

Réutilisation des eaux grises pour l'arrosage de parcelles engazonnées

Travaux de thèse de Pierre-Luc DAVID, présentés par Gaëlle Bulteau

AG Réseau Reuse INRAE – 19 octobre 2021



NF EN 16323:2014-05 - GLOSSAIRE DE TERMES TECHNIQUES DES EAUX RÉSIDUAIRES

- > Grey water → Eau(x) ménagère(s) : eaux résiduaires domestiques à l'exclusion des eaux de toilettes et d'urinoirs
- > Également appelées eaux grises



Eaux le
plus
souvent
écartées

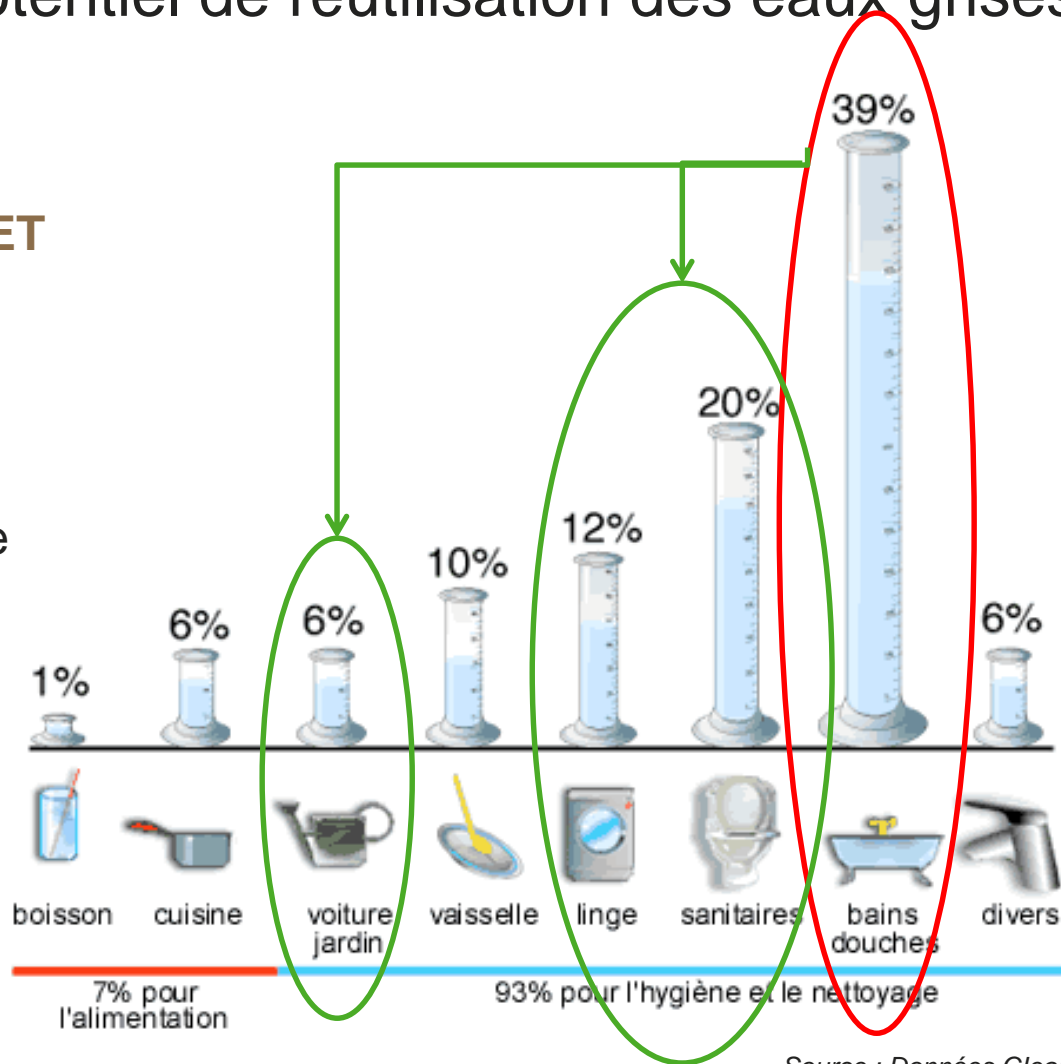
RECYCLER LES EAUX GRISES

= LES RÉCUPÉRER, LES TRAITER ET LES RÉUTILISER,

> le plus souvent in situ, pour l'alimentation des chasses d'eau des toilettes et pour l'arrosage extérieur (exemples en Australie et en Allemagne de réutilisation à l'échelle d'un quartier)

CONSOMMATIONS DÉPENDENT DE :

- > origine géographique
- > réseau et type d'équipement
- > habitants (âge, sexe, catégorie socio-professionnelle, culture)
- > type de bâtiment



Source : Données Cleau

Contexte

Facteurs influençant la composition des eaux grises

La composition des eaux grises varie principalement en fonction de :

- > l'origine géographique des données
- > la typologie du bâtiment
- > des activités des occupants



Variations significatives dans l'espace et dans le temps, en fonction des consommations d'eau et des quantités de substances rejetées



Dans un même lieu, variations :

- > normales : évolution des usages fonction de l'occupation
(ex : forte activité matin et soir pour l'hygiène personnelle, variations entre semaine et week-end ou périodes de vacances)
- > accidentelles : de nature ponctuelle correspondant à un évènement rare
(ex : présence de colorant capillaire, de produits chimiques d'entretien ou de bricolage, d'excès de désinfectant chloré)



Variations en fonction du ou des types d'eaux grises considérées

Contexte

Caractéristiques des eaux grises brutes

EG : eaux grises MAL : machine à laver SDB : salle de bain		Eaux usées domestiques			EG de MAL			EG de SDB			Mélange EG MAL et SDB		
Paramètres	Unité	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
pH	-	7,6	5,5	8,5	8,1	7,0	10	7,3	6,4	8,6	7,7	5,0	9,8
Conductivité	μS.cm ⁻¹	1337	1279	1771	851	190	3000	681	14	627	393		
MES	mg.L ⁻¹	425	53	1230	152	68	280	80	7	505	129	15	285
DCO	mg O ₂ .L ⁻¹	1079	122	1586	775	725	1815	288	39	1001	449	161	1583
DBO ₅	mg O ₂ .L ⁻¹	307	39	570	261	48	472	130	26	670	252	41	688
COT	mg C.L ⁻¹	235	173	297	179			63	17	186		114	255
Tensioactifs anioniques	mg SABM.L ⁻¹		6,0	13	46	0,01	25	19	0,3	42	22	4,7	16
N _{tot}	mg N.L ⁻¹	97	20	188	11	6,0	21	10	3,6	40	42	0,6	48
NH ₄ ⁺	mg NH ₄ .L ⁻¹	66	20	155				1,0				7,2	16
P _{tot}	mg P.L ⁻¹	15,2	2,0	25	21	0,1	101	6	0,1	49	42	0,6	68
CT	log UFC.100 mL ⁻¹		6,0	7,2		3,4	5,5		1,0	7,4		2,6	2,6
CF	log UFC.100 mL ⁻¹		5,0	8,0		2,0	3,0		0,0	8,0		4,5	8,0
ENT	log UFC.100 mL ⁻¹		4,0	5,0					1,4	6,2		4	8,0

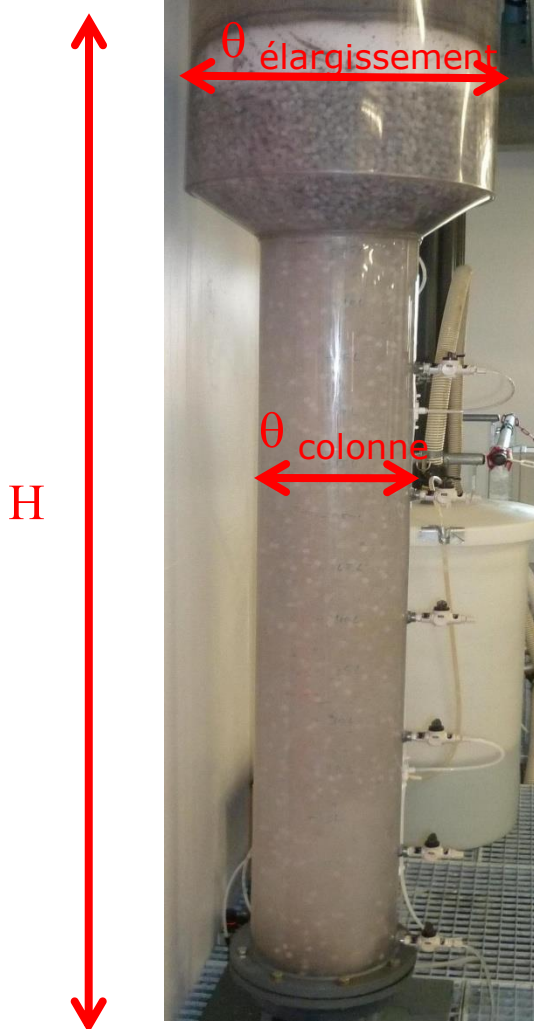
**Eaux grises = eaux contaminées → dangers sanitaires et environnementaux
→ traitement nécessaire avant réutilisation**

Étudier les performances d'un réacteur à lit fluidisé
pour traiter les eaux grises

Caractériser les impacts liés à la réutilisation des
eaux grises traitées pour l'irrigation d'espaces verts

Matériels et méthodes

Procédé de traitement



- Matériau : PVC
- Hauteur : 2300 mm
- q_{colonne} : 250 mm; $q_{\text{élargissement}}$: 500 mm
- Volume total : 173 L ; Volume utile : 110 L
- Débit_{eau} : 0-6 L.h⁻¹ ; Débit_{air} : 0-24 L.min⁻¹
- Conditions aérobies
- Co-courant ascendant de liquide et de gaz
- Aération réalisée par une membrane perforée



Matériau : Polyéthylène
Diamètre : 11 mm
Longueur : 7 mm
Masse volumique : 950 kg.m⁻³
Volume : 5% du volume d'eau

Définir les conditions optimales du réacteur

Etude hydrodynamique du réacteur

Biodégradabilité des EG

Détermination de la distribution des temps de séjour (DTS)

- > Injection d'une quantité connue de traceur inerte dans le courant d'entrée (Injection impulsion)
- > Suivi de la concentration toutes les 25 min dans le courant de sortie
- > Modélisation en utilisant le logiciel DTSPRO

**→ Le réacteur est un réacteur parfaitement agité
(ni court-circuit, ni volume mort)**

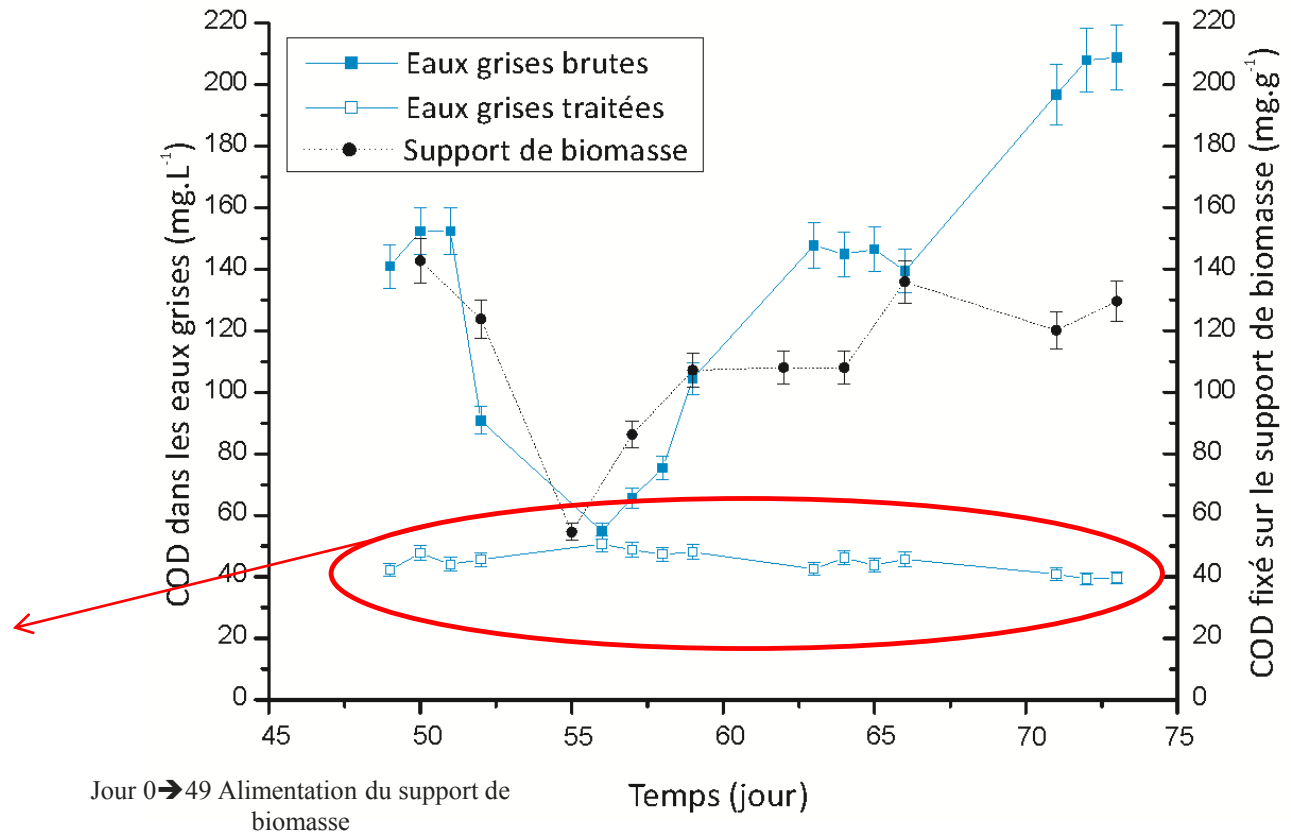
Résultats

Biodégradabilité des eaux grises

- > L'étude de la biodégradabilité a duré 73 jours
- > Les eaux grises ont été renouvelées deux fois par semaine au début puis tous les jours après 42 jours

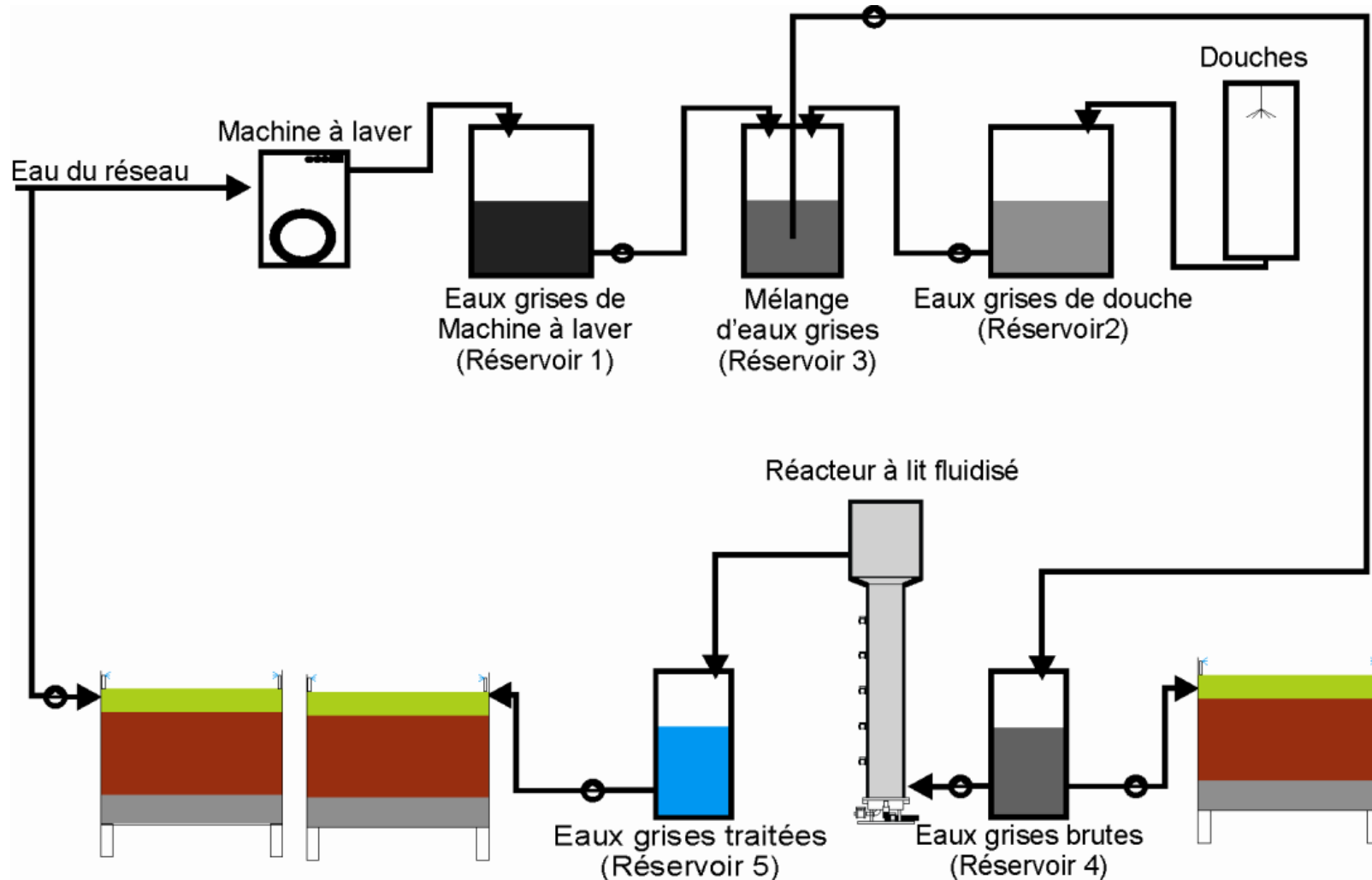
→ Les eaux grises peuvent être traitées par voie biologique

Fraction de COD difficilement biodégradable (45 mg.L^{-1})



Matériels et méthodes

Filières expérimentales



Matériels et méthodes

Paramètres suivis

Paramètres fixés par l'arrêté du 2 août 2010

Matières en suspension (MES)

Demande Chimique en Oxygène (DCO)

Entérocoques fécaux

Bactériophages ARN-F

Spores de bactéries anaérobies sulfitoréductrices

Escherichia coli

Paramètres recommandés dans l'arrêté du 2 août 2010

Turbidité

Carbone Organique Dissous (COD)

Demande Biochimique en Oxygène pour 5 jours (DBO₅)

Phosphore total

NTK + NH₄⁺, NO₂⁺ et NO₃⁻

Legionella spp et *Legionella pneumophila*

Amibes

Paramètres ajoutés pour compléter l'étude

pH

Conductivité

Oxygène dissous

Potentiel redox

Tensioactifs anioniques

Sodium Adsorption Ratio (SAR)

Flores mésophiles à 22°C et 37°C

Coliformes totaux

Pseudomonas Aeruginosa

Staphylocoques pathogènes

Eléments traces métalliques

Résultats

Qualité des eaux grises brutes produites

Eaux grises brutes de cette étude

Littérature

Paramètre	Unité	Eaux grises brutes de cette étude				Littérature	
		Minimum	Maximum	Moyenne (n=18)	Ecart type	Minimum	Maximum
pH	-	6,89	7,99	7,43	0,28	5,0	9,8
Turbidité	NTU	32	124	70	25	NR	NR
MES	mg.L ⁻¹	17	95	46	21	15	285
COD	mg C.L ⁻¹	22	97	41	19	114	254
DBO ₅	mg O ₂ .L ⁻¹	27	120	60	23	41	688
DCO	mg O ₂ .L ⁻¹	160	415	251	58	175	1583
Tensioactifs Anioniques	mg SABM.L ⁻¹	2,80	17	6,55	3,10	4,7	15
N _{tot}	mg N.L ⁻¹	5,1	18	12	3,5	0,6	48
P _{tot}	mg P.L ⁻¹	1,10	3,00	1,67	0,55	0,6	68

13 g DCO/m² de support/j
Charge massique : 3 g DBO₅/m² de support/j
2,4 g MES/m² de support/j

Résultats

Qualité des eaux grises brutes produites

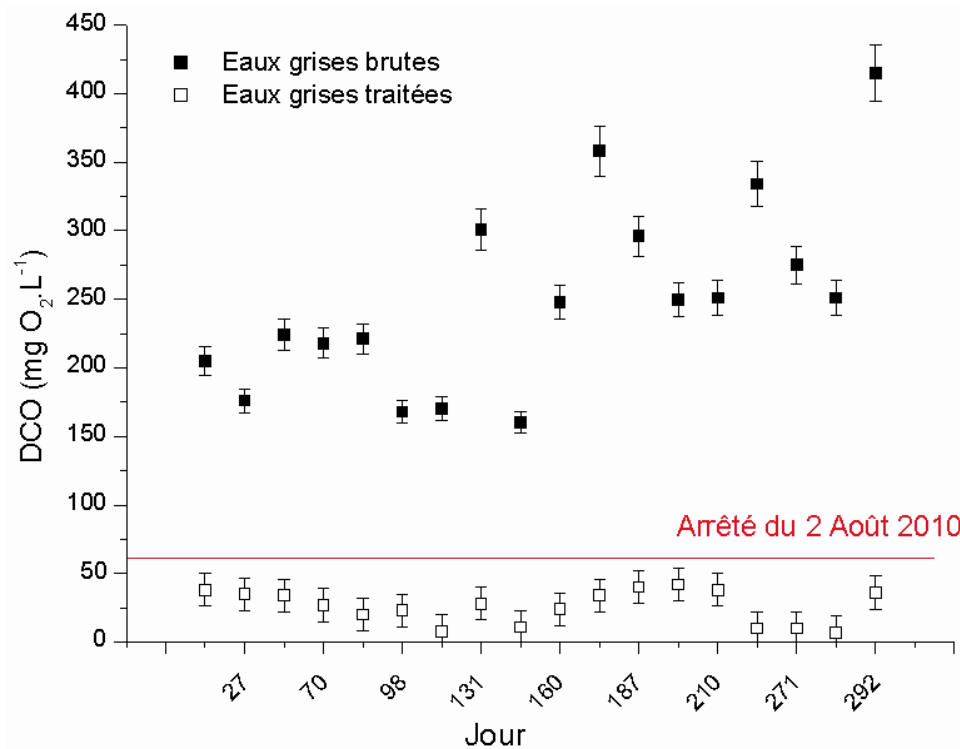
Paramètre	Unité	Eaux grises brutes de cette étude		Littérature	
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Entérocoques intestinaux	NPP.100 mL ⁻¹	<LD	3.10 ³	2.10 ³ (*)	1.10 ⁶ (*)
<i>E. coli</i>	NPP.100 mL ⁻¹	1.10 ¹	2.10 ³	3.10 ⁶ (*)	4.10 ⁶ (*)
Amibes	NPP.100 mL ⁻¹	4.10 ²	4.10 ⁵	NR	NR
Coliformes totaux	UFC.100 mL ⁻¹	6.10 ³	7.10 ⁷	>200	2.10 ⁷
Flore mésophile à 37°C	UFC.100 mL ⁻¹	1.10 ⁵	8.10 ⁸	NR	NR
Flore mésophile à 22°C	UFC.100 mL ⁻¹	3.10 ⁷	1.10 ¹⁰	NR	NR

(*) : UFC.100 mL⁻¹

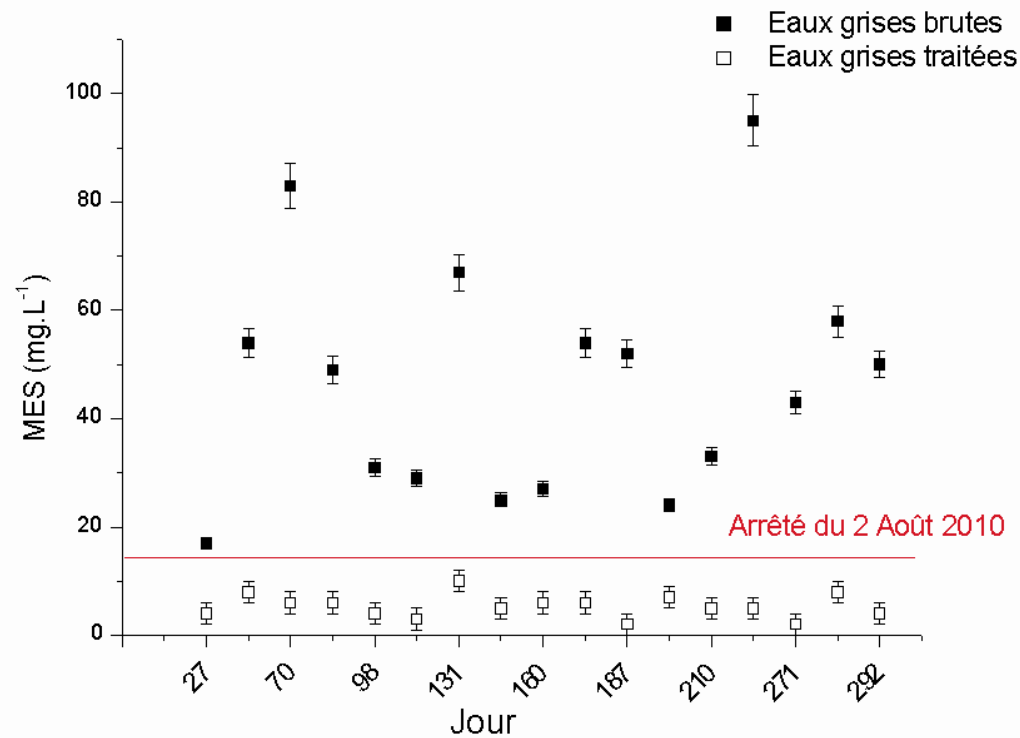
Très fortes variations de la composition des eaux grises brutes

Résultats

Focus sur les MES et la DCO



(a)



(b)

Arrêté du 2 août 2010
MES : 15 mg/L
DCO : 60 mg/L



Durant les 10 mois de fonctionnement, le procédé de traitement a permis d'atteindre ces objectifs seuils fixés par l'arrêté

Résultats

Performances de traitement / Physico-chimie

Paramètres	Unité	Eaux grises brutes		Eaux grises traitées		Abattement (%)
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	
pH	-	6,89	7,99	7,30	8,10	-
Turbidité	(NTU)	371	1310	2	9	92
MES	(mg.L ⁻¹)	32	124	2	10	88
COD	(mg C.L ⁻¹)	17	95	5	15	79
DBO ₅	(mg O ₂ .L ⁻¹)	22	97	1	20	88
DCO	(mg O ₂ .L ⁻¹)	27	120	< LD	42	91
Tensioactif	(mg SABM.L ⁻¹)	160	415	0,37	3,4	86
Ntot	(mg N.L ⁻¹)	2,80	17	< LD	13	39
Ptot	(mg P.L ⁻¹)	5,1	18	0,6	1,7	47

Qualité des eaux grises traitées satisfaisante

Présence de nutriments dans les eaux grises

Résultats

Performances de traitement / Microbiologie

Paramètre	Unité	Eaux grises brutes		Eaux grises traitées	
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Entérocoques intestinaux	NPP.100 mL-1	<LD	3.10 ³	<LD	<LD
<i>E. coli</i>	NPP.100 mL-1	1.10 ¹	2.10 ³	1.10 ¹	8.10 ¹
Amibes	NPP.100 mL-1	4.10 ²	4.10 ⁵	1.10 ³	1.10 ⁶
Coliformes totaux	UFC.100 mL-1	6.10 ³	7.10 ⁷	9.10 ²	2.10 ⁷
Flore mésophile à 37° C	UFC.100 mL-1	1.10 ⁵	8.10 ⁸	1.10 ⁵	6.10 ⁷
Flore mésophile à 22° C	UFC.100 mL-1	3.10 ⁷	1.10 ¹⁰	7.10 ⁵	6.10 ⁷

Légionelles, Spores de Bac. Ana., *Pseudomonas Aeruginosa*, Staphylocoques et phages ARN-F

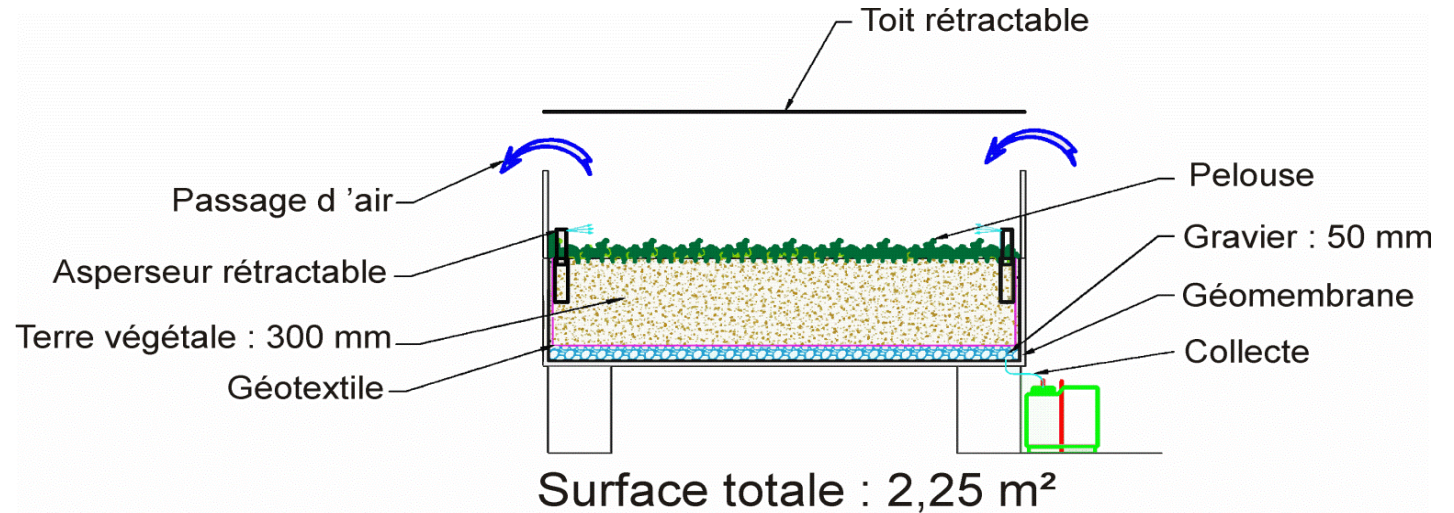
→ INFÉRIEUR À LA LIMITE DE DÉTECTION

**Nombreux organismes indicateurs de contamination
présents en sortie de traitement**

Matériels et méthodes

Description des parcelles expérimentales

Irrigation : 9 L.j⁻¹



Résultats

Qualité des percolats

Paramètre	Unité	Parcelle Eaux grises brutes		Parcelle Eaux grises traitées		Parcelle Eau Potable		ANOVA
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	P-value
Conductivité	μS.cm ⁻¹	748	1849	702	1145	678	974	0,008
Turbidité	NTU	13	36	12	18	6	12	0,0002
COD	mg C.L ⁻¹	33	170	33	103	21	70	0,0003
DCO	mg O ₂ .L ⁻¹	138	593	125	279	79	144	0,001
Tensioactifs anioniques	mg SABM.L ⁻¹	0,24	1,55	0,1	0,85	0,12	0,95	0,006
N _{tot}	mg N.L ⁻¹	<LD	14	<LD	9	<LD	12	0,013
NO ₂ ⁻	mg NO ₂ -N.L ⁻¹	0,039	0,142	0,046	0,060	0,022	0,033	0,040

Une différence significative est observée entre les trois parcelles

Résultats Test de Tuckey

Conductivité

Test de Tuckey

Parcelle irriguée par EGB	A	
Parcelle irriguée par EGT		B
Parcelle irriguée par eau potable		B

Turbidité

Test de Tuckey

Parcelle irriguée par EGB	A	
Parcelle irriguée par EGT		B
Parcelle irriguée par eau potable		B

COD

Test de Tuckey

Parcelle irriguée par EGB	A	
Parcelle irriguée par EGT		B
Parcelle irriguée par eau potable		B

Tensioactifs anioniques

Test de Tuckey

Parcelle irriguée par EGB	A	
Parcelle irriguée par EG traitée		B
Parcelle irriguée par eau potable		B

DCO

Test de Tuckey

Parcelle irriguée par EGB	A	
Parcelle irriguée par EGT		B
Parcelle irriguée par eau potable		B

N_{tot} et NO₂⁻

Test de Tuckey

Parcelle irriguée par EGB	A	
Parcelle irriguée par EGT	A	B
Parcelle irriguée par eau potable		B

La parcelle EGT et la parcelle EP sont statistiquement comparables

Résultats

Récoltes de la pelouse



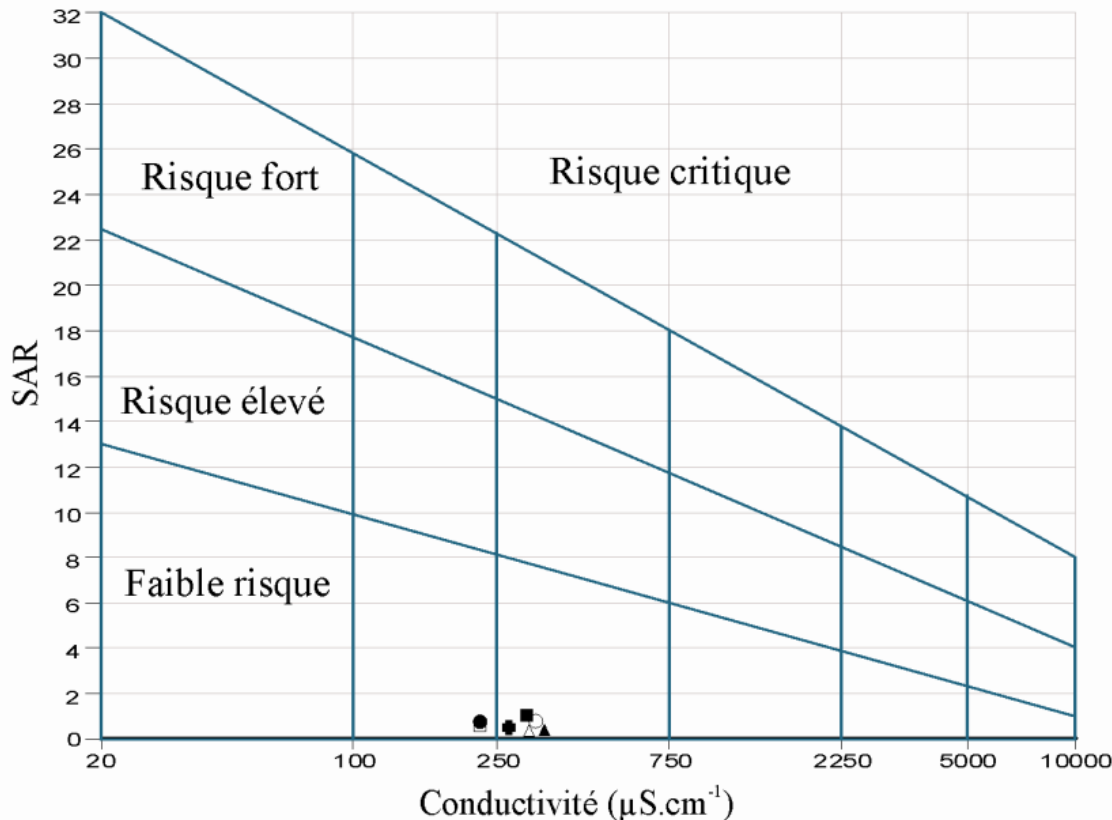
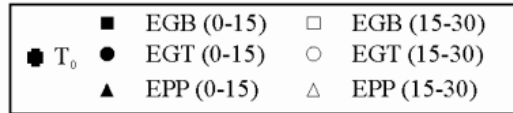
10 mois d'irrigation

**Taille manuelle de la
totalité des parcelles
(2,25 m²)**

4 tailles réalisées
31 Janvier
16 Avril
25 Avril
24 Mai

Type d'eau utilisé pour l'irrigation	Biomasse sèche (g) (n=4)	Biomasse supplémentaire par rapport à la parcelle eau potable (%)
Eaux grises brutes	276	+ 63
Eaux grises traitées	201	+ 19
Eau potable	169	-

L'utilisation d'eaux grises pour l'irrigation n'a pas d'impact négatif sur la croissance de la pelouse.



**Les propriétés perméables
du sol n'ont pas été
modifiées après les 10 mois
d'irrigation**

Sur le traitement des eaux grises par réacteurs à lit fluidisé

- > Étude hydrodynamique : lit fluidisé se comporte comme un réacteur idéal
- > Dégradation mise en évidence et validée statistiquement
- > Qualité des eaux grises traitées satisfaisante au regard de l'arrêté de 2010 pour MES et DCO

Sur l'impact de la réutilisation des eaux grises pour l'irrigation des espaces verts

- > Peu de différences observées entre les percolats issus de la parcelle eaux grises traitées et ceux issus de la parcelle eau potable
- > Les eaux grises traitées n'ont pas apporté de microorganismes sur la pelouse
- > L'utilisation des eaux grises a un impact positif sur la production végétale
- > Absence de dégradation de la qualité du sol sur la durée du suivi
- > L'utilisation d'eaux grises brutes pour l'irrigation d'espaces verts est à proscrire (forte contamination + forte nuisance olfactive lors de l'irrigation)



Contact : Gaëlle BULTEAU

Pôle Recherche et Expertise, AQUASIM

Division EAU

Direction Opérationnelle CAPE

CSTB Nantes

☎ 02 40 37 20 76

06 66 17 51 41

✉ gaelle.bulteau@cstb.fr

CSTB
le futur en construction

Tout comme les eaux de pluie, les eaux grises produites de manière régulière et en quantité importante, sont susceptibles d'être réutilisées après traitement, pour des usages ne nécessitant pas la qualité eau potable.

Objectif : approfondir les connaissances scientifiques et techniques dans le domaine de la réutilisation des eaux grises afin de sécuriser l'intégration de cette pratique à l'échelle du bâtiment (individuel ou collectif)

Les travaux de recherche visent tout particulièrement à :

- > dresser un **panorama international** (réglementations, procédés existants, retours d'expérience)
- > caractériser la **composition physico-chimique et microbiologique** des diverses sources d'eaux grises
- > mettre au point des **bancs expérimentaux** et des **protocoles de test** afin de qualifier l'efficacité de traitement des procédés et vérifier la fiabilité des technologies
- > **sécuriser l'intégration** dans les bâtiments (disconnexion, identification double réseau)
- > cerner les **risques** encourus (sanitaires, environnementaux)
- > optimiser les **aspects technico-économiques** (investissement, entretien/maintenance, consommation énergétique...)
- > appréhender l'**acceptabilité des usagers**