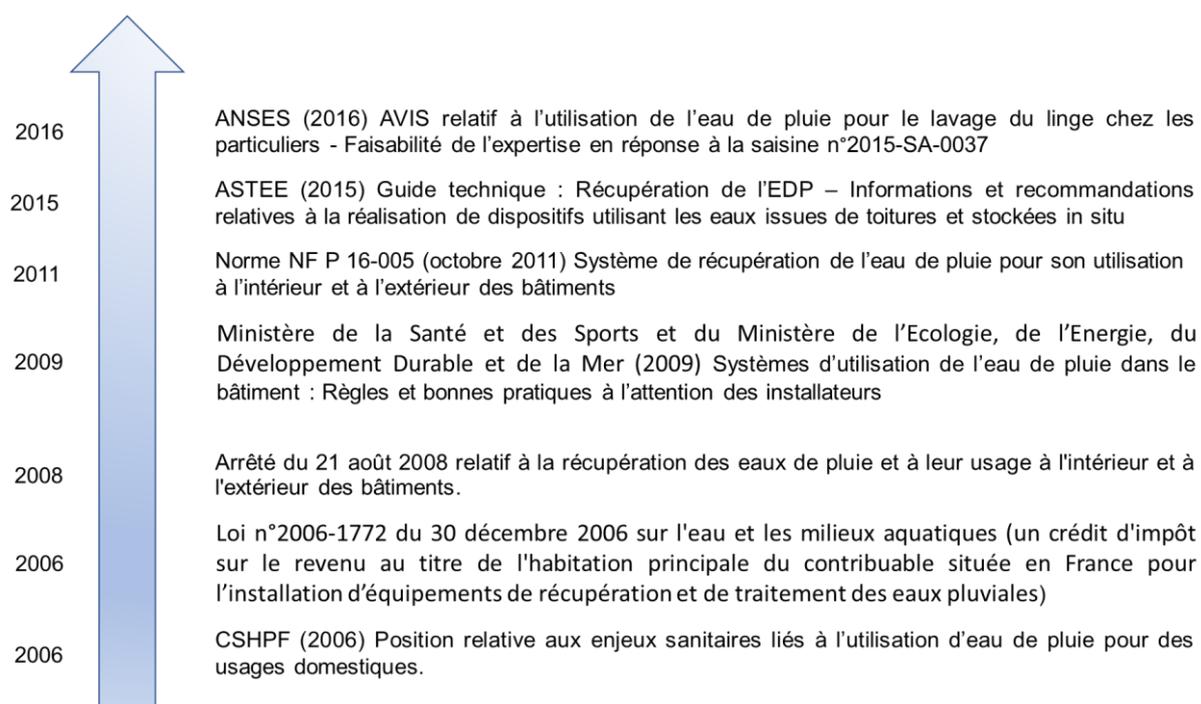


Figure 1 : Chronologie des étapes participant au développement de l'utilisation de l'eau de pluie à l'intérieur du bâtiment

En décembre 2002, la DGS (Direction Générale de la Santé) a saisi le CSHPPF (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France) concernant les aspects sanitaires liés à l'utilisation de l'eau de pluie pour des usages domestiques. En 2006, en réponse à cette saisine, le CSHPPF (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France) s'est prononcé sur la question de l'utilisation de l'eau de pluie pour des usages domestiques en précisant que « *en présence d'un réseau public délivrant une eau destinée à la consommation humaine conforme aux critères de qualité fixés dans le code de la santé publique, l'utilisation de l'eau du réseau présente la meilleure sécurité sanitaire pour l'ensemble des usages domestiques* ». Il a par ailleurs précisé le type d'eau de pluie à considérer pour envisager son utilisation dans un contexte domestique, précisé les modalités d'usage et les points de vigilance. Ainsi, l'avis se prononce sur :

- La restriction d'usage aux eaux de pluie collectées en aval des toitures pour des raisons sanitaires,

- La possibilité d'utiliser sans restriction ces eaux pour des usages non alimentaires et non liés à l'hygiène corporelle sans créer de réseau intérieur,
- La possibilité de permettre par dérogation l'utilisation de l'eau de pluie à l'intérieur du bâtiment via un réseau spécifique pour des usages limités à l'évacuation des excréta et aux usages connexes (arrosage des espaces verts, arrosage du potager, lavages des sols et des véhicules). Il est explicité que cette utilisation de l'eau de pluie à l'intérieur du bâtiment doit faire l'objet d'une déclaration systématique à la personne publique ou privée responsable de la distribution d'eau (PPPRDE),
- La possibilité d'autoriser, sous conditions, la récupération et l'utilisation d'eau de pluie pour tous les usages domestiques dans le cas particulier de bâtiments non raccordables à un réseau de distribution publique (sites isolés, impossibilité d'approvisionnement par un réseau d'eau potable à un coût acceptable),
- La nécessité d'initier des études sur le degré de protection sanitaire des installations de collecte, le stockage et d'utilisation d'eau de pluie, et d'élaborer des cahiers des charges techniques pour encadrer ce type d'équipements,
- La nécessité de porter une attention particulière à la sous-estimation des volumes d'eaux usées ainsi générées.

En 2006, la loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques prévoyait, un crédit d'impôt sur le revenu au titre de l'habitation principale du contribuable située en France pour l'installation d'équipements de récupération et de traitement des eaux pluviales. Elle prévoyait en outre un arrêté des ministres chargés de l'environnement et du logement pour fixer la liste des équipements ouvrant droit au crédit d'impôts ainsi que les conditions d'usage de l'eau de pluie dans l'habitat et les conditions d'installation, d'entretien et de surveillance de ces équipements. L'arrêté a été publié deux ans plus tard et la disposition sur le crédit d'impôt a été abrogée le 1^{er} janvier 2014.

L'arrêté du 21 août 2008, relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments précise les conditions d'usage de l'eau de pluie récupérée en aval de toitures inaccessibles, dans les bâtiments et leurs dépendances, ainsi que les conditions d'installation, d'entretien et de surveillance des équipements nécessaires à leur récupération et utilisation. Toutes les eaux de pluie collectées en aval des toitures inaccessibles sont concernées à l'exception des eaux de pluie collectées en aval de toitures inaccessibles en amiante-ciment et en plomb. Aucune précision n'est apportée sur la qualité physico-chimique et microbiologique requise pour les différents usages envisagés ou sur d'éventuelles restrictions de collectes liées à des évènements extérieurs (traitement de la toiture, dépôts liés à des pratiques industrielles, agricoles ou accidentelles). Le Tableau 1

résume les usages domestiques de l'eau de pluie collectée en aval des toitures inaccessibles envisagés par cet arrêté.

Tableau 1 : Usages domestiques l'eau de pluie collectée en aval des toitures inaccessibles prévus par l'arrêté du 21 août 2008

Usage domestique de l'eau de pluie	Interdiction	Autorisation	Autorisation à titre expérimental
Alimentation	X	-	-
Hygiène corporelle	X	-	-
Alimentation du linge	Etablissements de santé, sociaux et médicaux, d'hébergement de personnes âgées		Avec mise en œuvre d'un traitement adapté déclaré et connu du ministère en charge de la santé
Lavage des sols		X	-
Evacuation des excréta	Cabinets médicaux, dentaires, laboratoires d'analyses médicales et centres de transfusion sanguine	X	-
	Crèches, écoles maternelles et primaires		

L'arrêté précise que l'installation doit être réalisée dans les règles de l'art (réservoir, raccordement, arrivée de l'eau, point de soutirage). Il liste les obligations qui incombent au propriétaire, personne physique ou morale, concernant la déclaration de l'installation, sa conformité aux règles de l'art et son entretien. Concernant le lavage du linge, il est autorisé à titre expérimental sous réserve que l'eau de pluie soit préalablement traitée. Cependant aucune indication particulière sur les exigences en termes de procédés à utiliser ou de qualité d'eau à obtenir n'est mentionnée. En 2013, une interprétation du texte a été proposée par de Gouvello *et al.* (2013). Les auteurs définissent ainsi 3 catégories d'eau de pluie en fonction de l'usage et y associent des prescriptions techniques spécifiques et adaptées de collecte, de stockage et de traitement (Tableau 2).

Tableau 2 : Catégorie d'usage de l'eau de pluie et prescriptions techniques (d'après de Gouvello *et al.*,2013)

Catégorie d'usage de l'eau de pluie	Prescriptions techniques de collecte, stockage et traitement
Catégorie 1 Usage extérieur	Collecte Toitures inaccessibles Possibilité de nettoyer et drainer l'installation facilement et dans son intégralité Stockage Protection vis-à-vis de la pollution Utilisation de matériaux inertes Grilles de ventilation (maille de 1 mm maximum)
Catégorie 2 Usage intérieur pour l'alimentation des chasse-d'eau et le lavage des sols	<i>Prescriptions additionnelles par rapport à la catégorie 1</i> Collecte Les surface de collecte ne doivent contenir ni amiante, ni plomb Stockage Protection contre les élévations fortes de la température Vidange, nettoyage et désinfection annuelle de l'installation Traitement Filtration en amont du réservoir à 1 mm Distribution Matériaux des canalisations non sensibles à la corrosion
Catégorie 3 Usage intérieur pour l'alimentation des lave-linge	<i>Prescriptions additionnelles par rapport à la catégorie 2</i> Traitement adapté (sur une base expérimentale)

Le guide rédigé par de Gouvello (2010) et édité par le CSTB dans la collection Bâtir le développement durable opère une analyse fonctionnelle d'un dispositif de récupération d'eau de pluie et s'attache à décrire les techniques et les équipements à mettre en œuvre. Les règles de l'art ont été précisées dans la norme NF P 16-005 (2011). Cette norme française portant sur les systèmes de récupération de l'eau de pluie pour son utilisation à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments donne des spécifications générales sur la conception, le dimensionnement, la mise en œuvre, la mise en service, l'entretien et la maintenance des systèmes de récupération, de stockage et de distribution de l'eau de pluie. Cette norme ne décrit pas de système de traitement de l'eau de pluie pouvant être raccordé au réseau de distribution de l'eau de pluie en amont du lave-linge. En revanche, cet équipement est mentionné dans la liste des éléments du système à vérifier et entretenir périodiquement. Il est précisé que l'entretien de cet équipement doit figurer dans le carnet sanitaire sous la responsabilité du propriétaire.

Aucun des textes précédents n'apporte d'éléments permettant d'encadrer l'utilisation de l'eau de pluie pour l'alimentation des lave-linges. Aussi le groupe de travail de l'ASTEE a cherché à proposer un système de traitement sur la base de considérations techniques et sanitaires. Au terme de nombreux débats, le groupe de travail a statué sur des considérations jugées prioritaires pour :

- Garantir le fonctionnement pérenne du système de traitement installé, via un dispositif limitant les contraintes d'entretien ;
- Prévenir toute tentation de détournement de l'eau traitée à un usage inapproprié, (douche, cuisine, voire boisson) ;
- Éviter les effets potentiellement dommageables de certains désinfectants sur le linge (chlore, dioxyde de chlore).

Ainsi, à la suite de ces considérations, le guide rajoute que « en conséquence, il ne lui [le GT ASTEE] apparaît ni indispensable ni recommandable de recourir à une désinfection ». Ce point de vue n'est pas suivi par la DGS qui émet une réserve sur ce point.

Le procédé recommandé repose sur une filtration sur cartouche de 5 µm suivie d'une filtration sur charbon actif. La cartouche, présentant un seuil de coupure de 5 µm assure une rétention de la turbidité mais n'assure pas l'élimination complète des microorganismes. Le charbon actif, placé en aval de la cartouche de filtration, est préconisé pour éliminer les matières organiques présentes dans l'eau et ainsi réduire la coloration éventuelle de l'eau. En amont de ce traitement, une filtration étagée peut être recommandée pour éliminer les grosses particules et assurer la distribution de l'eau de pluie dans de bonnes conditions. Cette filtration étagée prévoit une préfiltration avec un seuil de coupure supérieur ou égal à 200 µm suivie d'une filtration intermédiaire à 50 µm. L'utilisation de réacteur UVc en complément du dispositif de filtration est évoqué, sans être préconisé, dans le guide de l'ASTEE (2015) comme dispositif pouvant compléter le traitement de l'eau et détruire les microorganismes. Il paraît nécessaire de préciser que l'efficacité des UVc dépend de la turbidité de l'eau et que l'efficacité optimale n'est pas immédiate à la mise en route. A ce jour, aucune validation du dispositif de traitement proposé par le groupe de travail de l'ASTEE n'a été mise en œuvre et il n'existe aucune ligne directrice permettant d'encadrer l'évaluation de l'efficacité des procédés de traitement de l'eau de pluie pour l'application envisagée.

Le recours à la désinfection de l'eau de pluie utilisée pour alimenter le lave-linge fait l'objet de nombreux débats. Bien que les experts du groupe ne soient pas favorables au recours à la désinfection, la DGS précise que « les dispositifs de traitement adaptés au lavage du linge (usage à titre expérimental uniquement, tel que défini par l'arrêté du 21 août 2008) cités à l'article 2-III dudit arrêté sont à comprendre *a minima* comme des dispositifs de désinfection ».

Ces divergences ont conduit la DGS à saisir l'ANSES le 10 février 2015 dans le but de réaliser une expertise portant sur l'évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation d'eau de pluie pour le lavage du linge chez les particuliers.

L'expertise qui relève du domaine de compétences du CES « Eaux » a été confiée au GT « Eau de pluie ». L'expertise s'est basée principalement sur une recherche bibliographique et une série d'auditions afin de (i) recenser de façon globale les contaminants de l'eau de pluie collectée en aval des toitures, (ii) décrire les caractéristiques des systèmes de collecte, de stockage et de distribution qui influencent la qualité de l'eau de pluie au point d'usage et (iii)

d'étudier l'efficacité des différentes étapes d'entretien du linge (comprenant le lavage, le séchage et le repassage) quelle que soit la nature de l'eau utilisée. Les données collectées par le GT « Eau de pluie » mettent en évidence (i) que la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de pluie collectées en aval des toitures inaccessibles est hétérogène, (ii) qu'il est particulièrement difficile d'avoir une vision exhaustive de la récupération et de l'utilisation de l'eau de pluie en France notamment pour le lavage du linge et (iii) que les données relatives aux dispositifs de traitement de l'eau de pluie sont inexistantes. Dans ces conditions, l'étude du risque sanitaire liée à l'utilisation de l'eau de pluie pour l'alimentation des lave-linges n'a pas pu être réalisée. Néanmoins des recommandations ont été formulées. Ainsi l'ANSES recommande de pas recourir au lavage du linge avec de l'eau de pluie pour certaines populations sensibles (jeunes enfants, hospitalisation à domicile, personnes immunodéprimés). L'agence préconise également de collecter des données pour avoir une vision exhaustive des différentes pratiques. Elle insiste sur le respect des prescriptions techniques concernant la disconnexion des réseaux décrites dans l'arrêté du 21 août 2008, la norme NF 16-005 et la norme NF EN 1717, ainsi que sur le respect des prescriptions d'entretien, de maintenance et de positionnement des robinets de soutirage à l'intérieur du bâtiment. L'identification claire des réseaux (couleur, pictogramme, etc.) doit être comprise par toutes les populations y compris les personnes malvoyantes et celles ne sachant pas lire ou maîtrisant mal l'usage du français.

A l'issue de l'expertise, il ressort un besoin de :

- Revoir le principe de déclaration des installations de récupération et d'utilisation de l'eau de pluie à l'intérieur du bâtiment pour recenser, contrôler, entretenir et informer correctement les usagers (propriétaires ou locataire) sur l'existence, le fonctionnement, l'utilisation appropriée et l'entretien des installations ;
- Professionnaliser la filière eau de pluie en concevant des formations spécifiques qualifiantes et en intégrant le diagnostic de l'installation de récupération de l'eau de pluie à l'intérieur du bâtiment à la liste des diagnostics à faire réaliser au moment de la vente d'un bien immobilier ;
- Informer les utilisateurs pour assurer l'utilisation de l'eau de pluie tout en garantissant la sécurité sanitaire Cela concerne aussi bien les bonnes pratiques d'entretien des installations de récupération et d'utilisation de l'eau de pluie que les bonnes pratiques d'hygiène et d'entretien du linge à travers la rédaction de guides de bonnes pratiques ;
- Porter une attention particulière à la conception et l'entretien des dispositifs de récupération et de stockage des eaux de pluie en prenant en compte la lutte anti-vectorielle (LAV) pour éviter la création de gîtes larvaires et la prolifération de moustiques vecteurs de maladies.

3. ETUDE EXPERIMENTALE

Cette étude expérimentale a été mise en place pour appréhender les transferts de microorganismes qui peuvent avoir lieu dans le lave-linge de l'eau vers le linge. Pour cela, plusieurs approches ont été retenues. Dans la première phase, des éprouvettes de tissus stériles ont été mises en contact avec des eaux de différente qualité (EDCH, eau de pluie et eaux grises correspondant à la dernière eau de rinçage d'un lave-linge) pour évaluer l'absorption par le linge de la flore microbiologique banale (flore aérobie revivifiable) initialement présente dans les eaux. L'EDCH a été utilisée comme eau de référence, l'eau de pluie comme eau d'étude, et les eaux grises ont été sélectionnées pour disposer d'une condition critique. En effet, leur réutilisation directe en tant que première eau de lavage du cycle suivant a été envisagée par certains constructeurs de lave-linge, puis l'idée a été rapidement abandonnée du fait des nuisances engendrées. Dans la deuxième phase, le même principe a été utilisé mais cette fois-ci en contaminant artificiellement les eaux avec 3 microorganismes (*Pseudomonas aeruginosa*, *E. coli* et *Bacillus subtilis*). La dernière phase a consisté à recueillir des données de contamination du linge après un lavage en machine alimentée par de l'eau de pluie traitée ou non.

3.1 Matériel et Méthodes

Eprouvettes de tissus

Des serviettes de type éponge 100% coton d'une densité de 300 g/m² ont été utilisées. Des éprouvettes de 3,8 cm de diamètre ont été découpées afin d'obtenir des coupons de tissus tels que ceux utilisés dans la norme XP G39-010, portant sur la caractérisation et la mesure l'activité antibactérienne des étoffes et surfaces polymériques. Le poids des éprouvettes est de 464±5 mg. Chaque éprouvette possède une capacité d'absorption d'eau correspondant à 8 fois son poids. Les éprouvettes sont stérilisées avant chaque expérience à 121°C pendant 15 minutes.

Eaux

Pour étudier le transfert des microorganismes de l'eau vers le linge, trois types d'eau ont été utilisés. Le Tableau 1 présente leur origine et leurs principales caractéristiques.

Tableau 3: Caractéristiques des eaux utilisées

Eau	Origine	Principales caractéristiques
Eau destinée à la consommation humaine	Réseau Nantes Métropole	9 à 16°F
Eau de pluie	Collectée sur le toit terrasse du bâtiment AQUASIM. Cette toiture terrasse en béton est accessible et est le lieu d'activités de recherche occasionnelles	Eau stockée dans une cuve en polypropylène (PP) d'une capacité de 5 m ³
Eaux grises	Lave-linge de la laverie d'AQUASIM	Eau du dernier rinçage

Contamination artificielle des eaux

Trois bactéries différentes ont été utilisées pour contaminer artificiellement les eaux. Il s'agit de *Escherichia coli* (ATCC 11 229), *Pseudomonas aeruginosa* (CIP A22), et une souche de *Bacillus subtilis*. La bactérie *P. aeruginosa* a été choisie car c'est une bactérie qui se développe en milieu humide sous forme de biofilm. *E. coli* a été retenue comme représentant des indicateurs de contamination fécale. *Bacillus subtilis* a été sélectionnée car elle est capable de sporuler (forme de résistance). Leurs exigences nutritives sont relativement simples ce qui rend leur manipulation relativement aisée et qu'elles pourraient être utilisées pour évaluer l'efficacité d'un traitement à plus grande échelle. Pour chaque souche, un inoculum spécifique a été préparé dans de l'eau distillée stérile à la concentration de $1,4 \cdot 10^8$ ufc/mL, $1,1 \cdot 10^8$ ufc/mL et $1,6 \cdot 10^8$ ufc/mL respectivement. La numération des souches a été réalisée sur milieu ChromID (Biomérieux, France), CN (Biomérieux, France) et PCA (Biomérieux, France) pour *E. coli*, *P. aeruginosa* et *B. subtilis* respectivement.

Dénombrement de la flore aérobie revivable à 22°C

La flore aérobie revivable des différents échantillons d'eau utilisés lors de la première phase a été dénombrée après dilution successive au 1/10^{ème} dans de l'eau distillée stérile, étalement sur gélose PCA et incubation à 22°C pendant 72h.

Pour les échantillons d'EDCH, il a été nécessaire d'inhiber le résiduel de chlore présent à l'aide de thiosulfate de sodium. Sans utilisation de thiosulfate, le résiduel de chlore présent dans l'EDCH inhibe la croissance des bactéries que l'on cherche à mettre en évidence.

Lessive utilisée

Pour cette étude la lessive Skip® a été utilisée. Elle est composée de 5 à 15% d'agents de surface anioniques, d'agents de surfaces non-ioniques et contient une proportion inférieure à 5% d'enzymes, azurants optiques, parfum, phosphates, savon, butylphényl methylpropional, citronellol, benzisothiazolinone.

Une quantité de 100 μL a été utilisée pour les expérimentations *in-vitro* et une quantité de 50 mL a été utilisée dans le lave-linge.

Expérimentation *in vitro*

Les éprouvettes de tissu éponge ont été placées dans des tubes Falcon® de 50 mL contenant 20 mL d'eau (EDCH, eau de pluie ou eaux grises) naturellement ou artificiellement contaminées en présence ou non de lessive. Chaque tube a été inséré dans un dispositif d'agitation par retournement, fonctionnant à 28 rpm. L'expérimentation a été réalisée à 30°C et à 40°C. Chaque condition a été reproduite trois fois. Après 60 minutes d'incubation, les éprouvettes collectées à l'aide d'une pince stérile, ont été égouttées 5 s puis transférées dans un tube Falcon® de 50 mL contenant 10 mL d'eau stérile. Les bactéries adhérentes à l'éprouvette de tissu ont été décrochées au vortex pendant 30 s (Figure 2).

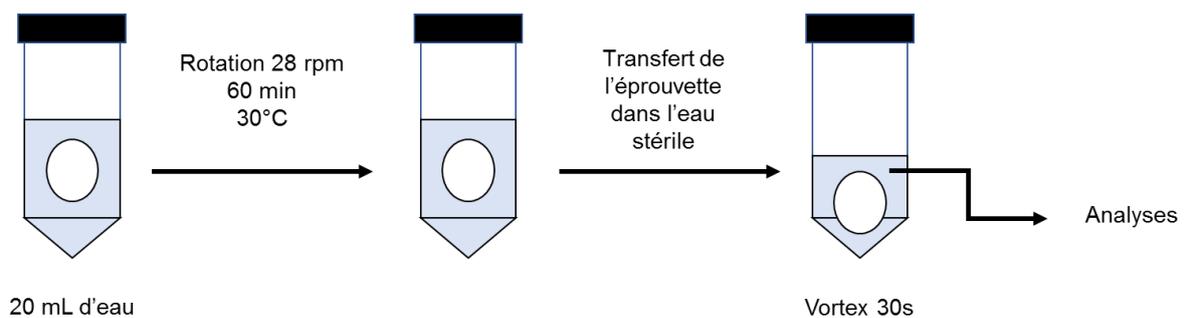


Figure 2 : Protocole permettant d'étudier le transfert des microorganismes de l'eau vers le linge

Expérimentation à échelle réelle

Le lave-linge utilisé dans cette expérimentation, est un lave-linge de la marque Indesit® IWC 71051 C, FR. Ce lave-linge a été utilisé dans trois configurations différentes. La première correspond à une utilisation classique avec un raccordement au réseau EDCH ; la deuxième correspond au raccordement à la cuve d'eau de pluie (Figure 3) ; la troisième correspond au raccordement à la cuve d'eau de pluie avec utilisation d'un dispositif de traitement répondant aux recommandations formulées dans le guide de l'ASTEE (Figure 4). Pour cela, un filtre de la marque ATLASfiltri® a été positionné entre la pompe et l'arrivée d'eau du lave-linge. Ce filtre comprend deux parties ; la première partie est une cartouche filtrante composée d'un filtre de polypropylène enroulé sur une âme interne de polypropylène présentant un seuil de coupure de 5 μm . La deuxième partie est une cartouche de charbon actif avec du propylène extrudé-soufflé, présentant un seuil de coupure de 25 μm .

Plusieurs cycles de lavage ont été réalisés à 30°C, 40°C, 60°C et 90 °C en utilisant 4 serviettes 100% coton de 50*80 cm et dix éprouvettes de tissus placées dans un filet de lavage pour éviter leur dispersion et faciliter leur récupération.

La flore aérobie revivifiable transférée sur le linge au cours du lavage a été évaluée sur des éprouvettes humides (sortie du lave-linge) et sèches. Le séchage a été réalisé en disposant les éprouvettes dans des boîtes de Petri stériles et ouvertes, placées sous un PSM (poste de sécurité microbiologique) afin d'éviter le dépôt de contaminants éventuellement présents dans l'air ambiant. Chaque éprouvette (humide ou sèche) a ensuite été transférée dans un tube Falcon® de 50 mL contenant 10 mL d'eau stérile. Les bactéries adhérentes à l'éprouvette de tissu ont été décrochées par Vortex pendant 30 s, puis dénombrées. Pour cela, un volume de 0,1 mL de la suspension obtenue a été étalée sur gélose PCA, le reste de la suspension a été filtrée sur une membrane (référence) ensuite placée sur gélose PCA, à raison de 1 mL pour la première membrane et 8,9 mL pour la seconde de manière à pouvoir dénombrer la flore aérobie revivifiable, quelle que soit sa concentration. Les milieux de culture ont ensuite été incubés à 22°C pendant 48 à 72h.



Figure 3 : Dispositif expérimental permettant l'alimentation d'un lave-linge par de l'eau de pluie



Figure 4 : Dispositif expérimental permettant l'alimentation d'un lave-linge par de l'eau de pluie préalablement filtrée

3.2 Résultats

Expérimentation *in-vitro* avec des eaux naturellement contaminées

L'expérimentation a été réalisée avec trois types d'eau, une EDCH, une eau de pluie et des eaux grises dont la contamination initiale (flore aérobie revivable à 22°C) était de 2,102 ufc/mL, 1,2.103 ufc/mL et 7,6.103 ufc/mL. Le niveau de contamination des éprouvettes de tissu après contact de 60 min avec l'eau a été déterminé. Les résultats bruts sont présentés dans l'Annexe et la Figure 5 présente les taux de transfert de la flore aérobie revivable de l'eau vers le linge. Les taux de transfert de l'EDCH vers les éprouvettes sont faibles (< 10%) et non reproductibles, car les germes sont généralement retrouvés sur une seule des trois éprouvettes. Cela s'explique probablement par la présence de résiduel de chlore. Les taux de transfert des eaux grises vers les éprouvettes sont les plus faibles, bien que les eaux grises présentent les plus fortes concentrations initiales en microorganismes. Cela peut s'expliquer par la présence de résiduel de produits lessiviels dans ces eaux. Les transferts de microorganismes de l'eau de pluie vers le linge sont les plus forts. Ils peuvent atteindre 35% en absence de lessive. Sur l'ensemble des données, l'ajout de lessive lors de l'expérimentation diminue le taux de transfert des microorganismes de l'eau vers le linge. La différence entre EDCH et Eau de pluie en présence de lessive paraît très faible en termes de taux de transfert. Mais elle demeure importante en termes de transfert sur le linge car les niveaux de contamination initiale de l'eau de pluie sont plus élevés.

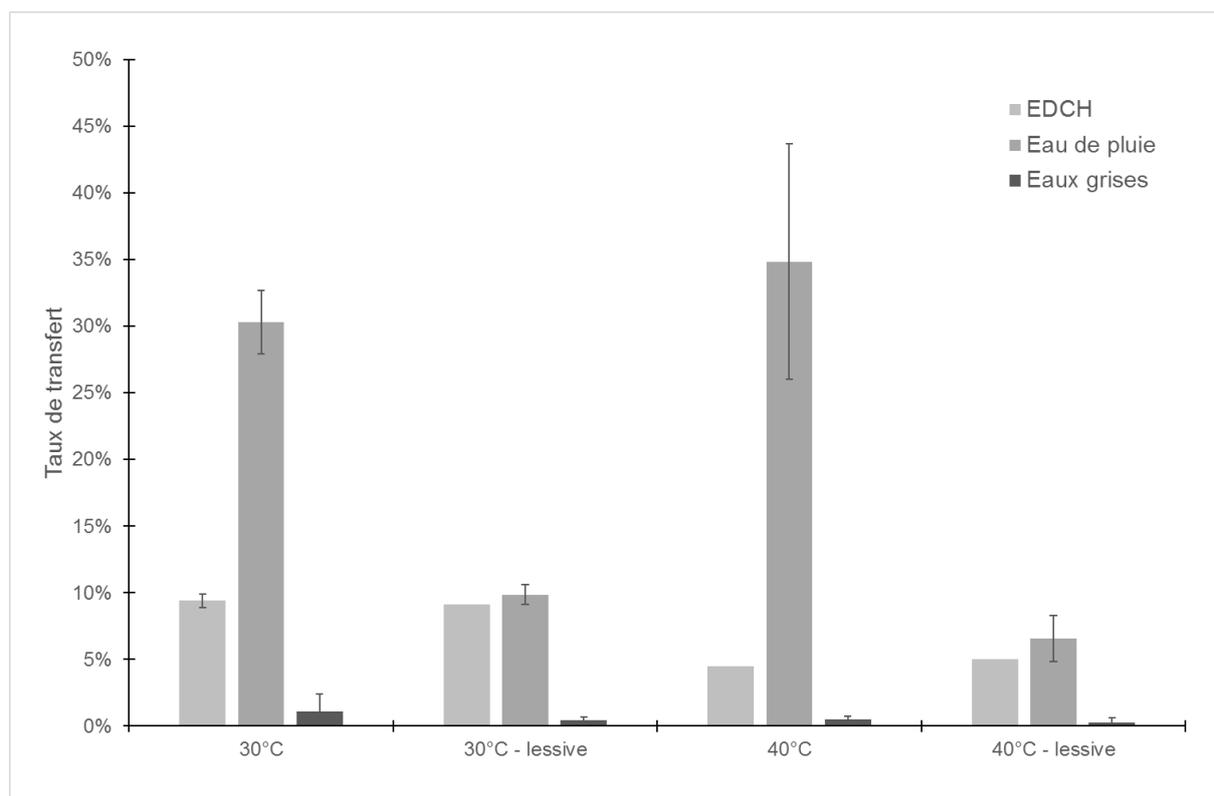


Figure 5 : Taux de transfert des microorganismes (flore aérobie revivable à 22°C) de l'eau vers le linge (temps de contact 60 min-28 rpm) à 30 et 40°C en présence ou non de lessive

Expérimentation *in-vitro* avec des eaux artificiellement contaminées

Chaque type d'eau a été contaminé artificiellement par chacun des trois microorganismes sélectionnés. Ainsi après contamination artificielle, les 20 mL de chaque type d'eau contenaient $1,6 \cdot 10^7$ ufc ; $1,1 \cdot 10^7$ ufc ; $1,6 \cdot 10^7$ ufc correspondant à *P. aeruginosa*, *E. coli* et *Bacillus subtilis* respectivement. Après un temps de contact de 60 min entre une éprouvette de tissu et l'eau contaminée, les microorganismes adhérents sur les tissus ont été dénombrés (Annexe , Annexe , Annexe) et les taux de transfert calculés. Les résultats sont présentés dans la Figure 6Figure 6.

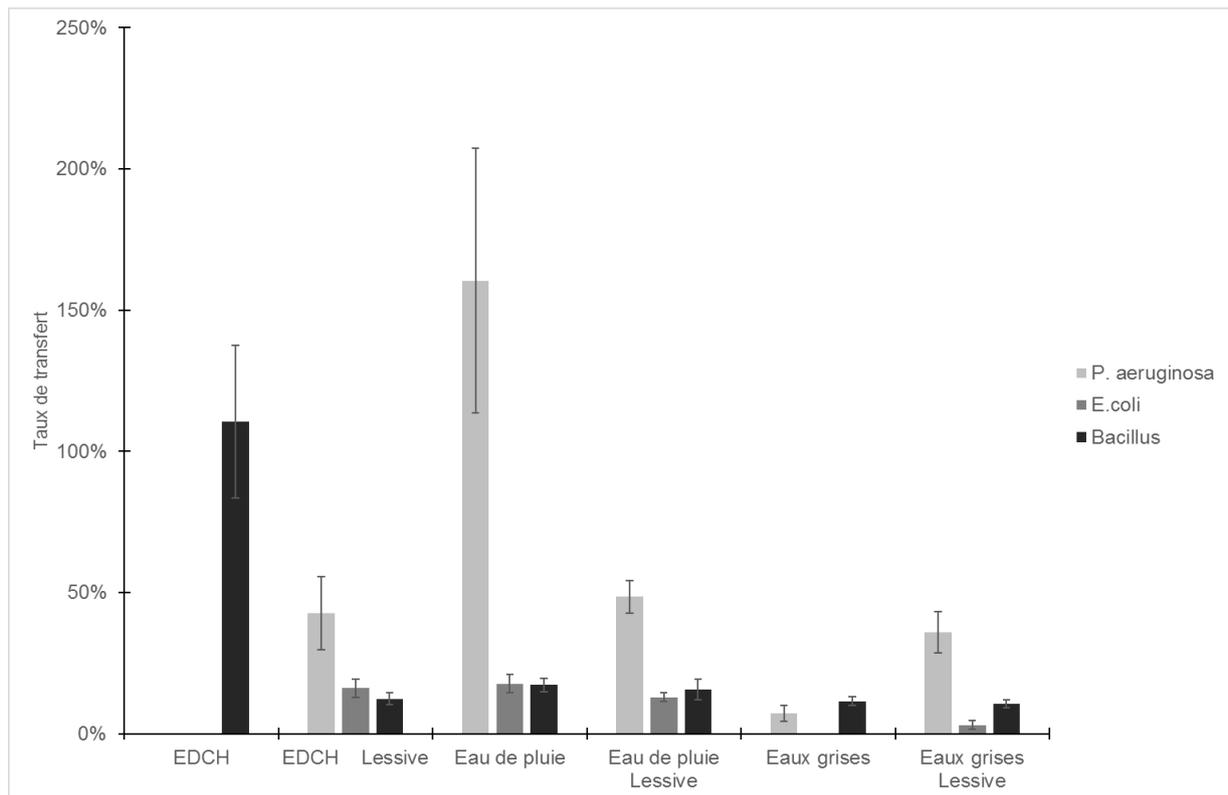


Figure 6 : Taux de transfert des microorganismes (*P. aeruginosa*, *E. coli* et *Bacillus*) de l'eau vers le linge (temps de contact 60 min-28 rpm) à 30°C en présence ou non de lessive

On constate que les différents microorganismes se comportent différemment. Le transfert des bactéries du genre *Bacillus* ne semble pas être influencé par les différentes conditions (type d'eau et présence ou non de lessive). Le taux de transfert des bactéries de l'eau vers le linge se situe entre 16 et 18% à l'exception des expérimentations en EDCH où la totalité des bactéries a été retrouvée sur les éprouvettes de tissu.

La bactérie *E. coli* est plus sensible aux différentes conditions. Dans l'EDCH, la présence de résiduel de chlore inhibe la bactérie qui n'est pas retrouvée sur les éprouvettes de tissu. L'addition de lessive qui consomme le résiduel de chlore permet à la bactérie de survivre et de se fixer sur les fibres du tissu. Les eaux grises ne sont pas favorables à la survie d'*E. coli*. En revanche, les taux de transfert sont de l'ordre 12 à 21 % dans l'eau de pluie en présence ou non de lessive.

Le transfert de la bactérie *P. aeruginosa* varie très fortement en fonction des conditions. En présence de résiduel de chlore dans l'EDCH, elle est inhibée et aucune bactérie cultivable n'est retrouvée sur les éprouvettes de tissu. En présence de lessive dans l'EDCH ou les eaux grises le taux de transfert moyen varie entre 6 et 58%. Les taux de transfert les plus élevés sont observés à partir de l'eau de pluie. Dans ces conditions, la moitié ou la totalité des bactéries *P. aeruginosa* utilisées pour contaminer artificiellement l'eau de pluie est transférée sur les éprouvettes de tissu. La durée de l'expérimentation (60 min) et la température d'incubation (30°C) favorable à la croissance bactérienne ne permet pas d'exclure totalement

une multiplication des microorganismes. Si l'on considère qu'une bactérie se multiplie en 20 minutes dans des conditions optimales, la croissance de la population resterait inférieure à 1 unité logarithmique, ce qui n'apparaît pas suffisamment significatif pour être pris en compte dans cette expérimentation.

Expérimentations dans le lave-linge

Dans le cas de l'expérimentation à l'intérieur du lave-linge, il est impossible de traduire les résultats en termes de taux de transfert. En effet, d'une part le volume d'eau utilisé pour le lavage et le rinçage devrait être pris en considération et d'autre part la flore présente sur les parois du lave-linge peut également être à l'origine de la contamination du linge.

Au cours de cette expérimentation, on constate que la contamination de l'eau de pluie alimentant le lave-linge varie entre $2,8 \cdot 10^2$ ufc/mL et $3,0 \cdot 10^4$ ufc/mL. A l'issue des différents lavages, la contamination des éprouvettes variait de $1,8 \cdot 10^2$ à $1,2 \cdot 10^5$ ufc/mL. Le séchage des éprouvettes altère la viabilité des bactéries présentes sur le linge. Cet abattement varie de moins d'1 Log à 3 Log (Tableau 4).

Tableau 4 : résultats de l'expérimentation à l'intérieur du lave-linge

Type	Eau d'alimentation FAR (ufc/mL)	Condition de lavage		Coupons humides		Coupons secs	
		Température	Lessive	Moy	ET	Moy	ET
EDCH	$2,50 \cdot 10^2$	30°C	Non	$2,58 \cdot 10^4$	$2,36 \cdot 10^4$	$6,38 \cdot 10^1$	$3,96 \cdot 10^0$
EDCH	$2,60 \cdot 10^2$	90°C	Non	$1,82 \cdot 10^3$	$5,81 \cdot 10^2$	$5,88 \cdot 10^1$	$1,50 \cdot 10^1$
EDP	$1,30 \cdot 10^3$	30°C	Non	$2,90 \cdot 10^4$	$6,12 \cdot 10^3$	$9,56 \cdot 10^1$	$2,07 \cdot 10^1$
EDP	$1,21 \cdot 10^3$	30°C	Oui	$6,70 \cdot 10^4$	$6,22 \cdot 10^4$	$5,08 \cdot 10^1$	$4,79 \cdot 10^0$
EDP	$2,80 \cdot 10^2$	40°C	Non	$2,62 \cdot 10^4$	$6,83 \cdot 10^3$	$3,91 \cdot 10^1$	$1,40 \cdot 10^1$
EDP	$3,01 \cdot 10^4$	40°C	Oui	$1,21 \cdot 10^5$	$1,87 \cdot 10^4$	$1,06 \cdot 10^2$	$2,30 \cdot 10^1$
EDP	$1,24 \cdot 10^4$	60°C	Non	$8,26 \cdot 10^4$	$1,93 \cdot 10^4$	$4,88 \cdot 10^2$	$2,82 \cdot 10^2$
EDP	$8,00 \cdot 10^3$	60°C	Oui	$2,62 \cdot 10^4$	$6,91 \cdot 10^3$	$3,98 \cdot 10^3$	$2,27 \cdot 10^3$
EDP	$3,60 \cdot 10^3$	90°C	Non	$5,78 \cdot 10^3$	$3,11 \cdot 10^3$	$1,04 \cdot 10^2$	$5,40 \cdot 10^0$
EDP	$3,70 \cdot 10^3$	90°C	Oui	$6,86 \cdot 10^3$	$3,78 \cdot 10^2$	$2,86 \cdot 10^3$	$7,60 \cdot 10^2$
EDP-F	$1,60 \cdot 10^3$	30°C	Non	$2,48 \cdot 10^4$	$1,12 \cdot 10^4$	$1,04 \cdot 10^3$	$4,72 \cdot 10^2$
EDP-F	$3,50 \cdot 10^2$	30°C	Non	$1,04 \cdot 10^3$	$4,72 \cdot 10^2$	$5,24 \cdot 10^1$	$4,80 \cdot 10^0$
EDP-F	$2,10 \cdot 10^3$	40°C	Non	$4,06 \cdot 10^4$	$5,32 \cdot 10^3$	$1,28 \cdot 10^3$	$1,90 \cdot 10^3$

EDCH : eau destinée à la consommation humaine, EDP : Eau de pluie ; Moy : moyenne ; ET : Ecart-type, FAR : flore aérobie revivable ; EDP-F : eau de pluie préalablement filtrée

3.3 Conclusion

Les quelques expérimentations présentées dans ce rapport permettent de confirmer qu'il existe un transfert des microorganismes de l'eau vers le linge quelle que soit la qualité d'eau utilisée et que les autres opérations d'entretien du linge (séchage) contribuent à diminuer les niveaux de contamination. Les taux de transfert de la flore aérobie revivifiable mesurés *in-vitro* sont inférieurs à 10% en présence d'EDCH et de 5 à 35% en présence d'eau de pluie. Les différences de taux de transfert observées peuvent s'expliquer par des différences de comportement des bactéries en fonction des caractéristiques physico-chimiques de l'eau et notamment par la présence de résiduel de chlore dans l'EDCH. La présence de produits lessiviels permet de diminuer les taux de transferts. Les expérimentations réalisées dans le lave-linge montrent que la qualité de l'eau entrante influence le niveau de contamination du linge humide en sortie de lave-linge. Ainsi dans ces expérimentations le niveau de contamination du linge humide est de l'ordre de 10^3 ufc/éprouvette soit environ 10^1 ufc/cm². Ce résultat est comparable à ce qui a précédemment été décrit par Hollander (1993). L'utilisation d'un traitement préalable de l'eau de pluie qui ne permet pas de limiter l'entrée des microorganismes dans le lave-linge du fait du seuil de coupure utilisé, ne permet pas de diminuer la contamination du linge humide par rapport à l'utilisation de l'eau de pluie non traitée. L'alimentation du lave-linge avec de l'eau de pluie traitée a été réalisée en utilisant un filtre neuf. Il est important de se questionner sur l'efficacité de ce filtre au cours du temps qui peut être par ailleurs être à l'origine d'une dégradation de la qualité de l'eau de pluie utilisée dans le lave-linge en cas de relargage des bactéries piégées dans le charbon actif. Il faut également noter que dans le cas de l'installation utilisée, le développement de larves de moustiques a été constaté dans le filtre lui-même.

4. PRECONISATIONS ET RECOMMANDATIONS

L'eau de pluie n'a pas les caractéristiques de l'EDCH, sa qualité n'est ni maîtrisée, ni contrôlée et la présence de pathogènes ne peut pas être exclue. A ce titre le lavage du linge à l'eau de pluie apparaît être une pratique plus risquée d'un point de vue sanitaire que le lavage du linge à l'EDCH. Cette remarque ne tient que si l'on considère le transfert des microorganismes de l'eau vers le linge. Mais le lavage du linge est complexe et la qualité sanitaire finale du linge dépend de la procédure de lavage (diagramme de Sinner), du niveau de salissure de l'ensemble du linge qui subit le lavage ainsi que des étapes successives d'entretien du linge (séchage et repassage).

Pour diminuer la contamination du linge en sortie de lave-linge, il pourrait être proposé de créer une double alimentation des lave-linges pour utiliser l'eau de pluie pour le lavage à proprement parler et l'EDCH pour le rinçage. Ce type de proposition se heurte à plusieurs difficultés. La première correspond à l'absence de données sur l'effet de l'utilisation de différentes qualités d'eau sur l'établissement du biofilm, la survie des microorganismes et leur décrochage au sein du lave-linge. La seconde correspond à la conception des lave-linges. A l'heure actuelle, les professionnels ne semblent pas enclins à promouvoir l'alimentation des lave-linges avec de l'eau de pluie car ces équipements sont conçus pour fonctionner avec de l'EDCH et testés dans ces conditions pour attester de leur qualité. L'alimentation des lave-linges par de l'eau de pluie fait redouter l'apparition de problème de corrosion et la nécessité d'adapter la composition et de la concentration des produits lessiviels. Enfin la dernière correspond à des aspects réglementaires et normatifs, puisque les points de soutirage de chacun des types d'eau ne doivent pas se situer dans la même pièce.

Cette étude fait ressortir le besoin d'accompagner davantage les actions visant à promouvoir l'utilisation de l'eau de pluie à l'intérieur du bâtiment. En développant des études expérimentales et en développant des protocoles permettant d'évaluer l'efficacité des dispositifs de traitement de l'eau de pluie en sensibilisant les professionnels et les utilisateurs.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Arrêté du 21 août 2008 relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments. NOR: DEVO0773410A

AFNOR (2000) XP G39-010 Propriétés des étoffes - Étoffes et surfaces polymériques à propriétés antibactériennes - Caractérisation et mesure de l'activité antibactérienne

AFNOR (2011) NF P 16-005 Systèmes de récupération de l'eau de pluie pour son utilisation à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments.

ANSES (2015) Analyse des risques sanitaires liés à la réutilisation d'eaux grises pour des usages domestiques – Saisine n° 2011-SA-0037 – 144 pages
<https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2011sa0112Ra.pdf>

ANSES (2016) AVIS relatif à l'utilisation de l'eau de pluie pour le lavage du linge chez les particuliers Faisabilité de l'expertise - Saisine n°2015-SA-0037 - 94 pages
<https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2015SA0037.pdf>

ASTEE (2015) Guide technique : Récupération de l'EDP – Informations et recommandations relatives à la réalisation de dispositifs utilisant les eaux issues de toitures et stockées in situ. 1^{ère} édition : décembre 2015 – 65 pages. http://www.astee.org/site/wp-content/uploads/2016/04/GuideASTEEREUP_18-04.pdf.

Callewaert, C., S. Van Nevel, F. M. Kerckhof, M. S. Granitsiotis, et N. Boon (2015). Bacterial exchange in household washing machines. *Frontiers in Microbiology* (6) 1381. doi: 10.3389/fmicb.2015.01381

CSHPF (2006) Position relative aux enjeux sanitaires liés à l'utilisation d'eau de pluie pour des usages domestiques. *Section des Eaux* Séance de 5 septembre 2006 - 5 pages

de Gouvello B. (2010), *La gestion durable de l'eau : gérer durablement l'eau dans le bâtiment et sa parcelle*, Paris : CSTB-Éditions, collection « Bâtir le développement durable » (illustrations Jean-Marc Lauby), 129 p.

de Gouvello B., Nguyen-Deroche N., Lucas F. and Gromaire M.-C. (2013), A methodological strategy to analyze and improve the French RWH regulation on quality topic, *Water Science and Technology*, 67 (5): 1043-1050

Holländer, R.; Block D.; Walter C. (1993) Hygienische Aspekte bei der Wasche mit Regenwasser. *Forum Städte Hygiene* 44 (sept.-oct.):252-256.

MEDDAT/MSS (2009) Systèmes d'utilisation de l'eau de pluie dans le bâtiment. Règles et bonnes pratiques à l'attention des installateurs (http://www.cohesion-territoires.gouv.fr/IMG/pdf/plaquette_systemes_eau_pluie_batiment_aout_2009.pdf)

SKW (2010) La lessive aujourd'hui - Informations sur le thème de la lessive et de la protection de l'environnement http://www.skw-cds.ch/fileadmin/skwcdsch/03_Wasch_und_Reinigungsmittel/Info_Corner/Publikation/en/la_lessive_final_2010.pdf.

6. ANNEXES

Annexe 1 : Résultats de l'étude *in-vitro* du transfert des microorganismes de l'eau vers le linge à partir d'eaux naturellement contaminées

Annexe 2: Résultats de l'étude *in-vitro* du transfert des microorganismes de l'eau vers le linge à partir d'eaux artificiellement contaminées par *P. aeruginosa*

Annexe 3: Résultats de l'étude *in-vitro* du transfert des microorganismes de l'eau vers le linge à partir d'eaux artificiellement contaminées par *E. coli*

Annexe 4: Résultats de l'étude *in-vitro* du transfert des microorganismes de l'eau vers le linge à partir d'eaux artificiellement contaminées par Bacillus

Annexe 1 : Résultats de l'étude *in-vitro* du transfert des microorganismes de l'eau vers le linge à partir d'eaux naturellement contaminées

Eau	Contamination initiale de l'eau	Conditions du transfert			Contamination des éprouvettes		Flore aérobie revivable (ufc/épreuve)			Taux de transfert ⁽¹⁾		
	Flore aérobie revivable (ufc/mL)	Temps de contact (min)	température (°C)	Lessive	Flore aérobie revivable (ufc/épreuve)	taux de transfert	Moy	ET	Nb réplcats positifs	Moy	ET	Nb réplcats positifs
EDCH	2,00E+02	60 min	30	-	3,64E+02	9,1%	3,76E+02	2,10E+01	3	9,4%	0,52%	3
EDCH	2,00E+02	60 min	30	-	3,64E+02	9,1%						
EDCH	2,00E+02	60 min	30	-	4,00E+02	10,0%						
EDCH	2,00E+02	60 min	30	présence	0,00E+00	0,0%	1,21E+02	2,10E+02	1	9,1%		1
EDCH	2,00E+02	60 min	30	présence	0,00E+00	0,0%						
EDCH	2,00E+02	60 min	30	présence	3,64E+02	9,1%						
Eau de pluie	1,20E+03	60 min	30	-	7,45E+03	31,1%	7,27E+03	5,68E+02	3	30,3%	2,37%	3
Eau de pluie	1,20E+03	60 min	30	-	7,73E+03	32,2%						
Eau de pluie	1,20E+03	60 min	30	-	6,64E+03	27,7%						
Eau de pluie	1,20E+03	60 min	30	présence	2,36E+03	9,8%	2,36E+03	1,82E+02	3	9,8%	0,76%	3
Eau de pluie	1,20E+03	60 min	30	présence	2,18E+03	9,1%						
Eau de pluie	1,20E+03	60 min	30	présence	2,55E+03	10,6%						
Eaux grises	7,60E+03	60 min	30	-	3,64E+02	0,2%	1,62E+03	2,06E+03	3	1,1%	1,36%	3
Eaux grises	7,60E+03	60 min	30	-	4,00E+03	2,6%						
Eaux grises	7,60E+03	60 min	30	-	5,00E+02	0,3%						
Eaux grises	7,60E+03	60 min	30	présence	3,64E+02	0,2%	6,52E+02	3,87E+02	3	0,4%	0,25%	3
Eaux grises	7,60E+03	60 min	30	présence	1,09E+03	0,7%						
Eaux grises	7,60E+03	60 min	30	présence	5,00E+02	0,3%						
EDCH	2,00E+02	60 min	40	-	0,00E+00	0,0%	6,06E+01	1,05E+02	1	4,5%		1
EDCH	2,00E+02	60 min	40	-	1,82E+02	4,5%						
EDCH	2,00E+02	60 min	40	-	0,00E+00	0,0%						
EDCH	2,00E+02	60 min	40	présence	0,00E+00	0,0%	6,67E+01	1,15E+02	1	5,0%		1
EDCH	2,00E+02	60 min	40	présence	0,00E+00	0,0%						
EDCH	2,00E+02	60 min	40	présence	2,00E+02	5,0%						
Eau de pluie	1,20E+03	60 min	40	-	7,73E+03	32,2%	8,36E+03	2,12E+03	3	34,8%	8,83%	3
Eau de pluie	1,20E+03	60 min	40	-	1,07E+04	44,7%						
Eau de pluie	1,20E+03	60 min	40	-	6,64E+03	27,7%						
Eau de pluie	1,20E+03	60 min	40	présence	2,00E+03	8,3%	1,58E+03	4,10E+02	3	6,6%	1,71%	3
Eau de pluie	1,20E+03	60 min	40	présence	1,55E+03	6,4%						
Eau de pluie	1,20E+03	60 min	40	présence	1,18E+03	4,9%						
Eaux grises	7,60E+03	60 min	40	-	7,27E+02	0,5%	7,88E+02	2,78E+02	3	0,5%	0,18%	3
Eaux grises	7,60E+03	60 min	40	-	1,09E+03	0,7%						
Eaux grises	7,60E+03	60 min	40	-	5,45E+02	0,4%						
Eaux grises	7,60E+03	60 min	40	présence	1,00E+02	0,1%	3,97E+02	5,22E+02	3	0,3%	0,34%	3
Eaux grises	7,60E+03	60 min	40	présence	9,09E+01	0,1%						
Eaux grises	7,60E+03	60 min	40	présence	1,00E+03	0,7%						

(1) Taux de transfert : nombre de germes présent sur l'éprouvette/nombre de germes présent initialement dans les 20mL x 100

Annexe 2 : Résultats de l'étude *in-vitro* du transfert des microorganismes de l'eau vers le linge à partir d'eaux artificiellement contaminées par *P. aeruginosa*

Eau	Contamination artificielle de l'eau	Conditions du transfert			Contamination des éprouvettes		Flore aérobie revivifiable (ufc/épreuve)			Taux de transfert ⁽¹⁾		
		<i>P. aeruginosa</i> (ufc/20mL)	Temps de contact (min)	température (°C)	Lessive	<i>P. aeruginosa</i> (ufc/épreuve)	taux de transfert	Moy	ET	Nb réplicats positifs	Moy	ET
EDCH	1,60E+07	60 min	30	-	0,00E+00	0,0%	0,00E+00	0,00E+00	0	0,0%	0,00%	0
EDCH	1,60E+07	60 min	30	-	0,00E+00	0,0%						
EDCH	1,60E+07	60 min	30	-	0,00E+00	0,0%						
EDCH	1,60E+07	60 min	30	présence	5,50E+06	34,4%	6,83E+06	2,06E+06	3	42,7%	12,84%	3
EDCH	1,60E+07	60 min	30	présence	5,80E+06	36,3%						
EDCH	1,60E+07	60 min	30	présence	9,20E+06	57,5%						
Eau de pluie	1,60E+07	60 min	30	-	1,70E+07	106,3%	2,57E+07	7,51E+06	3	160,4%	46,91%	3
Eau de pluie	1,60E+07	60 min	30	-	3,00E+07	187,5%						
Eau de pluie	1,60E+07	60 min	30	-	3,00E+07	187,5%						
Eau de pluie	1,60E+07	60 min	30	présence	8,30E+06	51,9%	7,77E+06	9,24E+05	3	48,5%	5,77%	3
Eau de pluie	1,60E+07	60 min	30	présence	8,30E+06	51,9%						
Eau de pluie	1,60E+07	60 min	30	présence	6,70E+06	41,9%						
Eaux grises	1,60E+07	60 min	30	-	8,60E+05	5,4%	1,16E+06	4,66E+05	3	7,3%	2,91%	3
Eaux grises	1,60E+07	60 min	30	-	1,70E+06	10,6%						
Eaux grises	1,60E+07	60 min	30	-	9,30E+05	5,8%						
Eaux grises	1,60E+07	60 min	30	présence	7,00E+06	43,8%	5,77E+06	1,16E+06	3	36,0%	7,24%	3
Eaux grises	1,60E+07	60 min	30	présence	4,70E+06	29,4%						
Eaux grises	1,60E+07	60 min	30	présence	5,60E+06	35,0%						

(1) Taux de transfert : nombre de germes présent sur l'éprouvette/nombre de germes présent initialement dans les 20mL x 100

Annexe 3 : Résultats de l'étude *in-vitro* du transfert des microorganismes de l'eau vers le linge à partir d'eaux artificiellement contaminées par *E. coli*

Eau	Contamination artificielle de l'eau	Conditions du transfert			Contamination des éprouvettes		Flore aérobie revivifiable (ufc/épreuve)			Taux de transfert ⁽¹⁾		
		<i>E. coli</i> (ufc/20mL)	Temps de contact (min)	température (°C)	Lessive	<i>E. coli</i> (ufc/épreuve)	taux de transfert	Moy	ET	Nb réplcats positifs	Moy	ET
EDCH	1,10E+07	60 min	30	-	0,00E+00	0,0%	0,00E+00	0,00E+00	0	0,0%	0,00%	0
EDCH	1,10E+07	60 min	30	-	0,00E+00	0,0%						
EDCH	1,10E+07	60 min	30	-	0,00E+00	0,0%						
EDCH	1,10E+07	60 min	30	présence	2,20E+06	20,0%	1,78E+06	3,62E+05	3	16,2%	3,29%	3
EDCH	1,10E+07	60 min	30	présence	1,60E+06	14,5%						
EDCH	1,10E+07	60 min	30	présence	1,55E+06	14,1%						
Eau de pluie	1,10E+07	60 min	30	-	2,30E+06	20,9%	1,95E+06	3,55E+05	3	17,7%	3,23%	3
Eau de pluie	1,10E+07	60 min	30	-	1,59E+06	14,5%						
Eau de pluie	1,10E+07	60 min	30	-	1,96E+06	17,8%						
Eau de pluie	1,10E+07	60 min	30	présence	1,31E+06	11,9%	1,43E+06	1,57E+05	3	13,0%	1,43%	3
Eau de pluie	1,10E+07	60 min	30	présence	1,61E+06	14,6%						
Eau de pluie	1,10E+07	60 min	30	présence	1,38E+06	12,5%						
Eaux grises	1,10E+07	60 min	30	-	0,00E+00	0,0%	0,00E+00	0,00E+00	3	0,0%	0,00%	3
Eaux grises	1,10E+07	60 min	30	-	0,00E+00	0,0%						
Eaux grises	1,10E+07	60 min	30	-	0,00E+00	0,0%						
Eaux grises	1,10E+07	60 min	30	présence	1,65E+05	1,5%	3,48E+05	1,70E+05	3	3,2%	1,54%	3
Eaux grises	1,10E+07	60 min	30	présence	5,00E+05	4,5%						
Eaux grises	1,10E+07	60 min	30	présence	3,80E+05	3,5%						

(1) Taux de transfert : nombre de germes présent sur l'éprouvette/nombre de germes présent initialement dans les 20mL x 100

Annexe 4 : Résultats de l'étude *in-vitro* du transfert des microorganismes de l'eau vers le linge à partir d'eaux artificiellement contaminées par *Bacillus*

Eau	Contamination artificielle de l'eau	Conditions du transfert			Contamination des éprouvettes		Flore aérobie revivifiable (ufc/épreuve)			Taux de transfert ⁽¹⁾		
		Bacillus (ufc/mL)	Temps de contact (min)	température (°C)	Lessive	Flore aérobie revivifiable (ufc/épreuve)	taux de transfert	Moy	ET	Nb réplicats positifs	Moy	ET
EDCH	1,55E+07	60 min	30	-	2,14E+07	138,1%	1,71E+07	4,20E+06	0	110,5%	27,11%	0
EDCH	1,55E+07	60 min	30	-	1,70E+07	109,7%						
EDCH	1,55E+07	60 min	30	-	1,30E+07	83,9%						
EDCH	1,55E+07	60 min	30	présence	1,71E+06	11,0%	1,93E+06	3,22E+05	3	12,5%	2,08%	3
EDCH	1,55E+07	60 min	30	présence	1,78E+06	11,5%						
EDCH	1,55E+07	60 min	30	présence	2,30E+06	14,8%						
Eau de pluie	1,55E+07	60 min	30	-	3,06E+06	19,7%	2,68E+06	3,54E+05	3	17,3%	2,28%	3
Eau de pluie	1,55E+07	60 min	30	-	2,62E+06	16,9%						
Eau de pluie	1,55E+07	60 min	30	-	2,36E+06	15,2%						
Eau de pluie	1,55E+07	60 min	30	présence	1,89E+06	12,2%	2,44E+06	5,60E+05	3	15,7%	3,61%	3
Eau de pluie	1,55E+07	60 min	30	présence	2,42E+06	15,6%						
Eau de pluie	1,55E+07	60 min	30	présence	3,01E+06	19,4%						
Eaux grises	1,55E+07	60 min	30	-	1,53E+06	9,9%	1,79E+06	2,31E+05	3	11,6%	1,49%	3
Eaux grises	1,55E+07	60 min	30	-	1,89E+06	12,2%						
Eaux grises	1,55E+07	60 min	30	-	1,96E+06	12,6%						
Eaux grises	1,55E+07	60 min	30	présence	1,41E+06	9,1%	1,66E+06	2,15E+05	3	10,7%	1,38%	3
Eaux grises	1,55E+07	60 min	30	présence	1,76E+06	11,4%						
Eaux grises	1,55E+07	60 min	30	présence	1,80E+06	11,6%						