

Caractérisation et traitabilité par voie biologique des effluents domestiques selon leur source d'émission

Synthèse bibliographique

■ C. BOUTIN¹, C. EME²

Mots-clés : eaux usées domestiques, source d'émission, traitabilité biologique, urine, fèces, eaux ménagères
Keywords: domestic wastewater, end of pipe, biological treatment, urine, feces, grey water

Introduction

La caractérisation des effluents domestiques est un sujet important et récurrent. Selon les objectifs des études, différentes configurations peuvent être envisagées : s'il s'agit d'optimiser des procédés de traitement collectif destinés aux plus grandes collectivités, la connaissance des effluents réellement présents dans les réseaux de collecte est indispensable. *A contrario*, si l'on s'intéresse au cas de l'assainissement non collectif (ANC), qui s'applique à toutes pollutions collectées en réseaux privés (dont l'habitat diffus), la prise en compte des effluents réellement émis à l'échelle de l'habitation est incontournable. En revanche, la caractérisation des effluents domestiques émis à l'échelle de l'habitat fait face à des enjeux importants : la garantie de la prise en compte de la variabilité des usages et pratiques, leur variabilité temporelle et les difficultés techniques pour la réalisation de suivis sur site...

Pour autant, la connaissance des eaux usées domestiques dans leur gamme de variation permet d'optimiser le dimensionnement des unités de traitement dans un contexte réel. En parallèle d'études s'intéressant à la composition d'effluents domestiques issus de l'ANC, déjà de nouveaux questionnements apparaissent, notamment sur la caractérisation des

différentes contributions aux eaux usées domestiques. Dans un contexte d'émergence de projets s'intéressant à la valorisation sélective de ces différents produits, l'évaluation des ordres de grandeur de la qualité et de la quantité de chacune des sources d'émission semble nécessaire.

Fondé sur une étude bibliographique [EME et BOUTIN, 2015], cet article propose, dans un premier temps, une classification des eaux usées domestiques par source d'émission puis un descriptif des méthodes mises en œuvre pour déterminer la composition de ces effluents. Dans un second temps, la caractérisation de chacune des contributions aux effluents domestiques est présentée et discutée. À titre indicatif, leur cumul est comparé aux caractéristiques des eaux usées domestiques actuellement connues pour les petites collectivités [MERCOIRET, 2010]. Dans un troisième temps, le potentiel de biodégradabilité de ces effluents est analysé et des éléments pour appréhender leur aptitude face au traitement biologique sont proposés.

1. Les sources d'émission d'effluents à l'échelle de l'habitat

1.1. Classification des eaux usées domestiques

1.1.1. Termes et définitions préalables

À l'échelle de l'habitat, les sources d'émission sont historiquement classées entre les eaux vannes, les eaux résultant de la contribution des excréments, papier toilette, eau de chasse et autres déversements accidentels et les eaux ménagères représentées par les

¹ Irstea - UR MAEP - équipe Traitement des eaux usées (Epure) - BP 32108 - 5, rue de la Doua - 69616 Villeurbanne cedex.

² CreaPure - Oxalis SCOP - 603, boulevard du Président-Wilson - 73100 Aix-les-Bains.

eaux usées domestiques collectées à l'exclusion des eaux de toilettes et d'urinoirs (glossaire de termes techniques des eaux résiduaires NF EN 16323 [2014]).

La classification suivante (figure 1) offre d'avantages de précisions sur les sources potentielles d'émission de l'habitat :

- les eaux vannes sont composées d'eaux jaunes (urine et eau de chasse), d'eaux brunes (matières fécales, papier toilette et eau de chasse) pour des toilettes à séparation ou d'un mélange d'eaux jaunes et d'eaux brunes pour des toilettes à chasse d'eau conventionnelle. Des déversements accidentels liés aux activités de nettoyage ou à d'autres usages, peuvent contribuer également aux eaux vannes ;
- les eaux ménagères composées d'effluents issus d'activités liées à l'alimentation et au nettoyage (eaux de cuisine, de lave-vaisselle et de machine à laver) et d'effluents liés aux activités d'hygiène corporelle (eaux de salle de bains : douche, baignoire et lavabos).

Le terme « eaux grises » est parfois utilisé pour désigner les eaux ménagères, traduction de l'anglais « greywater ». Par convention, il est proposé de retenir le terme « eaux ménagères ».

Il est observé que l'usage du terme « eaux ménagères » est souvent hétérogène et implique une confusion dans la qualité de l'effluent réellement considéré comme le rapporte YU et coll. [2013] dans une étude comparative des réglementations des États des États-Unis. Une vigilance est ainsi nécessaire. Il est remarqué que les eaux souillées par l'hygiène corporelle sont toujours comptabilisées ; en revanche, les eaux issues de l'évier de cuisine et/ou de lave-linge peuvent

être exclues soit partiellement soit totalement des eaux ménagères. Dans l'étude bibliographique résumée ici, plus de la moitié des publications considérées traitent des eaux ménagères issues de salle de bains et un tiers des articles recensés n'offre pas de précisions sur les installations suivies ; ils seront dénommés « mélange d'eaux ménagères ». Rares sont les études s'intéressant aux effluents de cuisine.

1.1.2. Les techniques de prélèvement

Les techniques de prélèvement d'effluents à l'échelle de l'habitat peuvent être fastidieuses [DUBOIS et BOUTIN, 2014 ; CAUCHI *et al.*, 2012a] avec un accès souvent limité aux installations. De plus, l'enjeu principal de ces prélèvements est d'assurer une représentativité de l'échantillon sur 24 heures et par rejet spécifique (excreta, papier toilette, machine à laver, bain...).

Pour les eaux vannes, le prélèvement s'effectue généralement par dérivation des eaux usées issues des toilettes classiques. Pour les eaux jaunes et eaux brunes, le prélèvement est réalisé en aval d'installations équipées de toilettes sèches à dérivation d'urine. Les toilettes à séparation sont généralement constituées de deux bols de collecte : l'un pour la collecte de l'urine et l'autre pour les matières fécales et papier toilette [TOILETTES DU MONDE, 2010 ; LANOË, 2009].

Pour les eaux ménagères, une dérivation des eaux ménagères soit totale, soit partielle par source d'émission spécifique (lavabo, machine à laver...), peut être réalisée *in situ*. Des adaptations techniques de certains équipements (équipements pouvant être bouchés : lavabo, baignoire...) peuvent être nécessaires pour faciliter le suivi expérimental des installations. Pour le suivi quantitatif, la mise en place de capteurs spécifiques sur les canalisations d'eau potable permet un suivi précis de la production d'eau potable. Ces capteurs sont désormais associés à des logiciels de reconnaissance des signaux de consommation pour discriminer les différents usages [MORRISON et FRIEDLER, 2014]. En l'absence de capteurs, le suivi des débits peut être complexe, impliquant la mise en place de questionnaires ou suivis par webcam des usages couplés au tarage des équipements.



Figure 1. Classification des eaux usées domestiques par source d'émission

1.2. Méthodes

1.2.1. Enjeux de la représentativité des données

Comparé à un effluent domestique issu de l'assainissement collectif dont le prélèvement est réalisé dans le réseau de collecte, l'effluent issu de l'ANC présente une composition physico-chimique spécifique aux pratiques exercées dans le logement considéré. Ainsi, la variabilité de la composition des effluents domestiques est importante [CAUCHI et VIGNOLES, 2012b ; DUBOIS et BOUTIN, 2014]. Cette hétérogénéité de qualité trouve son origine dans les usages et pratiques des habitant(e)s, mais aussi dans le type d'équipement installé dont les variations sont à la fois :

- géographiques avec des différences climatiques et une variabilité culturelle ;
- temporelles avec des pratiques pouvant réagir avec l'évolution des ménages et des produits mis en vente sur le marché ;
- sociales avec une variabilité dans les pratiques mais aussi dans la composition des ménages.

De ce fait, la caractérisation des effluents domestiques à l'échelle nationale implique la garantie d'un échantillon moyen, représentatif. La mise en œuvre d'un nombre important de suivis *in situ* est incontournable. Pour cette raison, définir la composition moyenne d'effluents domestiques relève de suivis expérimentaux fastidieux qui engagent des frais analytiques et des temps de suivi importants. À l'échelle française, seules de rares études se sont intéressées à cette problématique [CERSOAF, 1976, 1978 ; AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE 1980 ; DUBOIS et BOUTIN, 2014]. Les résultats présentés ci-dessous sont issus d'une étude bibliographique [EME et BOUTIN, 2015] recensant les données des pays issus de la zone ouest-européenne pour se rapprocher du plus près du contexte français métropolitain et dresser un premier ordre de grandeur de la composition de ces effluents. Elles ont été publiées entre 1968 et 2015.

1.2.2. Enjeux des unités et descriptions des sources qualifiées

Les données sont présentées en masse ou en volume émis quotidiennement par personne. Une personne

représente un habitant ou résident présent 24 heures dans le logement.

Pour certains auteurs, les données publiées correspondent exactement aux données brutes mesurées ; ce sont les cas des études agronomiques ou médicales, pour la caractérisation des excréta humains, où les données collectées représentent souvent les émissions journalières.

Pour d'autres auteurs, les données publiées diffèrent des données brutes acquises, car elles sont dépendantes des conditions de suivi. Dans le cas de suivi sur site, les données brutes peuvent être associées à un temps de présence moyen des habitants et à la composition du foyer (présence d'enfants...) alors que les données publiées seront exprimées par jour et par habitant. Pour certaines études, ces informations ne sont pas renseignées. Dans la réalité, rares sont les publications détaillant l'ensemble de leurs données et le détail des calculs les modifiant.

À travers la littérature, plusieurs niveaux de corrections des données sont observés :

- intégration ou non du temps de présence des habitants ;
- intégration ou non du fond géochimique de l'eau de distribution ;
- différenciation de la contribution entre enfants et adultes (notamment pour les eaux vannes) ;
- contribution des urines ayant rejoint le bol de collecte des fèces, pour des installations à séparation ;
- qualité de l'urine à l'excrétion ou qualité de l'urine stockée.

Répondre à l'ensemble de ces informations pour chacune des études considérées reste impossible faute de détails des données. Pour autant, dès que des éléments sont précisés, ils sont pris en compte et intégrés.

La majorité des auteurs ont émis des suppositions pour reconstituer les données journalières : pour les eaux vannes, il est supposé que les émissions d'excreta répondent à une distribution homogène dans une journée : une extrapolation linéaire des données est ainsi réalisée. Pour les installations à dérivation d'urine, des suivis ont mis en évidence que 22 % des mictions urinaires rejoignaient le bol de collecte des fèces [VINNERÅS *et al.*, 2006]. Cette estimation reste néanmoins dépendante de l'équipement. En conséquence, dans ces cas, un ajustement

a été réalisé par les auteurs pour affiner les charges réellement émises pour chacune des contributions. Une différenciation de la qualité de l'urine fraîchement excrétée et de l'urine stockée est réalisée. Dans cet article, seule la qualité de l'urine stockée appelée « urine hydrolysée » est présentée. Des suivis de la qualité des excréta entre adulte et enfants ont été réalisés [ALMEIDA *et al.*, 1999].

Le fond géochimique des eaux vannes n'est pas pris en compte dans l'étude bibliographique, car il est le plus souvent absent des études s'intéressant à la caractérisation des excréta.

Pour les eaux ménagères, il est admis que les activités à l'origine de leur production s'exercent en priorité dans le logement malgré des temps de présence des usagers variables. Ainsi, les valeurs mesurées sur site correspondent aux valeurs journalières.

1.2.3. Tri des données

L'étude bibliographique traite la littérature s'intéressant à la caractérisation d'une ou plusieurs sources d'émission d'eaux usées domestiques dans la zone ouest-européenne. Seules les données caractérisant les émissions domestiques strictes ont été considérées. Des jeux de données concernant chacune des contributions ont été évalués. En ressortent différents niveaux de lecture : les jeux de données s'intéressant aux eaux vannes et eaux ménagères et les jeux de données concernant chacune des contributions.

L'analyse bibliographique considère des valeurs moyennes ainsi que des gammes d'amplitude de variation. Les amplitudes de variation présentées s'appuient sur l'ensemble des articles retenus après l'analyse critique mentionnée précédemment ; les valeurs moyennes présentées sont calculées uniquement à partir de valeurs moyennes d'ores et déjà publiées.

2. Caractérisation des effluents domestiques par source d'émission

Les données bibliographiques recensées ont permis de caractériser l'ensemble des sources d'émission préalablement décrites. Un travail de reconstitution a été réalisé pour les eaux vannes et pour les eaux ménagères d'une part, puis pour les eaux usées domestiques d'autre part.

2.1. Les eaux vannes

2.1.1. Volumes générés

La classification des eaux vannes est décrite par la figure 2. Que les installations disposent de toilettes à chasses d'eau classiques ou de toilettes à séparation, les volumes générés par les eaux vannes sont en étroite corrélation avec l'équipement de chasses d'eau installé. En moyenne, en France, il est considéré que les volumes de chasses d'eau émis quotidiennement par personne sont d'environ 54 litres (pour six utilisations par jour d'une chasse d'eau de 9 litres). Les taux de dilution des excréta dans les eaux vannes peuvent varier entre 1:18 à 1:72 selon le type de chasses d'eau (double flux ou conventionnel). Pour des installations de toilettes à séparation, les taux de dilution sont compris entre 1:5 à 1:15.

2.1.2. Contribution de chacune des sources d'émission

La contribution de chacune des sources d'émission des eaux vannes, à l'exclusion des rejets « accidentels » dus aux activités d'entretien des toilettes (difficilement

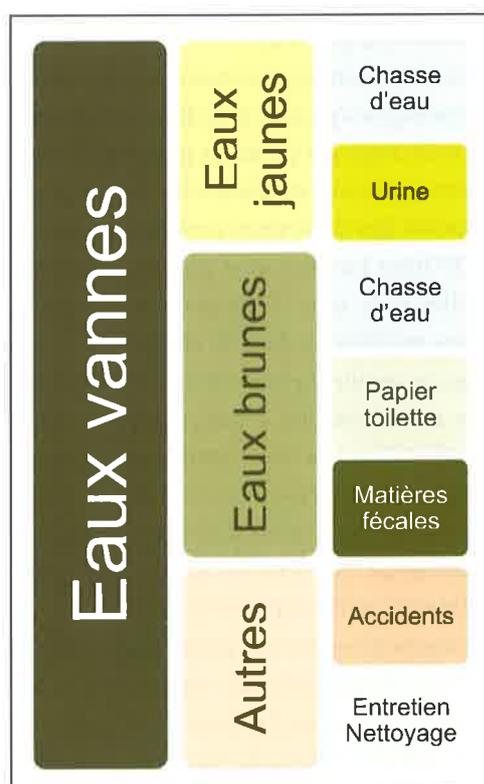


Figure 2. Classification des eaux vannes par source d'émission

quantifiables), est décrite dans la *figure 3*. En lien avec l'instabilité physico-chimique de l'urine fraîchement excrétée, une différence de qualité entre l'urine fraîche et l'urine en sortie de canalisation ou de l'urine stockée est observée [EME et BOUTIN, 2015]. Par convention et du fait de la rapidité de ces réactions, seule la qualité de l'urine hydrolysée est présentée.

Il ressort que plus de 80 % de la pollution carbonée et organique est associée aux matières fécales et papier toilette. Le papier toilette est responsable de presque la moitié des matières en suspension (MES) émise dans les eaux vannes, de 29 % de la demande biochimique en oxygène (DBO₅) et 36 % de la demande chimique en oxygène (DCO). L'urine est la source d'émission principale de nutriments en contribuant à hauteur de 83 % de l'azote total, 45 % du phosphore total, 69 % du potassium et 80 % du soufre présents dans les eaux vannes.

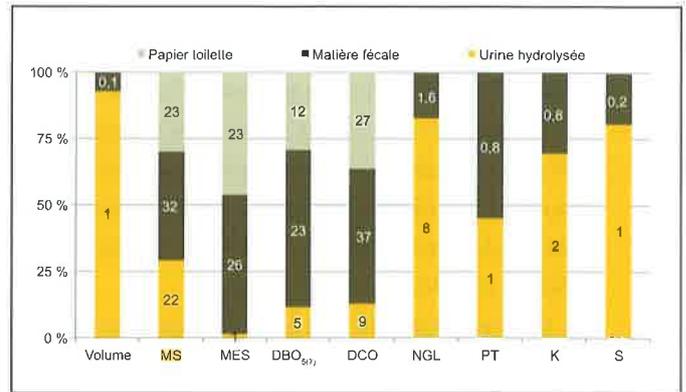
Les données chiffrées inscrites dans chaque pavé de la *figure 3* s'expriment en litres (pour le volume) et grammes (pour les autres paramètres) émis par personne par jour (d'une durée de 24 heures).

2.2. Les eaux ménagères

2.2.1. Volumes générés

Sur la base des données recensées, le volume moyen d'eaux ménagères produit à l'échelle domestique est d'environ 86 litres par personne par jour (23 données considérées avec une médiane à 84 litres). La gamme de variation des moyennes recensées oscille entre 44 et 126 litres par personne par jour. Les pratiques culturelles et le type d'équipement installé, ainsi que leurs évolutions dans le temps (les dates des publications oscillent entre 1968 et 2015) expliquent en partie cette variabilité. Il faut pour autant conserver un regard critique sur les échantillons de population considérés dans ces études et notamment sur la présence de nombreux suivis d'écosites ou écovillages expérimentaux [JÖNSSON *et al.*, 1997, 2005 ; KIRCHMANN et PETTERSSON, 1995].

À ces valeurs moyennes, il paraît important d'indiquer l'ordre de grandeur des variations de volumes émis quotidiennement. Les jeux de données retenus n'offrent que très rarement l'accès à l'ensemble des données pour les études françaises [CERSOAF, 1978], on observe des amplitudes de variations des volumes



Volume équivalent au volume généré sans prise en compte des chasses d'eau
Valeurs exprimées en L/pers/j pour le volume et en g/pers/j pour les autres paramètres
Figure 3. Composition des eaux vannes, résultats exprimés en charges

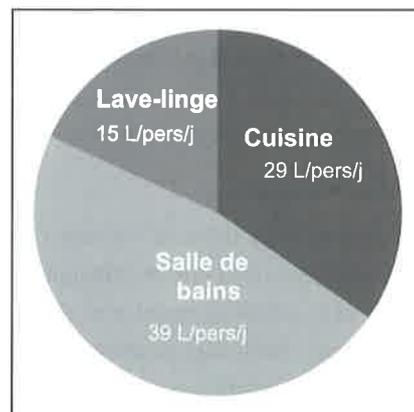


Figure 4. Répartition des volumes d'eaux ménagères produits à l'échelle domestique par poste de production

d'eaux ménagères produits de l'ordre de 3 à 4,5 (amplitude entre minimum et maximum).

À l'échelle des usages domestiques, les volumes d'effluents issus de la cuisine, du lave-linge ou de la salle de bains sont respectivement de 29, 15 et 39 litres émis par personne et par jour (échantillon de 23 données par source d'émission). La somme de chacune de ces contributions (83 litres par personne et par jour) confirme l'ordre de grandeur de la production moyenne d'eaux ménagères domestiques présentées malgré la différence de jeux de données. Ainsi, en moyenne, la moitié de la production d'eaux ménagères est associée aux activités d'hygiène corporelle et l'autre moitié, aux activités d'alimentation et de nettoyage, dont environ 30 % sont dédiés aux effluents de cuisine et 20 % aux effluents de lave-linge (*figure 4*). La cuisine est le poste de production d'eaux ménagères dont les volumes sont les plus variables, cette information reflète la diversité des usages dans ce lieu.

2.2.2. Composition des eaux ménagères

Le *tableau I* présente les concentrations moyennes des eaux ménagères à partir des données recensées (correspondant aux moyennes des données moyennes) et complétées des gammes de variation associées (correspondant aux minimums et maximums des jeux de données). Pour rappel, la majorité des données sont issues d'eaux ménagères collectées depuis la salle de bains et à partir d'eaux ménagères domestiques dont l'origine n'est pas précisée.

La qualité des eaux ménagères présente une grande variabilité : la diversité des usages à l'origine de la production d'eaux ménagères semble être illustrée par ces valeurs. Le pH moyen est proche de 7,5. Les eaux ménagères sont faiblement chargées en matières

Source	Eaux ménagères					Unité
	Données recensées ^a		Gamme de variation ^b			
	Moy.	Nb valeur	Min.		Max.	
pH	7,5	(23)	6,1	-	9,6	-
CE	561	(11)	65	-	3 000	µS/cm
Turbidité	69	(18)	5	-	462	NTU
MS	582	(7)	44	-	879	mg/L
MES	89	(20)	20	-	361	mg/L
DBO ₅	221	(27)	20	-	756	mgO ₂ /L
DCO	362	(29)	25	-	1 583	mgO ₂ /L
COT	99	(10)	10	-	600	mgO ₂ /L
NGL	14	(17)	3	-	75	mg/L
N _{orga}	7	(1)	7	-	7	mg/L
NNH ₄	3	(2)	1	-	13	mg/L
NNO ₃	3	(11)	0	-	10	mg/L
NK	1	(9)	0	-	27	mg/L
PT	4	(10)	0	-	11	mg/L
PPO ₄	12	(15)	0	-	101	mg/L
K	9	(1)	5	-	23	mg/L
S	72	(1)	18	-	72	mg/L
Tensioactifs	13	(5)	0	-	118	mg/L

^aMoyenne des moyennes des données bibliographiques recensées ; ^bminimum et maximum de l'ensemble des données recensées.

Tableau I. Composition des eaux ménagères, résultats exprimés en concentration

Source	Eaux usées domestiques				
	Petit collectif	Gamme de variation			Unité
		Moy.	Min.	Max.	
MES	288	53	-	696	mg/L
DBO ₅	265	39	-	570	mgO ₂ /L
DCO	646	122	-	1 341	
NGL	73	20	-	123	mg/L
PT	9	2	-	18	

Tableau II. Qualité des eaux usées domestiques issues du petit collectif [Mercoiret, 2010]

en suspension avec un rapport MES/MS moyen de 19 %. Les concentrations moyennes sont faibles comparées aux eaux usées domestiques issues des réseaux collectifs des petites collectivités (*tableau II*). Pour autant, la pollution carbonée des eaux ménagères peut être importante si l'on se réfère aux bornes supérieures des gammes de variations.

Comparées à celles des eaux vannes, les concentrations en composés azotés sont, sans surprise, globalement plus faibles pour les eaux ménagères ; l'azote, très souvent associé à la présence d'urine, se confirme. La présence de phosphore dans les eaux ménagères, quant à elle, est attribuée à l'utilisation de lessives phosphatées et aux détergents de lave-vaisselle pour les eaux de cuisine. La contribution des détergents textiles est désormais considérée comme nulle depuis leur interdiction à l'échelle domestique en 2007 en France (décret n° 2007-491 du 29 mars 2007). Les tensioactifs constituent l'une des caractéristiques des eaux ménagères.

Des mesures d'huiles et graisses sont disponibles dans la littérature. Pour autant, en l'absence de protocoles détaillés associés à ces valeurs, aucun traitement de données n'a été engagé sur ce paramètre qui, par ailleurs, pourrait constituer un élément essentiel dans la caractérisation des eaux ménagères.

2.2.3. Contribution par sources d'émission

L'analyse de la composition moyenne de chacune des sources d'émission des eaux ménagères met en lumière une différence de composition (*figure 5*). Du fait de la taille restreinte des jeux de données disponibles pour caractériser les effluents de cuisine et de

lave-linge, l'interprétation doit être conduite avec prudence. Les grandes tendances sont les suivantes :

- la phase dissoute est dominante pour l'ensemble des trois sources d'émission ;

- les concentrations en matières particulaires (MES) et organiques (interprétées depuis DCO et DBO_5) des eaux de salle de bains sont plus faibles que pour les autres effluents ;

- les eaux issues de la cuisine semblent plus chargées en matières particulaires et matières organiques facilement biodégradables.

D'autres données [EME et BOUTIN, 2015] valident la présence de tensioactifs dans l'ensemble des sources d'émission. Les effluents de lave-linge présentent le pH le plus alcalin et les concentrations en phosphore les plus élevées. Ces effluents contiennent essentiellement des lessives, détergents et fibres textiles accompagnés plus occasionnellement de salissures de vêtements.

La différence de qualité entre les sources d'émission des eaux ménagères est schématisée par la figure 6, illustrant les faibles concentrations des effluents de salle de bains, puis de lave-linge et les fortes concentrations des effluents issus de la cuisine.

La concentration importante des eaux de cuisine est généralement associée à la présence de graisses, d'huiles et de résidus alimentaires. La variabilité de qualité des effluents issus d'éviers de cuisine est souvent considérée comme forte, en lien avec l'hétérogénéité des usages pratiqués.

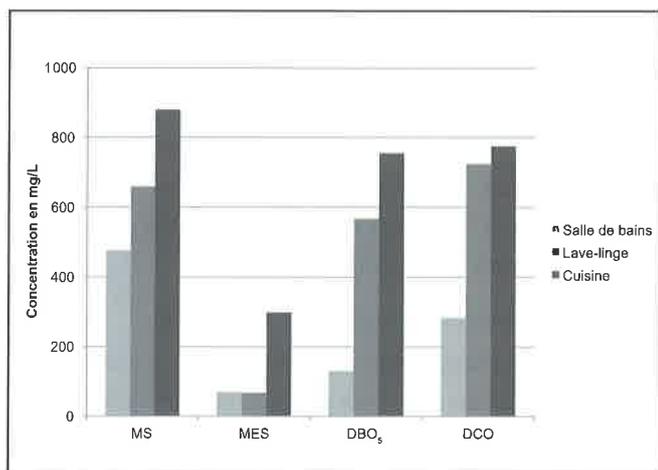


Figure 5. Composition des eaux ménagères par source d'émission, résultats exprimés en concentration



Figure 6. Classification de la composition des eaux ménagères par source d'émission en fonction de leur concentration

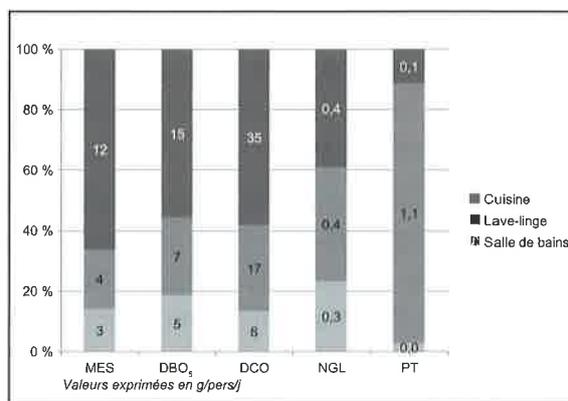


Figure 7. Répartition des charges émises par source d'émission dans les eaux ménagères

Les eaux de salle de bains peuvent contenir des cheveux, des peaux mortes et parfois de l'urine (et fèces) accompagnés de produits cosmétiques, shampoings et produits ménagers.

La répartition des charges émises par les différentes sources d'émission des eaux ménagères est illustrée par la figure 7. Ces charges confirment les tendances exposées ci-dessus pour les concentrations.

Les données chiffrées inscrites dans chaque pavé de la figure 7 s'expriment en grammes émis par personne par jour (d'une durée de 24 heures).

Sur la base de la classification des postes de production d'eaux ménagères (figure 8), les eaux issues des éviers de cuisine et lave-linge sont classées en « eaux ménagères provenant de l'alimentation et du nettoyage » et les eaux issues de la salle de bains (lavabo, douche et/ou bain) en « eaux ménagères liées aux activités corporelles ». Ainsi, les eaux en lien avec les activités d'alimentation et nettoyage contribuent à plus de 80 % à la charge polluante émise par les eaux ménagères pour les paramètres principaux (MES, DBO_5 , DCO, N, P). L'hygiène corporelle, premier poste en volume de production d'eaux ménagères avec presque 50 % du volume émis, représente à peine 25 % de la pollution générée exprimée avec les paramètres MES, DBO_5 et nutriments.

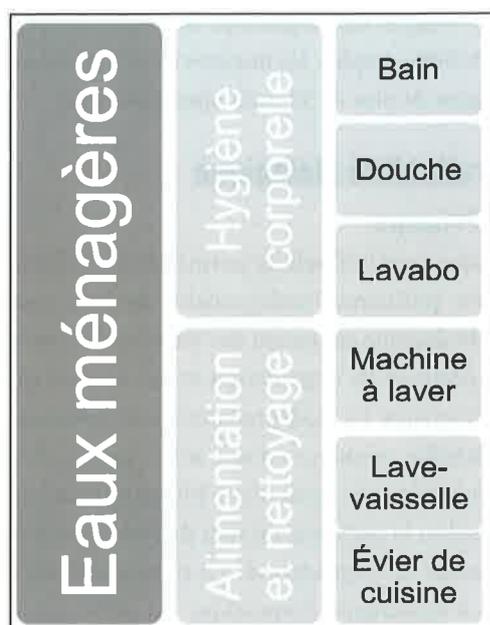


Figure 8. Classification des postes de production d'eaux ménagères

2.3. Reconstitution de la composition des eaux usées domestiques

À partir de la caractérisation de chacune des contributions des eaux usées domestiques, un exercice de reconstitution de la qualité globale est réalisé dans le but de comparer ces données aux valeurs de qualité des eaux usées domestiques des petites collectivités en assainissement collectif et de vérifier la cohérence des jeux de données collectés.

Pour rappel, les données caractérisant les eaux vannes ne prennent pas en compte le fond géochimique des

eaux de chasses d'eau ni la contribution des déversements accidentels, difficilement quantifiables. Les données sont équivalentes à la production d'une personne présente à plein-temps (24 heures) dans son logement. Une extrapolation linéaire des excréments est ainsi réalisée et il est supposé que l'ensemble des tâches domestiques à l'origine de la production d'eaux ménagères sont réalisées dans l'habitation.

Le tableau III présente la reconstitution des eaux usées domestiques par la somme des données de chacune des contributions. Sont également présentées, à titre indicatif, les données issues de l'assainissement collectif des petites collectivités [MERCOIRET, 2010] sur la base d'une pollution émise par 1 équivalent-habitant (EH) rejetant, par définition, 60 g de DBO₅. Globalement, les ordres de grandeur des charges polluantes émises par 1 EH sont respectés. Plus en détail, la charge de pollution domestique ainsi reconstituée semble être légèrement plus faible pour les paramètres DCO, MES et azote global (avec respectivement une différence de 7 %, 15 % et 30 %) que les valeurs généralement admises. Pour le phosphore et la DBO₅, les valeurs sont légèrement plus élevées avec une différence respective de 30 % et 8 %. Les écarts les plus notables concernent les nutriments.

La figure 9 illustre la répartition des charges hydrauliques et organiques au travers des différentes contributions aux eaux usées domestiques. Les charges hydrauliques des eaux ménagères contribuent à plus

Paramètre	Eaux vannes ^a			Eaux ménagères ^a				Eaux usées domestiques		Unité
	Urine hydrolysée	Matière fécale	Papier toilette	Hygiène corporelle	Alimentation et nettoyage			Somme des contributions (a)	Référence petit collectif (b)	
MES	Moy. Nb. val. moy.	1 2	26 2	23	3 3	15 6		67	72	g/pers./j
	(min. - max.)	(1 - 72)	(19 - 60)		(1 - 7)	(2 - 73)				
DBO₅₍₇₎	Moy. Nb. val. moy.	5 6	23 1	12	5 4	21 8		65	60	g/pers./j
	(min. - max.)	(2 - 10)	(14 - 34)		(1 - 12)	(4 - 134)				
DCO	Moy. Nb. val. moy.	9 2	37 2	27	8 4	52 6		133	157	g/pers./j
	(min. - max.)	(5 - 24)	(26 - 63)		(1 - 31)	(14 - 286)				
NGL	Moy. Nb. val. moy.	7,7 8	1,6 5	0,0	0,3 3	0,8 6		10,4	15,5	g/pers./j
	(min. - max.)	(3,6 - 16,0)	(0,3 - 4,2)		(0,0 - 1,4)	(0,3 - 2,7)				
PT	Moy. Nb. val. moy.	0,6 8	0,8 5	0,0	0,0 2	1,2 4		2,6	2,1	g/pers./j
	(min. - max.)	(0,4 - 2,5)	(0,3 - 1,7)		(0,0 - 0,7)	(0,8 - 12,8)				

(a) Eme et Boutin [2015] ; (b) à partir de Mercoiret [2010] sur la base d'une pollution exprimée en DBO₅ d'un EH (égal à 60 g/j).

N.B. : Les moyennes correspondent aux moyennes des moyennes des données bibliographiques recensées et les gammes de variation aux minimum et maximum des données bibliographiques.

Tableau III. Reconstitution de la qualité des eaux usées domestiques à partir de la qualité de chacune des contributions

de deux tiers des charges des eaux usées domestiques dans leur ensemble dans le cas de logement disposant de toilettes classiques. Un tiers des volumes émis est attribué aux eaux vannes.

La pollution particulaire représentée par les matières en suspension est émise à plus de 70 % par le mélange de fèces et papier toilette ; environ 20 % est attribué aux activités en lien avec l'alimentation (cuisine) et le nettoyage (ménage et lave-linge).

La pollution carbonée trouve également son origine dans le mélange de matières fécales et papier toilette (52 % de la DBO₅ et 48 % de la DCO) et dans les activités alimentaire et de nettoyage (33 % de la DBO₅ et 39 % de la DCO).

Les activités d'hygiène corporelle, dont les effluents sont émis dans la salle de bains, contribuent largement aux volumes des eaux ménagères (33 % pour le cas de toilette à chasses d'eau) ; en revanche, ces contributions deviennent très faibles vis-à-vis de la charge organique globale caractérisée à partir des matières particulaires, de la pollution carbonée ou des nutriments (inférieures à 8 % pour l'ensemble des paramètres).

L'azote présent dans les eaux usées domestiques est émis à plus de 70 % par les urines avec environ 15 % de contribution des matières fécales et 8 % des effluents de cuisine et de lave-linge réunis.

Le phosphore semble trouver son origine dans les effluents de buanderie par la présence de lessives phosphatées ou autres détergents, qui sont désormais en large régression depuis leur interdiction à l'échelle domestique en 2007 en France (décret n° 2007-491 du 29 mars

2007). Malgré cette importante contribution constatée dans la bibliographie, les matières fécales et urines sont à l'origine de plus de 50 % du phosphore total.

3. Traitabilité biologique

3.1. Principe

Le traitement biologique permet de transformer la matière polluante biodégradable de l'eau usée en boue biologique contenant des micro-organismes, des sous-produits de dégradation et des déchets inertes ou réfractaires. La biodégradation peut s'effectuer par voie aérobie, anoxique ou anaérobie. La classification des procédés de traitement biologique se réalise ainsi selon la présence ou non de l'oxygène lors des processus de dégradation. Le traitement des eaux usées à dominante domestique est principalement effectué par voie aérobie [BEHRA, 2013].

L'étude bibliographique a permis de caractériser les effluents domestiques par source d'émission ; la question de leur traitabilité biologique, dès l'émission, avant leur mélange est posée ; elle est analysée sur la base de ces éléments bibliographiques.

En général, la traitabilité biologique d'un effluent est évaluée à partir :

- de l'estimation de la biodégradabilité des matières organiques présentes dans l'effluent ;
- de la disponibilité des nutriments pour la croissance bactérienne nécessaire au traitement biologique.

3.2. Biodégradabilité

Généralement, la biodégradabilité d'un effluent peut être abordée par la caractérisation biochimique de la matière organique des effluents en glucides, lipides, protéines ou acides humiques [GORINI *et al.*, 2010] ou par fractionnement de la matière organique en classe de biodégradabilité [GILLOT et CHOUBERT, 2010]. Ces données n'étant que très rarement disponibles dans les références bibliographiques, il a fallu revenir à une méthodologie, moins précise bien que très courante, basée sur les données de DBO₅ et DCO. Le rapport DCO/DBO₅ permet toutefois de renseigner sur le potentiel de biodégradabilité des effluents en évaluant la capacité des matières organiques présentes dans les effluents (DCO) à être facilement biodégradées (DBO₅). Plus le rapport DCO/DBO₅ est élevé, plus l'effluent est difficilement biodégradable

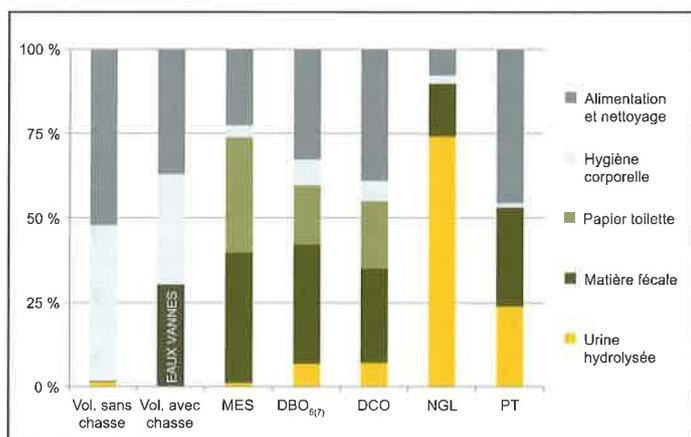


Figure 9. Répartition des charges entre les différentes contributions aux eaux usées domestiques

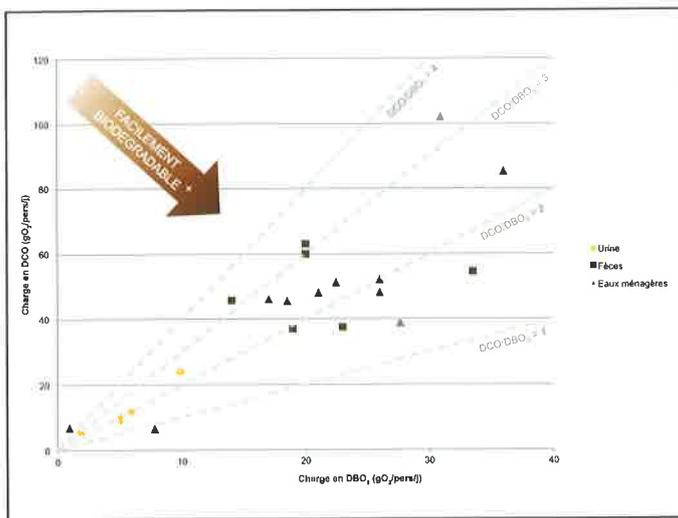


Figure 10. Potentiel de biodégradabilité des eaux usées domestiques par source d'émission

et inversement. Le rapport DCO/DBO₅ moyen des eaux usées domestiques est de 2,6 [MERCOIRET, 2010]. La figure 10 présente les rapports DCO/DBO₅ selon les sources d'émission d'effluents domestiques.

L'absence de jeux de données complets dans les articles recensés impose de ne considérer que les valeurs minimales, moyennes et maximales. Les rapports DCO/DBO₅ oscillent entre 1,70 et 3,05 pour l'urine ; 1,63 et 3,26 pour les matières fécales et 0,87 et 7,00 pour les eaux ménagères avec une moyenne de 2,26 pour les urines, 2,44 pour les fèces et de 2,54 pour les eaux ménagères.

Une forte dispersion des données est observée notamment pour les eaux ménagères. La diversité et la variabilité journalière des usages responsables de l'émission d'eaux ménagères expliquent la variabilité de la biodégradabilité de la matière organique de cet effluent.

Dans la pratique, la collecte sélective des matières fécales est généralement accompagnée de la collecte du papier toilette. JÖNSSON et coll. [2005] proposent un rapport DCO/DBO₅ pour les fèces et papier toilette de 1,88. Le papier toilette, par son apport important de matière carbonée sous forme de fibre cellulosique, semble favoriser la biodégradabilité des matières organiques présentes dans les eaux brunes.

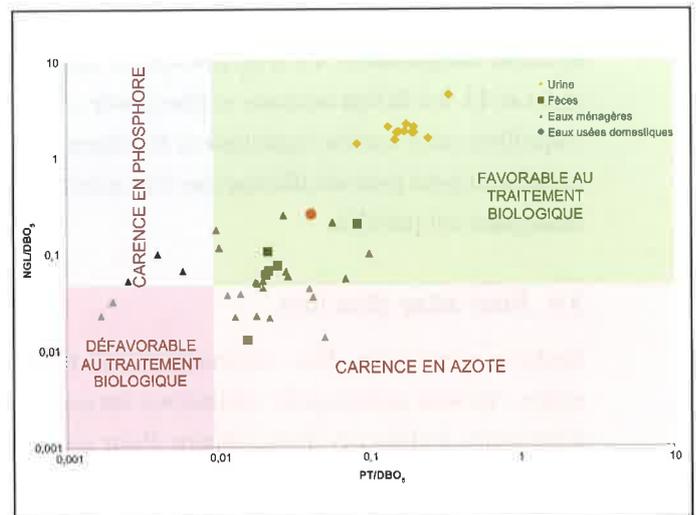


Figure 11. Équilibre nutritionnel des effluents domestiques par source d'émission

Il ressort que les matières organiques contenues soit dans les urines, soit dans les fèces semblent plus facilement biodégradables que celles contenues les eaux ménagères.

3.3. Aptitude face au traitement biologique

La croissance de micro-organismes responsables du traitement biologique (autotrophes et hétérotrophes) est fonction des conditions physico-chimiques du milieu réactionnel et implique que les besoins nutritifs des bactéries soient satisfaits. D'après METCALF et EDDY [1991], l'équilibre nutritionnel nécessaire au traitement biologique, illustré par le rapport DBO₅:N:P, est de 100:5:1. La figure 11 schématise l'équilibre nutritionnel des effluents identifiés dans l'étude bibliographique [EME et BOUTIN, 2015]. Cet équilibre est comparé à celui issu des valeurs moyennes des effluents domestiques des petites collectivités en assainissement collectif [MERCOIRET, 2010], représentées par un point rouge.

La figure 11 met en valeur que les urines sont des effluents propices au traitement biologique. Les matières fécales sont en majorité favorables au traitement biologique ; néanmoins une des valeurs, la valeur minimale d'un jeu de données, présente une carence en azote.

Pour les eaux ménagères, une dispersion importante des données est constatée ; 70 % d'entre elles présen-

tent une carence en nutriments dont 48 % carencées en azote uniquement, 11 % en phosphore uniquement et 11 % à la fois en azote et phosphore. Ainsi, l'équilibre entre matière organique et nutriments est insuffisant pour pouvoir affirmer que leur traitement biologique est possible.

3.4. Pour aller plus loin

Seuls les paramètres dits « courants » sont disponibles ; ils sont utilisés pour caractériser les sources d'émission d'effluents domestiques. Pour autant, l'évaluation du potentiel de traitabilité biologique d'un effluent peut se réaliser à partir d'autres paramètres qui permettent, en outre, d'affiner cette première approche et d'adapter les réacteurs biologiques à des besoins spécifiques [CHOUBERT *et al.*, 2010]. Les outils actuels de modélisation des procédés biologiques pour le dimensionnement et l'optimisation du fonctionnement des stations de traitement des eaux usées sont basés sur la caractérisation de la matière organique présente dans les effluents et dans le bioréacteur. Ainsi, pour affiner le potentiel de traitabilité de ces effluents, le recours à une caractérisation plus fine de la matière organique semble incontournable avec, notamment, des mesures de DBO_{ultime} et du talon réfractaire des effluents [GIS BIOSTEP, 2012]. Et pour satisfaire les données d'entrée des modèles de simulation numérique, un fractionnement de la matière organique serait nécessaire

Conclusion

L'évaluation de la qualité des eaux usées domestiques en différenciant chacune des contributions relève de suivis expérimentaux fastidieux, qui engagent campagnes analytiques et frais importants. Associé à l'enjeu de représentativité des échantillons de population considérés, dresser un ordre de grandeur national est un réel défi. Les données françaises actuelles disponibles ne permettent pas ce travail et, pour cette raison, cette étude bibliographique tend à répondre à l'attente de valeurs guide pour caractériser les fractions des eaux usées domestiques.

En considérant le maximum de publications proches du contexte français, des ordres de grandeur peuvent être émis. Il faut néanmoins rester prudent sur la précision de ces données ; la variabilité des protocoles mis en œuvre associée au manque d'informations complémentaires (et, notamment pour la reconstitution des données, avec le choix de représenter les émissions d'une personne ou d'un équivalent-habitant) maintiennent de nombreuses incertitudes.

Pour autant, le cumul des charges émises par chacune des contributions respecte l'ordre de grandeur de la qualité des eaux usées domestiques connues à l'heure actuelle dans les réseaux de collecte. Malgré les incertitudes induites par les origines variées des sources, cette comparaison reste originale du fait de porter sur des mesures sur site plutôt que sur des estimations théoriques.

Le travail réalisé permet d'appréhender la répartition des charges émises par chacun des postes de production d'effluents dans le logement. Ces informations permettent ainsi d'anticiper le potentiel de biodégradabilité de ces eaux usées, voire même leur aptitude face à d'éventuels traitements biologiques.

Dans un contexte de limitation d'émission polluante dans l'environnement, de nouvelles alternatives sont considérées, comme la valorisation *in situ* d'effluents ou leur recyclage. Dans ces perspectives, une consolidation des résultats est nécessaire par la réalisation d'analyses complémentaires : caractérisation des matières organiques dans les effluents, de la fraction réfractaire, des huiles et graisses connues comme présentes dans les eaux ménagères.

Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement l'Onema pour son soutien financier sans lequel la synthèse bibliographique, résumée dans cet article, n'aurait pu être conduite.

Glossaire

DBO₅ : demande biochimique en oxygène : oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique à 20 °C, en 5 jours, par des micro-organismes

DBO_{ultime} : demande biochimique maximum en oxygène (obtenue après un temps infini)

DCO : demande chimique en oxygène : oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques par voie chimique (2 h à ébullition en milieu acide)

EH : équivalent-habitant : défini par la directive européenne eaux résiduaires urbaines comme une charge journalière correspondant à 60 g de DBO₅

MES : matières en suspension : particules constitutives d'une eau usée, séparées par filtration ou centrifugation et séchage à 105 °C

MS : matières sèches : fraction particulaire et organique des effluents, obtenue après séchage à 105 °C

MVS : matières volatiles en suspension : fraction organique de MES, obtenue après calcination de celles-ci

Talon réfractaire (ou appelé DCO « dure ») : fraction réfractaire à la dégradation biologique

Bibliographie

AGENCE DE BASSIN LOIRE-BRETAGNE (1980) : « L'assainissement individuel, principes et techniques actuelles ». *Étude interagences*.

ALMEIDA M.C., BUTLER D., FRIEDLER E. (1999) : « At source domestic wastewater quality ». *Urban Water* ; 1(1) : 49-55.

BEHRA P. (2013) : *Chimie et environnement : Cours, étude de cas et exercices corrigés*. Paris : Dunod.

CAUCHI A. ; VIGNOLES C. (2012a) : « Comment réaliser un échantillonnage fiable des eaux usées brutes issues des maisons individuelles ». *Eau Industrie et Nuisances* ; 354 : 84-9.

CAUCHI A. ; VIGNOLES C. (2012b) : « Caractéristiques des eaux brutes de la maison individuelle ». *Eau Industrie et Nuisances* ; 354 : 91-5.

CERSOAF (1976) : « Typologie des effluents issus des résidences unifamiliales ». *La technique de l'eau et de l'assainissement*, février-mars 1975, mai 1976.

CERSOAF (1978) : *Caractérisation des eaux ménagères issues de l'habitat individuel et du petit collectif*. Ministère de l'Équipement, direction de la Construction, Plan construction, 158 p.

CHOUBERT J.M., DRUILHE C., BELINE F., GILLOT S. (2010) : « Techniques de fractionnement de la matière organique des déchets liquides pour la modélisation des

Abréviations

ANC : assainissement non collectif

CE : conductivité électrique

K : élément potassium

NGL : azote global (cumul de toutes les formes d'azote)

NK : azote Kjeldahl

NNH₄ : azote ammoniacal

NNO₃ : ions nitrates

N_{orga} : azote organique

PPO₄ : ions phosphates

Pt : phosphore total

PT : phosphore total (cumul de toutes les formes de phosphore)

S : élément soufre

bioprocédés ». *Techniques de l'ingénieur Innovations en environnement* ; IN 98, éditions TI.

DUBOIS V., BOUTIN C. (2014) : *Suivi in situ de l'ANC, méthodologie de détermination de la quantité et de la qualité des eaux usées brutes et des eaux usées traitées*. Rapport final Onema, 23p.

EME C., BOUTIN C. (2015) : *Composition des eaux usées domestiques par source d'émission à l'échelle de l'habitation*. Rapport final Onema, en cours de parution.

GILLOT S., CHOUBERT J.M. (2010) : « Biodegradable organic matter in domestic wastewaters: comparison of selected fractionation techniques ». *Water Science and Technology* ; 62 (3) : 630-9.

GIS BIOSTEP (2012) : « Estimation des talons non traitables biologiquement ». (en ligne : <http://gisbiostep.irstea.fr/documentation/les-publications-collectives>). 3 p.

GORINI D., CHOUBERT J.M., LE PIMPEC P., HÉDUI A. (2010) : « Caractérisation et biodégradabilité des eaux résiduaires ». *Techniques Sciences Méthodes* ; 11 : 65-82.

JÖNSSON H., BAKY A., JEPSSON U., HELLSTRÖM D., KÄRRMAN E. (2005) : *Composition of urine, faeces, grey-water and biowaste for utilisation in the URWARE model*. s.l. Chalmers University of Technology, Sweden, 49p.

JÖNSSON H., STENSTRÖM T.A., SVENSSON J., SUNDIN A. (1997) : « Source separated urine-nutrient and heavy

metal content, water saving and faecal contamination ». *Water Science and Technology* ; 35 (9) : 145-52.

KIRCHMANN H., PETTERSSON S. (1995) : « Human urine-chemical composition and fertilizer use efficiency ». *Fertilizer Research* ; 40 (2) : 149-54.

LANOË S. (2009) : *Assainissement durable*. Éditions Goutte de sable.

MERCOIRET L. (2010) : *Qualité des eaux usées domestiques produites par les petites collectivités*, Rapport final Onema. [En ligne : <http://epnac.irstea.fr/thematiques-transversales/caracteristiques-des-eaux-usees>]. 55 p.

METCALF & EDDY, INC. (1991) : *Wastewater engineering. Treatment, disposal and reuse*, 3d Edition. McGraw-Hill, New York.

MORRISON J., FRIEDLER E. (2014) : « A critical review of methods used to obtain flow patterns and volumes of

individual domestic water using appliances ». *Urban Water Journal* ; 12 (4) : 1-16.

NORME AFNOR NF EN 16323 (2014) : *Glossaire des termes techniques des eaux résiduaires*, 113 p.

TOILETTES DU MONDE (2010) : « Toilettes sèches familiales – État de l'art, état des lieux dans différents pays et propositions pour un accompagnement en France ». *F26-Nyons* ; 136 p.

VINNERÅS B., PALMQUIST H., BALMER P., JÖNSSON H. (2006) : « The characteristics of household wastewater and biodegradable solid waste – a proposal for new Swedish design values ». *Urban Water Journal* ; 3 (1) : 3-11.

YU Z.L.T., RAHARDIANTO A., DESHAZO J.R., STENSTROM M.K., COHEN Y. (2013) : « Critical Review: Regulatory incentives and impediments for onsite graywater reuse in the United States ». *Water Environment Research* ; 85 (7) : 650-62.

Résumé

C. BOUTIN, C. EME

Caractérisation et traitabilité par voie biologique des effluents domestiques selon leur source d'émission. Synthèse bibliographique

La caractérisation des eaux usées domestiques par source d'émission à l'échelle de l'habitat demande une connaissance fine des usages au sein de l'habitat et un suivi analytique rigoureux. Ces contraintes impliquent un coût d'étude important qui limite les études sur le sujet. Pour autant, l'émergence de nouvelles technologies pour la valorisation des effluents suscite de nouveaux suivis analytiques pour certaines sources d'émission domestiques spécifiques (ex. : urine, eaux ménagères).

Évidemment, des disparités existent entre les différentes cultures, usages et pratiques. Dans le but de se rapprocher des conditions françaises métropolitaines, cet article vise à offrir une base de données de la zone occidentale européenne. Les

études prises en considération sont majoritairement issues de la littérature scientifique (ouvrages et publications).

Les sources d'émission d'eau usée domestique sont historiquement classées en deux sources de pollution principales : les eaux vannes et les eaux ménagères. Pour tenir compte de nouvelles perspectives, la caractérisation des effluents domestiques réalisée dans le cadre de cette étude tend à considérer le maximum de sources d'émission : urine, fèces, papier toilette, eaux ménagères issues des cuisines, salle de bains et lave-linge. À partir de ces données, il est proposé une reconstitution des eaux usées domestiques à laquelle sont comparées les données nationales pour l'assainissement.

Abstract

C. BOUTIN, C. EME

Domestic wastewater characterization by emission source

Wastewater characterization by emission source involves fine expertise at a household scale as well as a robust analysis and field campaigns. Due to important study costs, those researches are difficult to implement. In this context, emergent technologies imply new alternatives in order to recycle specific domestic effluents (e.g greywater, urine). Recent surveys are required to determine their potential.

Different cultures and different practices remain and create disparities. In order to compare this data to French mainland data, this article aims at providing a western european database. All the

data come from scientific literature and books related to this area.

Domestic emission sources are historically classified in two main pollution effluent sources : blackwater and greywater. If we integrate the new perspectives, the domestic wastewater characterization implemented in this study tend to consider as main emission sources: human excretions (urine and fecal matter), toilet paper, and kitchen, bathroom and laundry effluents. According to this data, a reconstitution of domestic wastewater is drawn, to which the french national wastewater data are compared