

Risques environnementaux liés à la réutilisation des eaux grises pour l'irrigation des espaces verts urbains

■ P.-L. DAVID^{1,2}, G. BULTEAU¹, P. HUMEAU¹, C. GERENTE², Y. ANDRES²

Mots-clés : lit fluidisé, réutilisation d'eaux usées domestiques, eaux grises, risques environnementaux, irrigation

Keywords: domestic wastewater reuse, environmental risks, fluidized bed, greywater, sprinkler irrigation

Introduction

La demande croissante en eau potable, ainsi que la diminution de son accessibilité nécessitent la recherche de solutions alternatives pour préserver les ressources en eau. À l'échelle domestique, les eaux grises semblent être une ressource adéquate afin de diminuer la demande en eau potable. Elles représentent entre 50 et 80 % des eaux usées produites chaque jour [AL-HAMAIEDEH et BINO, 2010; HAIDER et RASID, 2002; LEVETT *et al.*, 2010; NHAPI et HOKO, 2004] et dépendent des habitudes des usagers qui les génèrent [SHARVELLE *et al.*, 2008]. Les eaux grises sont composées de toutes les eaux usées domestiques à l'exception des eaux des toilettes. Elles proviennent des baignoires, douches, lavabos et machines à laver (eaux grises légères) ou bien des évier de cuisine et des lave-vaisselle (eaux grises dures). L'usage des eaux grises traitées pour l'irrigation des espaces verts est une voie prometteuse pour réduire la demande en eau potable liée aux usages extérieurs [GROSS *et al.*, 2005; MISRA *et al.*, 2010]. Cependant, les risques sanitaires et environnementaux sont peu connus [TRAVIS *et al.*, 2010].

La composition des eaux grises suggère qu'un traitement biologique est préférable à un traitement chimique [JEFFERSON *et al.*, 2004; Nolde, 2000]. De plus, les traitements aérobies sont plus simples à mettre en œuvre et génèrent moins d'odeur comparés

aux traitements anaérobies [HERNÁNDEZ LEAL *et al.*, 2007]. Les réacteurs à lit fluidisé présentent une bonne interface liquide-gaz-solide générant une forte activité biologique [MOWLA et AHMADI, 2007] et les phénomènes de transfert sont très élevés [RAJASIMMAN et KARTHIKEYAN, 2007]. Ils ne nécessitent pas d'arrêt pour maintenance et sont capables de traiter les eaux usées en continu. Ce procédé a souvent été étudié et utilisé pour le traitement des eaux usées industrielles ou municipales [ARUMUGAN et SABARETHINAM, 2008; KUMARESAN *et al.*, 2009; PATEL *et al.*, 2006; ULSON de SOUZA *et al.*, 2008], mais jamais pour les eaux grises.

À ce jour, il n'existe pas de réglementation française autorisant la réutilisation des eaux grises. Toutefois, l'arrêté du 2 août 2010, relatif à la réutilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts, autorise sous certaines conditions (qualité d'eaux usées traitées, contraintes d'usages, de distance et de terrain) la réutilisation des eaux usées traitées. Cet arrêté fixe la réglementation de deux paramètres physico-chimiques – les matières en suspension (MES) et la demande chimique en oxygène (DCO) –, ainsi que quatre paramètres microbiologiques – les entérocoques fécaux, les phages ARN F-spécifiques, les spores de bactéries anaérobies sulfitoréductrices et *Escherichia coli*.

L'objectif de cette étude est de caractériser les risques environnementaux liés à l'utilisation des eaux grises traitées par un réacteur à lit fluidisé, en particulier pour l'irrigation d'espaces verts urbains.

¹ Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) – Aquasim – 11, rue Henri-Picherit – BP 82341 – 44323 Nantes cedex 03.
Courriel : gaelle.bulteau@cstb.fr

² UNAM Université, École des mines de Nantes, CNRS, GEPEA, UMR 6144 – 4, rue Alfred-Kastler – BP 20722 – 44307 Nantes cedex 03.

1. Matériels et méthodes

Le banc d'essai (figure 1) est composé de quatre douches et d'une machine à laver. Ces eaux grises réelles, produites quotidiennement, sont stockées dans deux cuves distinctes. Une troisième cuve permet le mélange des deux types d'eaux grises (un tiers douche et deux tiers machine à laver) avant de les envoyer dans la cuve alimentant le procédé de traitement. Il est à noter qu'une première dégradation ainsi qu'un développement microbien peuvent avoir lieu lors des phases de stockage. C'est pourquoi chaque cuve est quotidiennement vidangée (sauf celle alimentant le lit fluidisé) afin d'avoir des eaux grises fraîchement produites et de minimiser la biodégradation [JEFFERSON *et al.*, 2004]. Chaque jour, le procédé traite 144 L d'eaux grises brutes avec un débit continu de 6 L/h. Après traitement, les eaux grises sont stockées dans une dernière cuve.

Afin d'étudier les performances du procédé de traitement, les prélèvements sont réalisés dans les cuves positionnées avant et après le réacteur. Le premier, réalisé dans la cuve « eaux grises brutes », permet de qualifier les qualités physico-chimiques et microbiologiques des eaux grises entrant dans le réacteur et ainsi de les caractériser. Le second point de prélèvement se situe dans la cuve « eaux grises traitées » afin de caractériser les performances épuratoires du réacteur.

Le procédé utilisé pour traiter biologiquement les eaux grises est un réacteur à lit fluidisé triphasique (figure 2). Il est fabriqué en PVC transparent et mesure 2 300 mm de haut. Son diamètre est de 250 mm et un élargissement brusque de 500 mm en tête permet de casser la fluidisation. Son volume total est de 173 L pour un volume utile de 110 L. Il fonctionne à co-courant ascendant de liquide et de gaz. L'air injecté par le bas du réacteur permet à la fois la fluidisation du garnissage, mais aussi l'apport d'oxygène nécessaire au développement de la biomasse aérobie. Le temps de séjour des eaux grises dans le réacteur est de 18 heures. Le garnissage utilisé comme support de biomasse est composé d'anneaux Kaldness K1 média KMT. Ces anneaux en polyéthylène haute densité ont un diamètre de 11 mm pour une densité de 0,95 g/cm³. 5 % volumique ($V_{particules}/V_{liquide}$) ont été ajoutés selon les recommandations d'OCHIENG et coll. [2002]. Le réacteur fonctionne avec des eaux grises depuis janvier 2012.

Le dispositif expérimental d'arrosage d'espaces verts est composé de trois parcelles identiques, chacune ayant une surface irriguée de 2,25 m². Elles se composent d'une géomembrane, de 50 mm de gravier, d'un géotextile, de 300 mm de terre végétale et de pelouse « ray grass » (figure 3). La géomembrane et le gravier permettent de drainer le percolat vers le

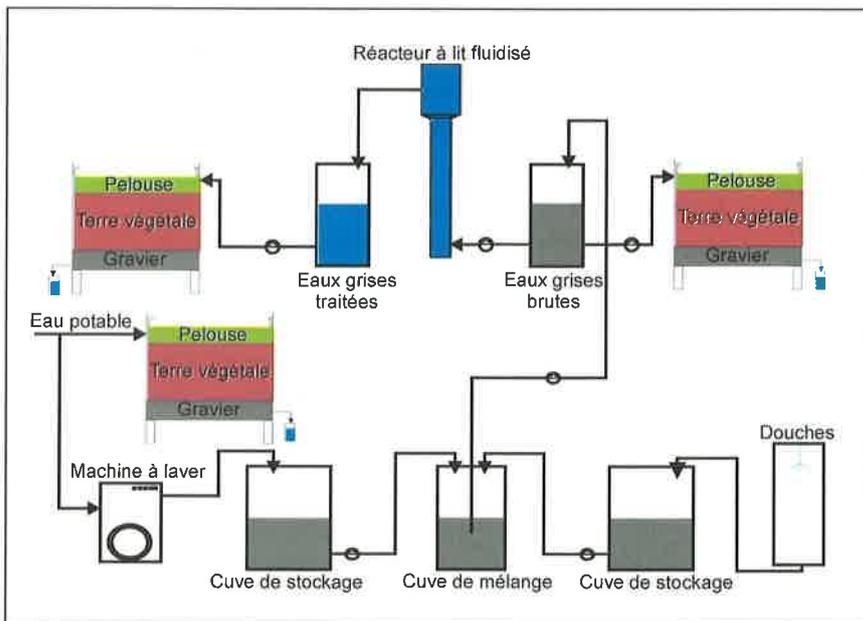


Figure 1. Schéma de la filière de traitement

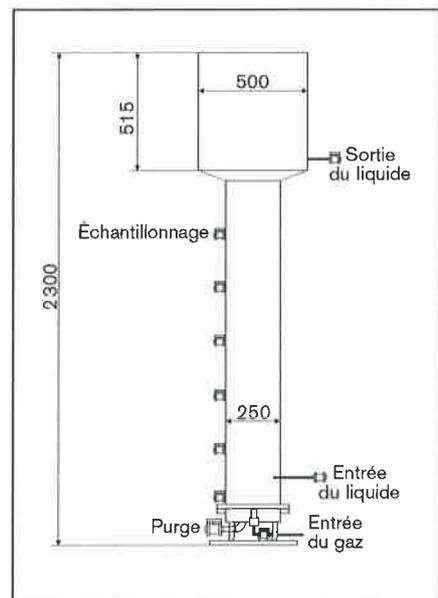


Figure 2. Description du réacteur à lit fluidisé (dimensions en mm)

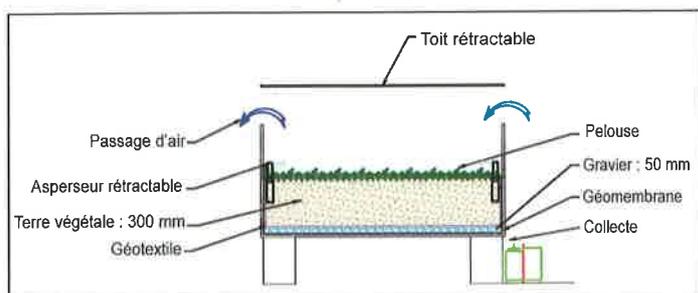


Figure 3. Description des parcelles engazonnées

tuyau d'évacuation où il peut être récupéré. L'analyse de ce percolat permet d'étudier l'impact environnemental de la réutilisation des eaux grises sur le sol. Le géotextile sépare le gravier et la terre végétale et maintient cette dernière en place. Afin de comparer l'influence de la qualité de l'eau sur les performances d'irrigation, chaque parcelle est irriguée avec 9 L de l'un des types d'eau suivants : les eaux grises brutes, les eaux grises traitées et l'eau potable comme référence. L'irrigation est réalisée au moyen de deux asperseurs rétractables par parcelle et disposés dans

deux coins opposés. Enfin, un toit mobile peut être déplacé afin de pouvoir tailler la pelouse.

2. Paramètres analytiques retenus

L'arrêté du 2 août 2010 fixe le suivi de cinq paramètres (MES, DCO, entérocoques fécaux, phages ARN F-spécifiques, spores de bactéries anaérobies sulfitoréductrices et *E. coli*), afin de pouvoir utiliser les eaux usées traitées pour l'irrigation d'espaces verts. Ces paramètres ont donc été analysés, car ce sont les seuls paramètres réglementés. De plus, cet arrêté conseille de suivre la turbidité, le carbone organique dissous (COD), la demande biologique en oxygène pour 5 jours (DBO₅), le phosphore total (Ptotal), les composés azotés ainsi que les légionelles et les amibes. Enfin, pour compléter l'étude, le pH, la conductivité, la concentration en tensioactifs, la flore mésophile, les coliformes totaux, *Pseudomonas aeruginosa* et les staphylocoques pathogènes ont aussi été analysés. L'analyse de ces paramètres a été réalisée selon les normes en vigueur présentées dans le tableau I.

Paramètre	Unité	Norme
pH	–	NF T90-008
Conductivité	μS/cm	NF EN 27888
Turbidité	NFU	NF EN ISO 7027
Matières en suspension	mg/L	EN 872
Demande chimique en oxygène	mg O ₂ /L	ISO 15705
Demande biologique en oxygène pour 5 jours	mg O ₂ /L	ISO 15705
Carbone organique dissous	mg C/L	NF EN 1484
Tensioactif anionique	mg SABM/L	ISO 7875-1
Azote total	mg N/L	EN ISO 11905-1
Phosphore total	mg P/L	ISO 6878
<i>Escherichia coli</i>	NPP/100 mL	NF EN ISO 9308-3
Entérocoques	NPP/100 mL	NF EN ISO 7899-1
Coliformes totaux	UFC/mL	NF EN ISO 6887
Flore mésophile	UFC/mL	NF EN ISO 6222
<i>Legionella</i>	UFC/L	NF T90-431
Spores de bactéries anaérobies sulfitoréductrices	UFC/100 mL	NF EN 26461-2
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	UFC/100 mL	NF EN ISO 16266
Staphylocoques pathogènes	UFC/100 mL	XP T90-412
Phages ARN F-spécifiques	PFP/mL	ISO 10705-1

SABM : substances actives au bleu de méthylène ; UFC : unités formant colonies ; PFP : plaques formant colonies (*plaque forming particle*).

Tableau I. Paramètres analysés et normes associées

3. Résultats et discussion

3.1. Qualité des eaux grises brutes en entrée du réacteur

Le *tableau II* illustre les qualités physico-chimiques et microbiologiques des eaux grises brutes produites et celles trouvées dans la littérature. Les résultats présentés dans ce tableau montrent une disparité de la composition des eaux grises brutes, que ce soit dans la littérature ou dans la présente étude. Les paramètres tels que la turbidité ou les MES présentent des variations allant jusqu'à 80 % entre la valeur minimale et la valeur maximale. Ces variations sont dues aux us et coutumes des usagers [ERIKSSON *et al.*, 2002] et dépendent du type de lessive, de gel douche ou shampoing utilisés. Ces variations peuvent entraîner des perturbations lors du traitement.

Si les eaux grises brutes produites dans cette étude présentent de fortes disparités d'un échantillon à

l'autre, elles sont néanmoins comparables à celles trouvées dans la littérature.

Au niveau microbiologique, seuls les coliformes totaux, la flore mésophile et *E. coli* ont été observés. Les autres micro-organismes tels que les *Legionella* (spp. et *pneumophila*), les spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices, *Pseudomonas aeruginosa*, les staphylocoques pathogènes et les phages ARN F-spécifiques sont inférieurs à la limite de détection dans les eaux grises brutes. Dans la littérature, quelques études ont analysé un ou deux paramètres microbiologiques indicateurs de contamination, mais aucune ne regroupe tous les paramètres cités précédemment.

3.2. Performance de traitement du lit fluidisé

3.2.1. Caractéristiques physico-chimiques

Les eaux grises en entrée et en sortie du réacteur à lit fluidisé ont été caractérisées afin d'étudier les performances de traitement. Le *tableau III* présente

Paramètre	Unité	Eaux grises de cette étude				Littérature*	
		Moyenne (n = 15)	Écart type	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
pH	–	7,4	0,3	6,9	7,8	5	10
Conductivité	µS/cm	599	83	507	825	82	627
Turbidité	NTU	73	26	32	124	5	462
MES	mg/L	46	23	17	95	7	361
COD	mg C/L	37	13	22	64	18	186
DBO ₅	mg O ₂ /L	60	16	40	88	26	670
DCO	mg O ₂ /L	239	61	160	358	39	1 815
Tensioactif	mg SABM/L	6	2	3	8	0,3	16
N total	mg N/L	12	4	5	18	0,6	40
P total	mg P/L	2	0,6	1	3	0,1	101
<i>Escherichia coli</i>	NPP/100 mL	–	–	1·10 ¹	2·10 ³	0	2·10 ⁶
Coliformes totaux	UFC/mL	–	–	6·10 ¹	7·10 ⁵	3·10 ²	2·10 ⁷
Flores mésophiles 37 °C	UFC/mL	–	–	1·10 ⁴	8·10 ⁶	5·10 ⁶ (UFC/100 mL)	5·10 ⁹ (UFC/100 mL)

*[CHAILLOU *et al.*, 2010; CHRISTOVA-BOAL *et al.*, 1996; DONNER *et al.*, 2010; ERIKSSON *et al.*, 2002; GROSS *et al.*, 2007; HERNÁNDEZ LEAL *et al.*, 2007; MARCH *et al.*, 2004; O'TOOLE *et al.*, 2012; RODDA *et al.*, 2011].

MES : matières en suspension; COD : carbone organique dissous; DBO₅ : demande biologique en oxygène pour 5 jours; DCO : demande chimique en oxygène; SABM : substances actives au bleu de méthylène; NPP : nombre le plus probable; UFC : unités formant colonies.

Tableau II. Caractéristiques des eaux grises produites et de celles trouvées dans la littérature

Paramètre	Unité	Entrée		Sortie		Abattement* (%)
		Moyenne (n = 15)	Moyenne (n = 15)	Minimum	Maximum	
pH	–	7,4	7,7	7,3	8,1	–
Conductivité	µS/cm	599	549	471	662	–
Turbidité	NTU	73	6	2	9	92
MES	mg/L	46	5	2	10	88
COD	mg C/L	37	9	5	15	77
DBO ₅	mg O ₂ /L	60	8	1	20	87
DCO	mg O ₂ /L	239	27	8	42	88
Tensioactif	mg SABM/L	6	1	0,4	3	83
N total	mg N/L	12	7	1	13	38
P total	mg P/L	2	1	1	2	50

*L'abattement de chaque paramètre est calculé sur la moyenne des abattements.

MES : matières en suspension; COD : carbone organique dissous; DBO₅ : demande biologique en oxygène pour 5 jours; DCO : demande chimique en oxygène; SABM : substances actives au bleu de méthylène.

Tableau III. Caractéristiques physico-chimiques des eaux grises en entrée et en sortie du réacteur

les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux grises ainsi que l'abattement pour chacun des paramètres.

Si toutefois les variations en entrée du réacteur sont élevées, les performances de traitement sont stables. En effet, il n'y a eu aucun dépassement des seuils de MES et de DCO, respectivement fixés à 15 mg/L et 60 mg O₂/L (figures 4 et 5). Le procédé a permis d'atteindre 88 % d'abattement pour la DCO et les MES, seuls paramètres physico-chimiques pour lesquels la réglementation fixe une valeur.

En ce qui concerne les autres paramètres, le traitement permet d'atteindre respectivement 92, 87, 83 et 77 % pour la turbidité, la DBO₅, les tensioactifs et le COD. Ces abattements sont satisfaisants et conformes à ce qui

peut être relevé dans la littérature [BABAN *et al.*, 2010; HERNÁNDEZ LEAL *et al.*, 2010; LAMINE *et al.*, 2007; PATHAN *et al.*, 2011]. Les faibles abattements concernant l'azote et le phosphore peuvent s'expliquer par leurs faibles concentrations en entrée du procédé. De plus, en vue de l'utilisation des eaux grises traitées pour l'irrigation d'espaces verts, l'azote et le phosphore peuvent être utilisés comme nutriments et favoriser leur croissance. Ils peuvent donc être considérés comme un apport positif de la réutilisation des eaux grises.

3.2.2. Caractéristiques microbiologiques

Le tableau IV présente les caractéristiques de trois paramètres microbiologiques étudiés montrant

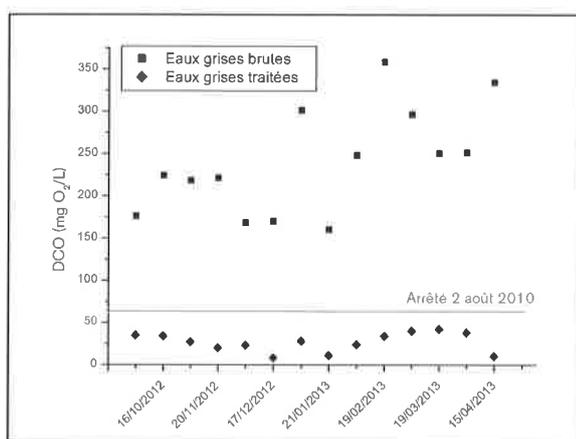


Figure 4. Demande chimique en oxygène (DCO) contenue dans les eaux grises brutes et traitées

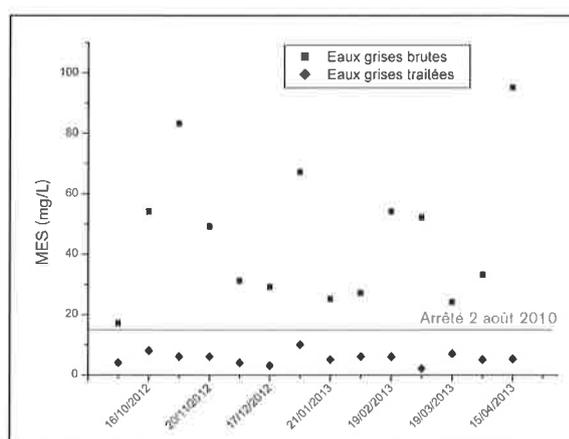


Figure 5. Matières en suspension (MES) contenues dans les eaux grises brutes et traitées

		Entrée		Sortie	
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
<i>Escherichia coli</i>	NPP/100 mL	1·10 ¹	2·10 ³	1·10 ¹	8·10 ¹
Coliformes totaux	UFC/mL	6·10 ¹	7·10 ⁵	9·10 ⁰	3·10 ⁵
Flore à 37 °C	UFC/mL	1·10 ⁴	8·10 ⁶	1·10 ³	4·10 ⁵

NPP : nombre le plus probable ; UFC : unités formant colonies.

Tableau IV. Caractéristiques microbiologiques des eaux grises en entrée et en sortie du réacteur

des résultats dans les eaux grises, les autres micro-organismes n'ayant pu être détectés.

Le tableau IV montre que de nombreux micro-organismes sont présents dans les eaux grises en entrée et en sortie de traitement. Les variations sont comprises entre 1 et 3 log. En vue d'une réutilisation des eaux grises, il semble donc nécessaire d'ajouter une étape d'hygiénisation par UV afin de diminuer la contamination microbiologique.

3.3. Qualité des percolats issus des parcelles

Les percolats issus des parcelles irriguées ont été analysés lorsqu'une quantité suffisante a pu être récoltée. Depuis le début de l'irrigation (en octobre 2012), sept échantillons ont ainsi été analysés. Les résultats sont présentés dans le tableau V.

Pour les paramètres physico-chimiques, à l'exception de la conductivité, de la DOC et du COD, la qualité des percolats est assez similaire. Toutefois, la conductivité des percolats issus de la parcelle irriguée par les eaux grises brutes semble supérieure. Cette tendance diminue avec le temps, et la conductivité des derniers prélèvements est proche de celle des autres lixivats. En ce qui concerne la DCO et le COD, la différence observée peut s'expliquer par l'accumulation de matières organiques présentes dans les eaux grises brutes. Enfin, les micro-organismes trouvés dans les percolats sont apportés par les eaux grises, mais aussi par l'environnement naturel (pelouse, sol et faune). En effet, dans les eaux grises brutes ou traitées, aucun entérocoque n'a été observé alors qu'ils ont pu être détectés dans les percolats de chaque parcelle, même celle irriguée par l'eau potable.

Paramètre	Unité	Parcelle eaux grises brutes			Parcelle eaux grises traitées			Parcelle eau potable		
		Moyenne (n = 7)	Minimum	Maximum	Moyenne (n = 7)	Minimum	Maximum	Moyenne (n = 7)	Minimum	Maximum
pH	—	8,1	7,7	8,3	8,1	7,7	8,3	8,1	7,7	8,3
Conductivité	µS/cm	1 096	748	1 849	844	702	1 145	771	678	974
Turbidité	NTU	22	13	36	14	12	18	9	6	12
MES	mg/L	< 2	< 2	12	< 2	< 2	7	< 2	< 2	< 2
COD	mg C/L	116	33	170	63	33	103	50	21	70
DBO ₅	mg O ₂ /L	15	4	41	10	2	40	7	1	40
DCO	mg O ₂ /L	309	138	593	170	125	279	119	79	144
Tensioactif	mg SABM/L	0,56	0,24	1,55	0,36	0,1	0,85	0,35	0,12	0,95
N total	mg N/L	7	3	14	5	3	9	5	3	12
P total	mg P/L	0,6	< 0,5	0,7	0,6	0,6	0,7	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Entérocoques	NPP/100 mL	—	10	30	—	10	77	—	15	61
<i>Escherichia coli</i>	NPP/100 mL	—	2·10 ¹	1·10 ²	—	3·10 ¹	6·10 ¹	—	15	1·10 ²
Coliformes totaux	UFC/mL	—	< LD	1·10 ³	—	< LD	8·10 ²	—	< LD	3·10 ⁰
Flores à 37 °C	UFC/mL	—	6·10 ³	3·10 ⁵	—	8·10 ²	3·10 ⁴	—	7·10 ²	3·10 ⁴

MES : matières en suspension ; COD : carbone organique dissous ; DBO₅ : demande biologique en oxygène pour 5 jours ; DCO : demande chimique en oxygène ; SABM : substances actives au bleu de méthylène ; NPP : nombre le plus probable ; UFC : unités formant colonies ; LD : limite de détection.

Tableau V. Caractéristiques des percolats issus des parcelles irriguées

Type d'eau utilisée pour l'irrigation	Biomasse sèche (g)	Biomasse supplémentaire par rapport à la parcelle eau potable (%)
Eaux grises brutes	211	156
Eaux grises traitées	219	162
Eau potable	135	–

Tableau VI. Biomasse récoltée en fonction du type d'eau utilisée pour l'irrigation

Les compositions des percolats de chaque parcelle étant proches, la qualité de l'eau d'irrigation a peu d'influence sur la qualité du percolat. Ainsi, l'irrigation d'espaces verts avec les eaux grises traitées semble une voie prometteuse afin de diminuer la demande en eau potable.

3.4. Biomasse récoltée

Après 3 mois d'irrigation, la totalité de la pelouse de chaque parcelle a été récoltée. La taille a été réalisée manuellement et la biomasse récoltée a été séchée, puis pesée. Les résultats préliminaires sont présentés dans le *tableau VI*.

Tout d'abord, la quantité de biomasse récoltée pour les parcelles irriguées par les eaux grises brutes et traitées est identique. La différence observée, inférieure à 4 %, est sans doute due au moyen de récolte de la pelouse. En revanche, la quantité de biomasse végétale produite par les parcelles irriguées par les eaux grises est supérieure à celle irriguée par l'eau potable. Ainsi, la production de biomasse végétale supplémentaire est de 160 % pour les deux parcelles. Cet écart peut être dû à la présence de nutriments dans les eaux grises (azote, phosphore), qui constitue un apport pour la pelouse et favorise sa croissance. Un second aspect positif de la réutilisation des eaux grises pour l'irrigation des espaces verts est donc l'apport de nutriments pour le développement des végétaux. Cette observation n'est le résultat que d'une seule récolte, il sera donc nécessaire de confirmer par la suite lors des prochaines tontes.

Bibliographie

ARUMUGAN A., SABARETHINAM P. (2008) : « Performance of a three-phase fluidized bed reactor with different support particles in treatment of dairy wastewater ». *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*; 3(5) : 42-44.

BABAN A., HOCAOGLU S.M., ATASOY E.A., GUNES K., AYAZ S., REGELBERGER M. (2010) : « Grey water treatment and

Conclusion

Cette étude a permis de mesurer les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux grises brutes produites à partir de douches et du lavage du linge. Ces eaux grises réelles ont été traitées au moyen d'un réacteur à lit fluidisé et ont servi à l'irrigation de parcelles de pelouse. Les performances de traitement du procédé et l'impact environnemental de réutilisation des eaux grises ont ainsi pu être étudiés. La qualité des eaux grises brutes produites présente de fortes variations, que ce soit au niveau physico-chimique ou microbiologique. Toutefois, le réacteur à lit fluidisé utilisé pour les traiter a permis d'atteindre la qualité physico-chimique requise par l'arrêté du 2 août 2010. De plus, la qualité des eaux grises traitées présente peu de variation, montrant la fiabilité et la robustesse du procédé. Les pelouses irriguées avec les différents types d'eau semblent pousser correctement. Et celles irriguées par les eaux grises semblent pousser plus rapidement, grâce aux nutriments présents dans ces dernières. L'utilisation des eaux grises traitées pour l'irrigation des espaces verts présente donc deux principaux avantages. Elle permet de diminuer la consommation d'eau potable et ne perturbe pas la croissance des végétaux. Enfin, les percolats, issus des parcelles irriguées, véhiculent des micro-organismes apportés par les eaux grises et l'environnement extérieur. C'est pourquoi il est envisagé d'ajouter une étape d'hygiénisation par UV après le réacteur à lit fluidisé afin de diminuer l'apport en micro-organismes dû aux eaux grises traitées.

reuse by using RBC: A kinetic approach ». *Desalination and Water Treatment*; 23(1-3) : 89-94.

CHAILLOU K., GÉRENTE C., ANDRÈS Y., WOLBERT D. (2010) : « Bathroom greywater characterization and potential treatments for reuse ». *Water, Air, and Soil Pollution*; 215 : 31-42.

- CHRISTOVA-BOAL D., EDEN R.E., MCFARLANE S. (1996) : « An investigation into greywater reuse for urban residential properties ». *Desalination*; 106(1-3) : 391-397.
- DONNER E., ERIKSSON E., REVITT D., SCHOLE S., LÜTZHÖFT H.-C.H., LEDIN A. (2010) : « Presence and fate of priority substances in domestic greywater treatment and reuse systems ». *Science of The Total Environment*; 408(12) : 2444-2451.
- ERIKSSON E., AUFFARTH K., HENZE M., LEDIN A. (2002) : « Characteristics of grey wastewater ». *Urban Water*; 4(1) : 85-104.
- GROSS A., AZULAI N., ORON G., RONEN Z., ARNOLD M., NEJIDAT A. (2005). « Environmental impact and health risks associated with greywater irrigation: a case study ». *Water Science and Technology*; 52(8) : 161-169.
- GROSS A., KAPLAN D., BAKER K. (2007) : « Removal of chemical and microbiological contaminants from domestic greywater using a recycled vertical flow bio-reactor (RVFB) ». *Ecological Engineering*; 31(2) : 107-114.
- HAIDER W., RASID H. (2002) : « Eliciting public preferences for municipal water supply options ». *Environmental Impact Assessment Review*; 22(4) : 337-360.
- AL-HAMAEDEH H., BINO M. (2010) : « Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants ». *Desalination*; 256(1-3) : 115-119.
- HERNÁNDEZ LEAL L., TEMMINK H., ZEEMAN G., BUISMAN C.J.N. (2010) : « Comparison of three systems for biological greywater treatment ». *Water*; 2(2) : 155-169.
- HERNÁNDEZ LEAL L., ZEEMAN G., TEMMINK H., BUISMAN C. (2007) : « Characterisation and biological treatment of greywater ». *Water Science and Technology*; 56 : 193-200.
- JEFFERSON B., PALMER A., JEFFREY P., STUETZ R., JUDD S. (2004) : « Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse ». *Water Science and Technology*; 50(2) : 157-164.
- KUMARESAN R., RAMAKRISHNAN N., PREMALATHA C. (2009) : « Aerobic treatment of distillery wastewater in a three phase fluidized bed biofilm reactor ». *Chemical Engineering Journal*; 1(1) : 13-20.
- LAMINE M., BOUSSELMI L., GHRABI A. (2007) : « Biological treatment of grey water using sequencing batch reactor ». *Desalination*; 215(1-3) : 127-132.
- LEVETT K.J., VANDERZALM J.L., PAGE D.W., DILLON P.J. (2010) : « Factors affecting the performance and risks to human health of on-site wastewater treatment systems ». *Water Science and Technology*; 62(7) : 1499-1509.
- MARCH J., GUAL M., OROZCO F. (2004) : « Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain) ». *Desalination*; 164(3) : 241-247.
- MISRA R.K., PATEL J.H., BAXI V.R. (2010) : « Reuse potential of laundry greywater for irrigation based on growth, water and nutrient use of tomato ». *Journal of Hydrology*; 386(1-4) : 95-102.
- MOWLA D., AHMADI M. (2007) : « Theoretical and experimental investigation of biodegradation of hydrocarbon polluted water in a three phase fluidized-bed bioreactor with PVC biofilm support ». *Biochemical Engineering Journal*; 36(2) : 147-156.
- NHAPI I., HOKO Z. (2004) : « A cleaner production approach to urban water management: potential for application in Harare, Zimbabwe ». *Physics and Chemistry of the Earth*; 29(15-18) : 1281-1289.
- NOLDE E. (2000) : « Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings – over ten years experience in Berlin ». *Urban Water*; 1(4) : 275-284.
- O'TOOLE J., SINCLAIR M., MALAWARAARACHCHI M., HAMILTON A., BARKER S.F., LEDER K. (2012) : « Microbial quality assessment of household greywater ». *Water Research*; 46(13) : 4301-4313.
- OCHIENG A., OGADA T., SISENDA W., WAMBUA P. (2002) : « Brewery wastewater treatment in a fluidized bed bioreactor ». *Journal of Hazardous Materials*; 90(3) : 311-321.
- PATEL A., ZHU J., NAKHLA G. (2006) : « Simultaneous carbon, nitrogen and phosphorous removal from municipal wastewater in a circulating fluidized bed bioreactor ». *Chemosphere*; 65(7) : 1103-1112.
- PATHAN A.A., MAHAR R. BUX, ANSARI K. (2011) : Preliminary study of greywater treatment through rotating biological contactor. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*; 30(3) [en ligne] http://publications.muet.edu.pk/research_papers/pdf/pdf138.pdf
- RAJASIMMAN M., KARTHIKEYAN C. (2007) : « Aerobic digestion of starch wastewater in a fluidized bed bioreactor with low density biomass support ». *Journal of Hazardous Materials*; 143(1-2) : 82-86.
- RODDA N., SALUKAZANA L., JACKSON S.A.F., SMITH M.T. (2011) : « Use of domestic greywater for small-scale irrigation of food crops: Effects on plants and soil ». *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*; 36 (14-15) : 1051-1062.
- SHARVELLE S., ARABI M., MCLAMORE E., BANKS M.K. (2008) : « Model development for biotrickling filter treatment of graywater simulant and waste gas ». *Journal of Environmental Engineering*; 134(10) : 813-825.
- TRAVIS M.J., WIEL-SHAFRAN A., WEISBROD N., ADAR E., GROSS A. (2010) : « Greywater reuse for irrigation: effect on soil properties ». *Science of the Total Environment*; 408(12) : 2501-2508.
- ULSON DE SOUZA A.A., BRANDÃO H.L., ZAMPORLINI I.M., SOARES H.M., GUELLI ULSON DE SOUZA S.M. DE A. (2008) : « Application of a fluidized bed bioreactor for cod reduction in textile industry effluents ». *Resources, Conservation and Recycling*; 52(3) : 511-521.

Résumé

P.-L. DAVID, G. BULTEAU, P. HUMEAU, C. GERENTE, Y. ANDRES

Risques environnementaux liés à la réutilisation des eaux grises pour l'irrigation des espaces verts urbains

Les eaux grises (issues des douches, baignoires, lavabos et lave-linge) représentent entre 50 à 80 % des eaux usées domestiques produites chaque jour. Elles semblent être une ressource idéale afin de réduire la consommation d'eau potable pour des usages extérieurs. Les risques environnementaux étant peu connus, cette étude vise à caractériser ceux liés à la réutilisation des eaux grises, en particulier pour l'irrigation d'espaces verts urbains. Le dispositif expérimental est composé de trois parcelles de pelouse, chacune ayant une surface irriguée de 2,25 m². Afin de comparer l'influence de la qualité de l'eau sur les performances d'irrigation, chaque parcelle est irriguée avec 9 L de l'un des types d'eau suivants : les eaux grises brutes (produites *in situ* à partir d'une machine à laver et de douches), les eaux grises traitées, et l'eau potable en tant que référence. Les eaux grises traitées sont produites par un réacteur à lit fluidisé, préalable-

ment optimisé et modélisé, fonctionnant en conditions aérobies. Ce dernier a permis d'atteindre un abattement de 82 % pour la demande chimique en oxygène et 84 % pour les matières en suspension. Les pelouses irriguées avec les eaux grises semblent pousser plus rapidement, ce qui est sans doute dû aux nutriments présents en plus grande quantité dans ces dernières que dans l'eau potable. Les eaux grises traitées semblent donc être une bonne alternative à l'eau potable pour l'irrigation des espaces verts urbains. Toutefois, l'irrigation avec les eaux grises peut poser un problème vis-à-vis des risques sanitaires, car elles contiennent des micro-organismes qui, potentiellement, peuvent avoir un impact sur l'homme en contact avec les pelouses irriguées. Des expérimentations complémentaires avec un traitement additionnel (de type hygiénisation par UV, par exemple) sont envisagées afin de diminuer le risque sanitaire.

Abstract

P.-L. DAVID, G. BULTEAU, P. HUMEAU, C. GERENTE, Y. ANDRES

Environmental risks related to greywater reuse for irrigation of urban green spaces

Greywater (from showers, bathtubs, sinks and washing machine) represents between 50 to 80% of domestic wastewater produced every day. It seems to be an ideal resource to reduce potable water consumption for outdoor uses. However, the risks related to this practice need to be investigated. This study particularly aims to characterize the environmental impact of greywater reuse for lawn irrigation. The experimental device consists of three plots of lawn, each one with an irrigated area of 2,25 m². To compare the influence of water quality on the performance of irrigation, each plot is irrigated with 9 L of one of the following types of water: raw greywater (produced *in situ* from a washing machine and showers), treated greywater and drinking water as a reference. The treated greywater is produced

by a fluidized bed reactor operating under aerobic conditions, which has been previously upgraded and modeled. It has achieved a reduction of 82% for chemical oxygen demand and 84% for suspended solids. Lawns irrigated with greywater seem to grow more rapidly, probably due to the nutrients present in greater quantity in greywater than in tap water. The treated greywater seems to be a good alternative to tap water for irrigation of urban green spaces. However, irrigation with greywater can be a problem towards health risks because it can contain microorganisms that potentially could have an impact on humans in contact with irrigated lawns. Further experiments with additional treatment (UV cleaning for example) are considered to reduce the health risk.