



ACTION 8.3 : CARACTERISATION DE LA QUALITE DES EAUX ALTERNATIVES PRODUITES ET STOCKABLES AU SEIN DU BATIMENT (EAU DE PLUIE, EAUX GRISES)

CONTEXTE

Longtemps cantonnée aux zones rurales non desservies de solutions réseaux, l'utilisation de ressources alternatives à l'eau potable suscite depuis la fin du 20^{ème} siècle un intérêt croissant y compris dans les zones urbaines déjà desservies par des réseaux d'adduction d'eau potable. Cette tendance, observable sur tous les continents, répond à plusieurs logiques parfois combinées entre elles : déficit de ressources, anticipation des impacts du changement climatique, promotion de la décentralisation et politiques de développement durable. Parmi ces ressources, deux sont directement liées au bâtiment : la récupération de l'eau de pluie collectée en aval des toitures et le recyclage des eaux grises qui correspondent aux eaux de douches et/ou de laverie. Cependant, si les ressources alternatives à l'eau du réseau semblent évidentes pour plusieurs usages (l'alimentation de la chasse d'eau des toilettes, l'arrosage des espaces verts et le lavage des surfaces extérieures sans génération d'aérosols) cela l'est moins pour d'autres (l'hygiène corporelle, le lavage des sols à l'intérieur du bâtiment et le lavage du linge), et notamment lorsque des questions sanitaires sont en jeu. En 2015, un rapport d'expertise collective publié par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail a défini les limites de qualité de l'eau à respecter pour la réutilisation des eaux grises (ANSES 2015). En revanche, aucune référence pour l'eau de pluie n'a été publiée afin de définir les limites de qualité pour sa réutilisation en fonction des paramètres.

Dans ce contexte, cette action de recherche propose de s'intéresser spécifiquement à l'étape de stockage de ces eaux alternatives. Cette étape clé permet en effet d'assurer l'adéquation entre la collecte/production d'eau et son utilisation. Ce stockage peut constituer une phase préliminaire de traitement, notamment par processus de sédimentation ou encore, pour les eaux grises par leur refroidissement. Il peut également constituer un point critique majeur en favorisant le développement microbien et en induisant l'apparition de nuisances olfactives sous l'effet de différents facteurs (stagnation, température, anaérobiose).

OBJECTIFS

L'objectif de cette action de recherche est de produire, en conditions contrôlées ou maîtrisées, des données de caractérisation de la qualité microbiologique et physicochimique des eaux alternatives brutes pouvant être produites et stockées au niveau d'un bâtiment (eau de pluie, eaux grises) au regard d'une eau potable également stockée *in situ* et d'en étudier l'évolution au cours de leur stockage. Ces données permettront d'alimenter une réflexion autour des risques sanitaires associés à l'étape de stockage, des traitements qu'il convient de mettre en place en fonction du niveau de biodégradabilité des eaux alternatives brutes et des concentrations en contaminants chimiques et microbiologiques et enfin d'apporter des éléments permettant de formuler des préconisations en termes de conception, d'exploitation et d'entretien des systèmes d'utilisation d'eau alternative (eau de pluie ou eaux grises). Cette action fait l'objet d'une thèse cofinancée par le programme OPUR et le CSTB.

MATERIELS ET METHODES

Une caractéristique souvent négligée du stockage est son effet sur la qualité de l'eau stockée. Comme l'eau est stockée en conditions statiques, plusieurs processus peuvent contribuer à affecter la qualité de l'eau stockée. La Figure 1 montre les différents processus en œuvre dans un stockage : processus physiques (floculation, sédimentation, remise en suspension, adsorption par le biofilm, déshydratation) et processus microbiologiques (compétition, prédation, parasitisme, mutualisme).

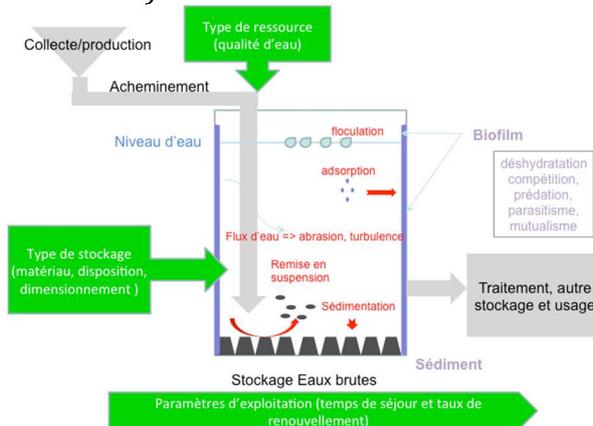


Figure 1. Processus en œuvre dans le stockage

Afin d'étudier l'évolution des eaux alternatives brutes et de l'eau potable stockée, en conditions réalistes, en parallèle et dans les mêmes conditions expérimentales, nous avons exploité l'opportunité offerte par la plateforme AQUASIM. Ce grand équipement a été conçu pour étudier le cycle de l'eau à l'échelle du bâtiment et de sa parcelle et permet de mettre en place des expérimentations à échelle réelle en conditions contrôlées. Pour cela, il dispose d'une vingtaine de cuve en polypropylène (PP) et de canalisations en PVC-C permettant d'acheminer différents types d'eau du point de collecte/production jusqu'aux cuves de stockage ou aux bancs d'essais. À partir de décembre 2011, une expérimentation préliminaire a été réalisée afin de caractériser l'eau de pluie et les eaux grises produites par le bâtiment AQUASIM. Puis, le choix a été pris de définir des scénarios expérimentaux réalisables en « vraie grandeur » et qui limitent la variabilité de la plupart des facteurs pour se focaliser sur un nombre limité d'entre eux. En effet, les facteurs susceptibles d'affecter la qualité de l'eau sont nombreux (matériau de cuves, température ambiante, épaisseur du biofilm, niveau de sédimentation, dynamique hydraulique, variabilité de la qualité entrante...). Les scénarios définis ont visés à comprendre l'influence de deux paramètres : la qualité de l'eau entrante et la durée de stockage.

En 2014 et 2015, trois campagnes expérimentales (intitulées EXP1, EXP2 et EXP3) ont été menées. Pour la campagne EXP1 (effectuées en 2014), trois qualités d'eau ont été testées : eau destinée à la consommation humaine (EDCH), eau de pluie (EP) issue de la toiture-terrasse en béton du bâtiment AQUASIM et eau grise brute de la laverie (EGL). En raison du nombre et du volume important d'échantillons réalisés dans la campagne EXP2 en 2014, seules les qualités EP et EGL y ont été analysées. Pour la campagne EXP3 en 2015 une autre ressource d'eau grise a été ajoutée : l'eau grise brute issue de salles de douche (EGD) du bâtiment AQUASIM. Les différentes catégories de paramètres ont été listées dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Pour les analyses physico-chimiques des prélèvements de 1L ont été réalisés dans des flacons en verre propres et stériles. Les analyses ont été réalisées au laboratoire d'AQUASIM dans les 24 h après un stockage à 4°C. Pour les analyses microbiologiques les prélèvements ont été réalisés dans du flaconnage stérile dédié à chaque type d'analyse. Les analyses microbiologiques flore totale 22°C et 36°C, coliformes totaux, *E. coli* et Entérocoques ont été réalisées dans le laboratoire de microbiologie d'AQUASIM immédiatement après le prélèvement. Les autres analyses microbiologiques ont été sous-traitées à un laboratoire d'analyses environnementales (Inovalys, Nantes). Pour les micropolluants, le LCPP a mesuré les concentrations en alkylphénols (AP) et en phtalates (PAE). Les échantillons analysés au dehors de CSTB ont alors été acheminés immédiatement après le prélèvement dans des glaciers réfrigérés.

Tableau 1. Paramètres suivis pour EXP1, EXP2 et EXP3

| Classe de paramètres | Paramètres suivis | Expérimentations appliquées |
|---|---|--|
| Paramètres physico-chimiques généraux | pH, Conductivité, Oxygène dissous (OD), turbidité, Rédox, COD, DCO, MES, DBO ₅ , Phosphore total (PT), NTK | Non systématiquement suivis : PT, NTK (EXP1) MES, DBO ₅ (EXP1, EXP3) Rédox (EXP2, EXP3) |
| Indicateurs microbiologiques global | Micro-organismes aérobies revivifiables à 36°C et 22°C, | EXP1, EXP2, EXP3 |
| Indicateurs microbiologiques fécaux traditionnels | Coliformes totaux, <i>Escherichia coli</i> , entérocoques intestinaux, | EXP1, EXP2, EXP3 |
| Indicateurs fécaux alternatifs, | <i>Clostridium perfringens</i> , spores de micro-organismes anaérobies sulfite-réducteurs, | EXP1 Uniquement |
| Pathogènes | <i>Legionella</i> spp, <i>Legionella pneumophila</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Salmonella</i> spp. <i>Staphylocoques</i> pathogènes, <i>Campylobacter</i> spp. <i>Giardia</i> spp, <i>Cryptosporidium</i> spp. | EXP1 Uniquement |
| Micropolluants | Alkylphénols et des phtalates | EXP3 Uniquement |

Toutes ces eaux ont été stockées dans une cuve de 1 m³ en PP en conditions « statiques » (ni apport, ni soutirage). Les conditions statiques ne sont pas représentatives de l'ensemble des conditions pouvant être rencontrées mais modélisent une situation de non fonctionnement d'une installation (arrêt volontaire ou dysfonctionnement). Elles permettent de mettre en exergue certains processus (tels que la sédimentation, la survie des microorganismes ou la biodégradation de la matière organique) et sont supposées faciliter l'identification d'un état d'équilibre dans la cuve. La Figure 2 présente la géométrie des cuves de stockage et le niveau de remplissage au cours du suivi. Dans les campagnes EXP1 et EXP3, 285~ 385 L d'eaux ont été récupérées afin de garder la fraîcheur de la qualité initiale entrant dans les cuves de stockage. En revanche, pour EXP3 785~900 L d'eaux ont été récupérées pour apprécier l'évolution de l'effet de stratification dans la cuve de stockage au cours du temps.

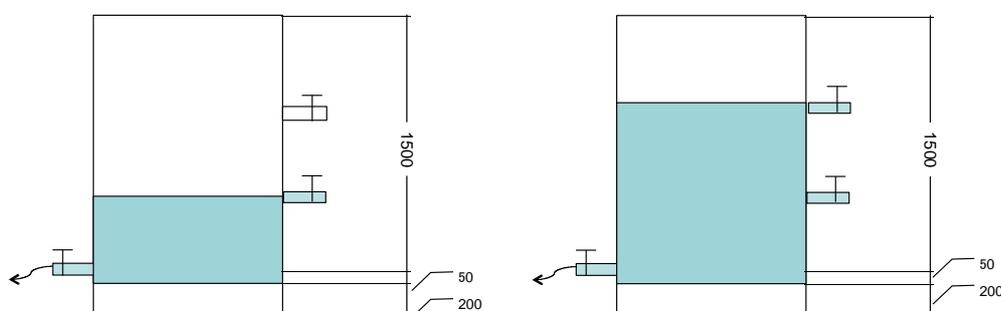


Figure 2. Géométrie des cuves de stockage et niveau de remplissage pendant EXP1, EXP3 (gauche) et EXP2 (droite)

RESULTATS

EXP1 (du 17.03 au 28.03.2014) : EDCH, Eau de pluie (EP) et Eau grise de lave-linge (EGL) : analyse des pathogènes.

La première expérimentation a été menée au sein d'AQUASIM du 17 mars 2014 au 28 avril 2014. Au cours de cette expérimentation, trois types d'eaux (EDCH, EP et EGL) ont été stockés dans trois cuves distinctes en PP de 1 m³. Les prélèvements ont été réalisés en fond de cuves pour effectuer le suivi des paramètres physico-chimiques et microbiologiques. En plus, les indicateurs fécaux alternatifs et plusieurs pathogènes ont été aussi analysés dans cette expérimentation.

EDCH

Pour l'EDCH, les concentrations initiales de la flore totale aérobie revivifiable à 22°C et 36°C dans l'EDCH s'élèvent à 2,6 Log ufc.mL⁻¹ et 2,1 Log ufc.mL⁻¹ respectivement, augmentent durant les deux premières semaines de stockage et se stabilisent autour de 5 Log ufc.mL⁻¹ à partir de la troisième semaine d'expérimentation. Les mêmes tendances sont observées pour les coliformes totaux dont la concentration, initialement mesurée à 1,3 Log ufc mL⁻¹, augmente de 2 Log au cours des 3 premiers jours puis oscille entre 3,6 Log ufc.mL⁻¹ et 4,4 Log ufc.mL⁻¹. Il est nécessaire de préciser que les cuves ne sont pas stériles au départ, que les couvercles ne sont pas étanches et qu'elles sont placées dans une ambiance industrielle poussiéreuse. Au regard des paramètres physicochimiques comme MES, Turbidité, les indicateurs des matières organiques, la pollution est en faible concentration dans l'EDCH, ce qui signifie la capacité des microorganismes à proliférer en absence d'une forte teneur en nutriments organiques.

Eau de pluie issue de la toiture-terrasse en béton du bâtiment AQUASIM

Une diminution de la concentration en coliformes totaux (Figure 3) est observée au cours de l'expérimentation. Malgré des variations observées d'un prélèvement à l'autre la concentration diminue de 3,9 Log ufc.mL⁻¹ à 0,7 Log ufc.mL⁻¹. Cette tendance de diminution a été déjà montrée dans la littérature (Spinks *et al.* 2006; Martin *et al.* 2010) : les auteurs de ces études ont conclu que l'inactivation des indicateurs microbiologiques est susceptible d'être causée par l'effet de décantation, l'absorption par les biofilms et la faible concentration en nutriments. Les concentrations initiales en *E. coli* et les entérocoques intestinaux dans l'EP sont respectivement de 30 et 46 NPP/100mL⁻¹ : dès le 3^{ème} jour de stockage les entérocoques ne sont plus détectés tandis que les *E. coli* sont retrouvés ponctuellement à la limite de détection de la méthode utilisée. Ces résultats sont cohérents avec les observations précédentes faites pour le même type d'eau dans l'expérimentation préliminaire en 2011 au sein de l'AQUASIM (Zhang *et al.* 2013).

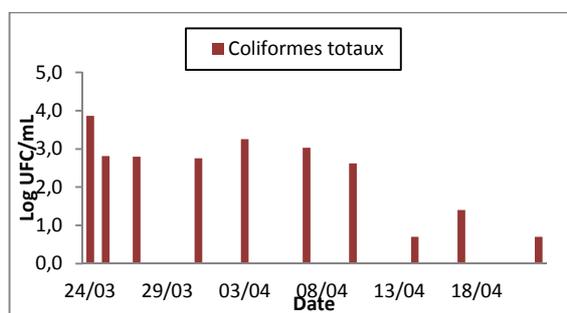


Figure 3. Évolution des coliformes totaux de l'eau de pluie au cours du stockage (EXP1)

En termes de qualité physicochimique de l'eau de pluie, les valeurs de pH de l'eau de pluie ont fluctué entre 6,58 et 7,45. L'eau de pluie collectée ici est moins acide que l'eau de pluie issue des toitures d'autres matériaux grâce à l'effet de neutralisation de béton pendant le ruissellement de pluie. La conductivité dans l'eau de pluie reste relativement stable entre 152,2 à 163,3 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Ce paramètre ne varie pas lorsqu'une variation du nombre de microorganismes a été observée dans l'eau de pluie. Au cours du suivi, les MES et la turbidité de l'eau de pluie oscillent de 1,0 mg/L à 5,8 mg/L et 2 FAU à 11 FAU (FAU=NTU, quand FAU < 20) respectivement. Pourtant, après 3 jours de stockage, une tendance de diminution et stabilisation a pu être constatée dans l'eau, exceptée une valeur extrême pour chaque paramètre. En termes de MES, les valeurs sont inférieures à 10 NTU au cours du stockage. Pour la turbidité, hormis la valeur initiale, les valeurs au cours du stockage ne dépassent pas la valeur recommandée dans la recommandation de l'ANSES pour sa réutilisation pour des usages d'alimentation de la chasse d'eau des toilettes, d'arrosage des espaces verts ou de lavage des surfaces extérieures.

La valeur initiale de DBO₅ (20 mg/L) est élevée mais peu fiable en raison du volume insuffisant de l'échantillon analysé (97mL au lieu de 432mL). Après les trois premiers prélèvements, la DBO₅ reste stable et sa teneur relativement faible (de 6 à 13 mg/L), ce qui indique un faible niveau de contamination organique de l'eau de pluie. En plus, sauf une valeur extrême de 13

mg/L, toutes les valeurs de DBO₅ sont inférieures à l'exigence (10 mg/L)(ANSES 2015), ce qui signifie la possibilité de réutilisation l'eau de pour les usages évoqués précédemment sans ou avec simple traitement en termes de charge en matière organique. La DCO initiale de l'eau (48 mg/L) est plus élevée que les valeurs données par la littérature (de 2 à 20 mg/L), ce qui signifie la charge importante de matières organiques introduite dans le stockage. Ensuite, une décroissance de DCO a été constatée et la valeur est inférieure à la limite de détection à la fin de suivi. La même tendance de décroissance a été observée pour le COD : de 14,95 à 9,08 mg/L. Elle montre la capacité de dégradation des matières organiques par le stockage de l'eau de pluie.

Eau grise brute de la laverie (EGL) du bâtiment AQUASIM

La Figure 4 présente l'évolution des coliformes totaux de l'EGL au cours du stockage. La concentration des coliformes totaux, initialement mesurée à 7,6 Log ufc.mL⁻¹, diminue légèrement et varie entre 7,1 Log ufc.mL⁻¹ et 6,3 Log ufc.mL⁻¹. Dans les normes pour la réutilisation des eaux grises, le stockage à longue durée est déconseillé à cause du potentiel de prolifération de microorganismes. Pourtant, dans notre expérimentation, aucune prolifération de ces indicateurs n'a été constatée au cours du stockage d'eau de laverie pendant un mois. Les résultats sont environ 2 Log inférieurs à ceux qui ont été mesurés dans une étude préliminaire au sein d'AQUASIM où les eaux grises résultaient d'un mélange eau de laverie- eau de douche (dans une proportion 2 :1) dans l'AQUASIM, ce qui montre la faible concentration de ces indicateurs dans l'eau de laverie par rapport à l'eau de douche.

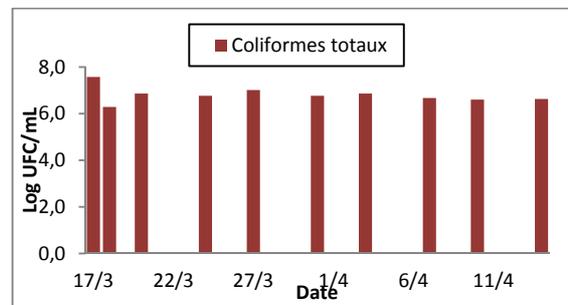


Figure 4. Évolution des coliformes totaux de l'eau grise de laverie au cours du stockage.

Le pH initial de l'eau de laverie est de 8,98, résultat cohérent avec la littérature (7,1~10,0) (Li 2009). La valeur a diminué significativement après 3 jours de stockage et reste stable entre 7,05 à 7,27. Ce constat montre que le stockage est capable de neutraliser l'eau grise de laverie. Au regard de la conductivité, une tendance non significative d'augmentation de la conductivité a été constatée pour l'eau grise de laverie et ses valeurs sont élevées par rapport aux données trouvées dans la littérature (100 à 1400 μ s/cm, Boyjoo *et al.* 2013) ce qui pose un gros risque de salinité pour un usage en irrigation :un traitement serait obligatoire avant usage. Au cours du suivi, une diminution des MES et de la turbidité a été observée pendant les premières 24H. Cependant, ces valeurs évoluent progressivement à la hausse après 24H, de 36,9 mg/L à 264,0 mg/L pour la MES et 284 à 380 FAU pour la turbidité. Tous les deux paramètres dépassent l'exigence pour la réutilisation d'eaux grises pour les usages déjà évoqués (alimentation de la chasse d'eau des toilettes, arrosage des espaces verts, lavage des surfaces extérieures) (ANSES 2015), ce qui signifie que pour la réutilisation de l'eau de laverie, un traitement est à envisager. La Figure 5 présente l'évolution des indicateurs de DCO, COD et DBO₅ de l'EGL au cours du stockage. La concentration initiale de DCO de l'eau grise de laverie est 2137 mg/L, cette valeur est plus élevée que l'eau usée domestique en raison de la lessive introduite. Une tendance de diminution a été constatée au cours du stockage jusqu'à 1208 mg/L. La même tendance a été observée pour le COD, passé de 481,0 à 172,6 mg/L. La DBO₅ de l'eau grise de laverie présente une tendance de décroissance progressive de 600 à 260mg/L. Cette observation montre la capacité du stockage à dégrader la matière organique dans l'eau de laverie et à diminuer la charge pour les traitements à mettre en œuvre en aval.

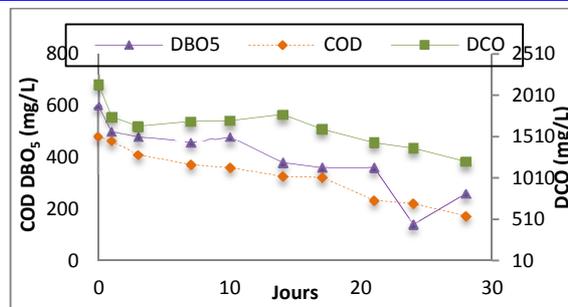


Figure 5. Évolution de la DCO, COD et DBO₅ de l'eau grise de laverie au cours du stockage

Autre indicateurs microbiologiques et pathogènes

Parallèlement aux indicateurs globaux de contamination microbienne et aux indicateurs de contamination fécale, d'autres microorganismes comprenant des pathogènes opportunistes ont été recherchés. Les spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices ont été mesurées à plusieurs reprises dans les eaux de pluie et dans les eaux grises à des concentrations inférieures ou égales à 300 spores.100 mL⁻¹, des bactéries du genre *Legionella* ont été mises en évidence à la fin de l'expérimentation dans l'eau de pluie. Pour les protozoaires pathogènes, des oocystes du genre *Cryptosporidium* ont été mis en évidence dans les eaux grises. Bien que *Clostridium perfringens* soit décrit comme étant un bon indicateur de la présence de protozoaires pathogènes comme *Cryptosporidium spp.* et *Giardia spp.* dans l'eau usée, l'eau superficielle ou l'eau de mer (Savichtcheva et Okabe 2006), sa présence n'a pas été mise en évidence dans les échantillons d'eaux grises dans lesquels des oocystes ont été détectés.

Les résultats constituent de bonnes références pour évaluer la contamination microbiologiques des eaux alternatives : tout d'abord, s'il faudra ajouter un indicateur fécal pour EP ou EGL les spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices sont plus adaptées que *Clostridium perfringens* ; au regard des pathogènes, il faudra continuer à suivre *Legionella spp.* pour EP et *Cryptosporidium* pour EGL. Finalement, les indicateurs fécaux traditionnels pour EP et EGL ne sont pas pertinents pour décrire l'évolution dans le stockage : les indicateurs fécaux alternatifs ou pathogènes sont plus adaptés.

EXP2 (du 22.07 au 21.08.2014) : EP et EGL : Stratification dans la cuve de stockage

La seconde expérimentation a été réalisée au sein d'AQUASIM du 22 juillet au 21 août 2014. Au cours de cette seconde expérimentation seulement deux types d'eau (EP et EGL) ont été stockés dans deux cuves distinctes en PP de 1 m³. Les volumes d'eau stockés étaient deux fois plus importants que lors de la première expérimentation. La première expérimentation montre la variation de la qualité microbiologique et physicochimique au cours du stockage. Afin de mieux comprendre le mécanisme de cette évolution, les prélèvements ont été réalisés à différentes hauteurs dans la colonne d'eau au cours du remplissage puis au cours du stockage en conditions statiques. Pour les analyses microbiologiques, seuls les indicateurs de contamination microbienne et les indicateurs de contamination fécale ont été mesurés.

Eau de pluie issue de la toiture-terrasse en béton du bâtiment AQUASIM

Une diminution de la concentration en coliformes totaux (cf. Figure 6) est observée au cours de l'expérimentation. La concentration initiale des coliformes totaux est 3,3 Log ufc.mL⁻¹ et au bout de deux semaines, sa concentration est inférieure à la limite de détection Log ufc.mL⁻¹. L'effet de l'inactivation dans cette expérimentation 2 est plus évident que celle dans l'expérimentation 1. Une explication possible est avec un volume plus important stocké dans l'expérimentation 2 pourrait favoriser l'effet de décantation qui entraîner la diminution des indicateurs microbiologiques dans l'eau.

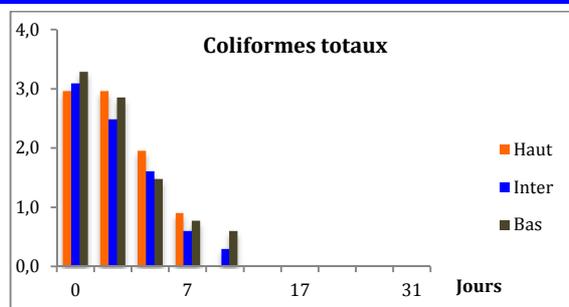


Figure 6. Évolution des coliformes totaux de l'eau de pluie au cours du stockage

Les concentrations initiales en *E. coli* et les entérocoques intestinaux dans l'eau de pluie sont respectivement de 232 et 161 NPP.100mL⁻¹. Ses concentrations sont supérieures à celles observées dans EXP1 (30 et 46 NPP.100mL⁻¹ respectivement). Cependant, l'effet de l'inactivation dans l'eau de pluie est observé : , après deux observations positives de l'ordre de 30 NPP100mL⁻¹, le paramètre *E.coli* est inférieur à la limite de détection dès le 4^e prélèvement. Les entérocoques intestinaux ne sont plus détectés après le deuxième prélèvement. Les deux expérimentations montrent l'existence de l'inactivation des indicateurs microbiologiques fécaux tels que les coliformes totaux, *E.coli* et les entérocoques intestinaux dans l'eau de pluie au cours du stockage. Ce constat signifie le potentiel du stockage pour l'amélioration de la qualité microbiologique de l'eau de pluie au regard des indicateurs fécaux.

En termes de qualité physicochimique, les valeurs de pH de l'eau de pluie ont fluctué entre 6,24 et 7,50, ces valeurs sont cohérentes avec les résultats de première expérimentation (de 6,58 à 7,45). La conductivité dans l'eau pluie reste relativement stable entre 59.2 à 77.80 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Ces valeurs correspondent à celles de la littérature (Lee 2010, 2012) mais correspondent à environ la moitié de teneur de conductivité observée dans la première expérimentation, ce qui signifie la variation de conductivité entre les différents évènements pluviaux. Aucune différence significative n'a été constatée dans le pH et la conductivité entre les trois niveaux de prélèvements.

La DBO₅ avait aussi été planifiée pour l'expérimentation. Mais l'appareil de mesure de la DBO n'a pas maintenu la température requise pour les analyses (25°C), ce qui a affecté les valeurs mesurées et les résultats n'ont pas pu être utilisés. Les teneurs initiales de DCO (26 mg/L) et COD (7,26 mg/L) de l'eau de pluie stockée dans cette expérimentation sont environ la moitié de celles observées dans EXP1. Mais comme dans EXP1, la même tendance de diminution a été constatée pour La COD et la DCO. Ca fait une semaine que la DCO est inférieur à la limite de détection (10mg/L) et la COD diminue de 7,23 à 3,87 mg/L. qui est inférieur à la limite de critère pour la réutilisation d'eaux grises pour les usages déjà évoqués (ANSES 2015). Ces deux paramètres fluctuent après une semaine mais n'atteignent jamais le niveau de leur concentration initiale. Dans les deux expérimentations, une amélioration de la qualité de l'eau de pluie en termes de charges en matières organiques a été constatée.

Eau grise brute de la laverie (EGL) du bâtiment AQUASIM

La production de l'eau de laverie a duré une semaine et elle n'a pas cessé d'introduire une contamination microbiologique vers le stockage. Après cette acquisition d'eau, la concentration en coliformes totaux (cf. Figure 7) a augmenté jusqu'à 6,0 ufc.mL⁻¹ suivi par une diminution jusqu'à 3,0 ufc.mL⁻¹ après 3 semaines. Les résultats de la qualité microbiologique dans expérimentations et deux montrent l'absence de prolifération des microorganismes indicateurs globaux et fécaux dans l'eau grise de laverie au cours du stockage.

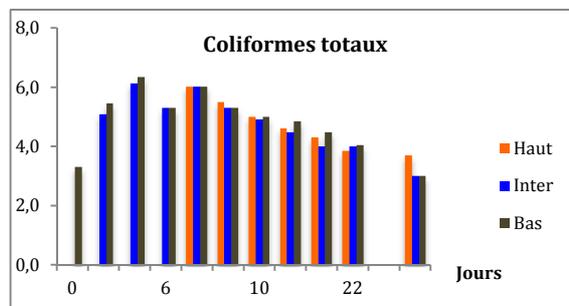


Figure 7. Évolution des coliformes totaux de l'eau grise de laverie au cours du stockage (EXP2)

Le pH initial de l'eau laverie de 10,37 correspond aux valeurs extrêmes constatées dans la littérature (Li 2009). La valeur a diminué significativement après une semaine de stockage et reste stable entre 6,99 à 7,55. Ce constat, également observé dans EXP1, montre que le stockage est capable de neutraliser du pH de l'eau grise de laverie.

Au cours de suivi, la turbidité de l'eau grise de laverie oscille dans une gamme de 212 FAU à 192 FAU pendant la récupération d'eau. Et après elle augmente de 176 FAU jusqu'à 528 FAU. La même tendance d'augmentation a été constatée aussi dans EXP1. Le stockage n'améliore pas la qualité de l'eau de laverie stockée en termes de la turbidité. Il n'y a pas de différence significative entre les trois prélèvements. La mesure de la DBO₅ n'a pas été réussie à cause de problèmes techniques déjà mentionnés (non maintien de température). Pour le COD, la concentration diminue de 490,0 à 207,0 mg /L, ce qui est cohérent avec le résultat d'EXP1 (481,0 à 172,0 mg /L). Pour la DCO, après la récupération de l'eau de laverie, la concentration diminue de 2577 à 877 mg /L. La même tendance de décroissance a été mise en évidence dans EXP1. Dans les deux expérimentations pour l'eau grise de laverie, une amélioration de la qualité de l'eau de pluie en termes de charges en matières organiques a été constatée. Enfin, il n'y a pas de différence significative constatée pour la DCO et COD.

EXP3 (du 19.05 au 29.06.2015) : Deux eaux grises: eau grise de douche (EGD) et eau grise de laverie (EGL))

La troisième expérimentation a été réalisée au sein d'AQUASIM du 19 mai au 29 juin 2015. Au cours de cette expérimentation deux types d'eaux grises (EGD et EGL) ont été stockés dans deux cuves distinctes en PP de 1 m³. Il s'agit de mener un focus particulier de comparaison de deux qualités différentes d'eaux grises domestiques pour s'interroger sur les conséquences des différences des qualités d'origine sur l'évolution de la qualité en cours de stockage.

Qualité microbiologique des EGs

L'EGD contient initialement des *E. Coli* à 4,3 Log NPP/100ml et des entérocoques à 2,9 Log NPP/100 ml. Cependant, le stockage permet d'inactiver *E. Coli* et les entérocoques ne sont plus détectables au bout de 7 jours. En revanche, pour l'EDL, aucun *E. Coli* ou entérocoques intestinaux n'a été détecté et, par conséquent, sa qualité microbiologique est meilleure que l'EGD. Au bout d'une semaine seulement, l'EDG respecte la recommandation de l'ANSES en ce qui concerne les indicateurs fécaux.

Qualité physicochimique des EGs

La valeur initiale du pH pour l'EGD est 7,8 : elle n'évolue que très légèrement au cours du temps, atteignant un minimum à 7,5 et un maximum à 8,1, pour finalement se stabiliser à partir de 2 semaines et se maintenir à 7,8. Au contraire, dans les EGL, le pH était plus élevé (9,2). Cependant, ce pH a diminué au cours du temps pour descendre à 9 (valeur limite haute recommandée dans le rapport de l'ANSES) dès 24 heures puis s'est stabilisé après une semaine autour de 7, valeur qui s'est maintenue durant le reste de l'expérimentation. Pour une réutilisation, le pH ne semble pas être un facteur limitant.

Tel n'est pas le cas des MES. En effet, les valeurs initiales des MES étaient supérieures pour l'EGD (37 mg/l) et l'EGL (140 mg/l) par rapport à la limite de 10 mg/l recommandée par l'ANSES. Les valeurs en MES décroissent rapidement dans les eaux de douche pour atteindre des valeurs

passant en dessous des 10 mg/l dès la première semaine et en dessous de la Limite de quantification (2 mg/l) à partir de la 3^{ème} semaine. Ainsi, l'EGD pourrait être réutilisée avec ce système au bout de seulement une semaine. Concernant l'EGL, bien que sa concentration en MES ait fortement diminué en 4^{ème} semaine, passant de 140 mg/l à 21 mg/l, les concentrations finales obtenues sont toujours supérieures à la limite des 10 mg/l. Cependant en raison de la tendance à la baisse, il serait intéressant de mener cette expérience quelques jours ou semaines de plus pour voir si les MES dans les eaux de lave-linge peuvent descendre en dessous du seuil de 10 mg/l préconisé par l'ANSES.

Les DBO₅ de l'EGD (60 mgO₂/l) et de l'EGL (540 mgO₂/l) diminuent au cours du temps. Pour l'EGD, la DBO₅ a atteint la valeur réglementaire de 10 mgO₂/l au bout de 14 jours puis s'est maintenue à 8 mgO₂/l les deux semaines suivantes. Cette concentration respecte la recommandation de l'ANSES. La baisse est moins marquée en ce qui concerne l'EGL. En effet, la DBO₅ de l'EGL atteint une valeur minimale de 450 mgO₂/l au bout de 28 jours (cf. figure 8).

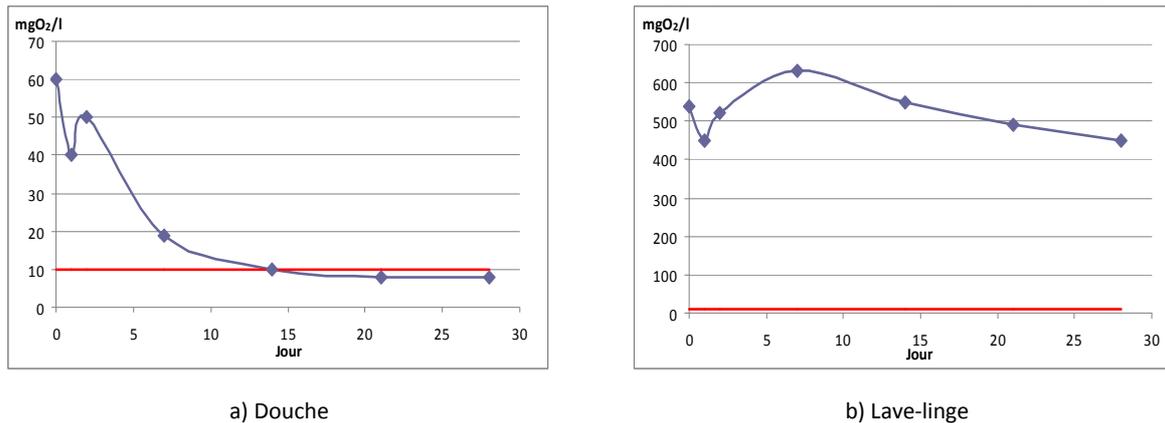


Figure 8 : Evolution de la DBO₅ dans les eaux a) de douche et b) de lave-linge au cours du temps

CONCLUSION

Ce travail a été effectué dans le bâtiment expérimental AQUASIM au sein de CSTB Nantes dans le cadre d'une collaboration avec le Laboratoire Eau et Environnement et Systèmes Urbains (LEESU) de l'École des Ponts ParisTech (UMR MA 102). Cette recherche avait pour objectif l'étude de la caractérisation et l'évolution de la qualité microbiologique et physicochimique des eaux alternatives (eau de pluie récupérée en aval de toiture et les eaux grises issues de douche et lave-linge) dans le stockage au sein du bâtiment sous les conditions maîtrisées au regard d'une eau d'origine potable placée dans des conditions similaires.

Ainsi, 3 expérimentations concrètes ont été menées afin de fournir des données scientifiques objectives. Elles ont permis de mener un focus particulier de comparaison de deux qualités différentes d'eaux alternatives (eau de pluie et eau grise de lave-linge) et EDCH au sein du bâtiment pour s'interroger sur les conséquences des différences des qualités d'origine sur l'évolution de la qualité en cours de stockage. Ce suivi a permis d'analyser les phénomènes d'évolution des indicateurs microbiologiques présents et de la qualité physico-chimique dans ces trois eaux.

- Concernant l'eau destinée à la consommation humaine (EDCH), sa qualité initiale microbiologique est de bon niveau. Cependant, les microorganismes ont tendance à se développer dans le stockage au cours du temps. Au regard des paramètres comme MES, Turbidité, les indicateurs des matières organiques, la pollution est en faible concentration, ce qui signifie la capacité des microorganismes à proliférer sans teneur importante de nutriments.
- Sur l'eau de pluie, les deux expérimentations montrent l'existence de l'inactivation des indicateurs microbiologiques fécaux tels que les coliformes totaux, *E.coli* et les entérocoques intestinaux dans l'eau de pluie au cours du stockage. Ce constat montre le potentiel du stockage pour l'amélioration de la qualité microbiologique de l'eau de

pluie. l'absence de stratification de la qualité de l'eau a été mise en évidence par l'absence de différence significative de qualité entre des prélèvements opérés à trois hauteurs distinctes (haut, intermédiaire et bas) du stockage.

- Les eaux grises de lave-linge contiennent une concentration importante des pollutions microbiologiques et physicochimiques Sa concentration en DCO et en indicateurs microbiologiques est comparable ou même supérieure à celle de l'eau usée brute domestique. Malgré la prolifération des indicateurs microbiologiques dans les premières 24 heures a été observées dans les deux expérimentations, la qualité microbiologique de l'eau stockage n'est pas inférieure à celle de l'eau produite. Aucune prolifération des indicateurs fécaux à long terme n'a été observée pendant les deux expérimentations. Il n'y a pas de différence significative de la qualité physicochimique et microbiologique entre les trois prélèvements, ce qui signifie l'absence de la stratification dans le stockage de l'eau grise de laverie.
- Les eaux grises de douches présentent des concentrations d'environ 20 000 NPP /100 ml en *E. coli* et 700 NPP/100 ml en entérocoques intestinaux. En revanche, ces microorganismes ne sont pas détectés dans les eaux de lave-linge. Le stockage a permis de mettre l'eau de douche au même niveau pour la microbiologie puisqu'au bout de seulement une semaine, *E. coli* et les entérocoques intestinaux n'étaient plus détectés. Par conséquent, le stockage peut constituer une étape efficace de traitement pour l'eau de douche.

PUBLICATIONS

- Zhang S., de Gouvello B., Garrec N., Bulteau G., Lucas F., Chebbo G., 2013, Caractérisation et évolution de la qualité microbiologique des eaux alternatives brutes stockées au niveau d'un bâtiment : premiers résultats expérimentaux, *European Journal of water quality* 44 (2013) 81-95.

- Zhang S., de Gouvello B., Garrec N., Bulteau G., Lucas F., Chebbo G., 2013, Characterization and evolution of the microbiological quality of alternative water stored in a building: State of art and preliminary experiments results, *8th International conference on sustainable techniques and strategies in urban water management*, June 23rd – 27th 2013, Lyon: GRAIE, 10 p. (+ presentation poster)

CONTACTS

Bernard de Gouvello, bernard.degouvello@enpc.fr

Nathalie Garrec, nathalie.garrec@cstb.fr

Siyu Zhang, siyu.zhang@enpc.fr