



(takatona)

TECNOLOGIES D'EPURATION DES EAUX RESIDUAIRES POUR PETITES AGGLOMERATIONS URBAINES

TECHNOLOGIES D'ÉPURATION DES EAUX RESIDUAIRES POUR PETITES AGGLOMERATIONS URBAINES

takatona



Unión Europea
Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Invertimos en su futuro



Ministère de l'Energie, des Mines,
de l'Eau et de l'Environnement

ROYAUME DE MAROC
Ministère de l'Industrie,
du Commerce et des
Nouvelles Technologies



المملكة المغربية
وزارة الصناعة
والتجارة والتكنولوجيا
والطاقة

المركز الجهوي للاستثمار - سوس ماسة درعة
Centre Régional d'Investissement - Sousse Mاسة درعة



PUBLICATION PUBLIÉE ET PRODUITE PAR

Viceconsejería de Industria y Energía del Gobierno de Canarias
Institut Technologique des Canaries, S.A.

Y SUBVENTIONNÉE PAR

Programme de coopération transfrontalière Espagne-Frontières
extérieures
Fonds FEDER

Première Édition, juin 2011

© de l'édition, 2011

Institut Technologique des Canaries, S.A.

Certaines parties de ce texte sont basé sur l'édition du
Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas
para pequeños núcleos de población (CENTA – ITC ; Projet
ICREW – Interreg IIIB ; 2006)

Illustration, dessin et mise en page

Estudio Nexo SL

Exemplaire gratuit. Interdit à la vente.

Le « copyright » et tous les droits de propriété intellectuelle et/ou industrielle sur le contenu de cette édition appartiennent à l'ITC. Il est interdit de reproduire total et/ou partiellement cette publication ; ainsi que traiter, exploiter, transmettre et diffuser dans un format numérique, électronique, mécanique, par photocopillage ou par d'autres moyens, sauf dans la mesure où l'utilisation soit à des fins académiques, scientifiques et strictement personnelles et non commerciales et gratuits. La citation de l'ITC est en tout cas obligatoire.

www.itccanarias.org

Ce guide a été réalisé dans le cadre des activités du projet TAKATONA « Programme Interrégional d'Assistance Technique et Promotion des Énergies Renouvelables ».

L'objectif de ce Programme est celui d'établir le rapprochement et la collaboration mutuelle entre les Îles Canaries et la Région Sous Massa Drâa moyennant le partage et l'échange d'expériences institutionnelles et entrepreneuriales en matière d'énergies renouvelables.

Les partenaires de ce projet sont:

- Viceconsejería de Industria y Energía del Gobierno de Canarias.
- Ministère de l'Industrie, du Commerce et des Nouvelles Technologies du Maroc.
- Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement du Maroc.
- Wilaya Région Souss Massa Drâa.

TAKATONA, projet cofinancé par le Programme Opérationnel de Coopération Transfrontalière Espagne – Frontières Extérieures (POCTEFEX).

Le Fonds européen de développement régional (FEDER)
Pour en savoir plus, voir le www.takatona.com

INTRODUCTION

La gestion durable et le traitement intégral des ressources hydriques sont une priorité dans notre société. Il est important de disposer d'une qualité adaptée et en quantité suffisante pour pouvoir supporter les activités dérivées du développement ; ce qui permettra une amélioration de l'environnement, de la santé et de la qualité de vie.

C'est généralement dans les petits noyaux de population que l'on trouve les plus importantes carences liées à la gestion de l'eau. Cela est essentiellement dû à leur particularité de zones sensibles, à leur localisation excentrée, à la limitation de leurs ressources économiques et, dans certains cas au manque de personnel qualifié. Tous ces facteurs favorisent la rareté du contrôle de la qualité des effluents et la pollution qui en découle, due à des déversements dans des milieux récepteurs d'eaux résiduaires non traitées ou provenant de stations de traitement fonctionnant de manière incorrecte, ou qui, tout simplement, ne fonctionnent pas.

Dans le cadre de la réglementation de l'épuration des eaux urbaines résiduaires, la Directive 91/271/CEE relative au traitement de ces eaux stipule qu'à la date du 31 décembre 2005, au plus tard, toutes les localités de plus de 2 000 habitants équivalents devront disposer d'un système de traitement de leurs eaux résiduaires ; et que les autres localités doivent disposer de systèmes collecteurs et d'un traitement adapté aux eaux usées générées. En dépit de l'instauration de cette Directive et malgré l'amélioration considérable du traitement des eaux résiduaires dans de nombreuses localités qui disposent actuellement de technologies pour l'épuration de leurs déchets, on constate qu'il existe encore des agglomérations urbaines, principalement de petite taille, et des noyaux de populations épars qui ne sont pas équipés de systèmes de traitement pour leurs eaux résiduaires, et dans le cas où ils en sont pourvus, ces derniers fonctionnent mal ou ne fonctionnent pas du tout.

Aux situations mentionnées précédemment, vient s'ajouter le fait que, dans de nombreux cas, la simplicité de fonctionnement et de maintenance a été assimilée par erreur à la simplicité de conception et de construction, et on n'a donc pas accordé une attention suffisante à la phase de dimensionnement du système de traitement ni à l'étape de réalisation. Ces déficiences sont apparues dans de nombreuses installations qui n'atteignent pas les rendements espérés et, par conséquent, finissent par ne pas fonctionner ou par fonctionner de manière défectueuse.

Dans le cadre du projet TAKATONA, co-financé par le Programme de Coopération Transfrontalière Espagne-Frontières Extérieures (POCTEFEX), les participants espagnols éditent ce GUIDE avec l'objectif de constituer un instrument supplémentaire dans le domaine de l'épuration des eaux urbaines résiduaires. De même, ce Guide apportera des réponses et/ou servira d'outil à l'ensemble du personnel technique concerné, en particulier le personnel

directement en rapport avec les petites agglomérations urbaines dans lesquelles de nombreux aspects doivent encore être améliorés, comme cela a déjà été commenté précédemment.

Ce guide fait une révision générale des caractéristiques des eaux urbaines résiduaires et de la terminologie de base en usage, indépendamment de la taille de la population. Il aborde ensuite l'importance de l'épuration correcte des eaux résiduaires produites dans les petites agglomérations urbaines. Les principales caractéristiques de ce type d'eaux y sont indiquées. On y trouve également le détail des différences qui existent avec les eaux urbaines résiduaires des grandes villes, ce qui entraîne un traitement différent. En dernier lieu, ce guide décrit un éventail considérable de procédés et de technologies d'épuration conventionnelle et non conventionnelle proposés pour le traitement correct de ces eaux.

INDEX

1. EAUX URBAINES RESIDUAIRES	9
1.1. Caractéristiques des eaux urbaines résiduaires	9
1.2. Principaux polluants et paramètres de caractérisation	12
2. EPURATION DES EAUX RESIDUAIRES DE PETITES AGGLOMERATIONS URBAINES	17
2.1. Caractéristiques des eaux résiduaires dans les petites agglomérations urbaines	17
2.1.1. Débits	17
2.1.2. Qualité de l'eau	18
3. TECHNOLOGIES D'EPURATION DES EAUX URBAINES RESIDUAIRES POUR PETITES LOCALITES	21
3.1. Technologies d'épuration des eaux urbaines résiduaires dans de petits noyaux de population	23
A. TRAITEMENT PRIMAIRE	23
3.1.1. Fosses septiques	23
3.1.2. Réservoirs imhoff	26
B. TECHNOLOGIES NON CONVENTIONNELLES	28
3.1.3. Fossés filtrants	28
3.1.4. Lits filtrants	30
3.1.5. Puits filtrants	32
3.1.6. Filtres de sable intermittents enterrés	34
3.1.7. Filtres verts	35
3.1.8. Milieux humides artificiels	39
3.1.9. Lagunages.....	43
3.1.10. Filtres de tourbe	47

3.1.11. List bactériens	51
3.1.12. Contacteurs biologiques rotatifs	55
C. TECHNOLOGIES CONVENTIONNELLES	59
3.1.13. Aérations prolongées	59
4. CRITERES DE SELECTION DES TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT DES EAUX	
RESIDUAIRES A APPLIQUER DANS LES PETITES AGGLOMERATIONS URBAINES	63
4.1. Taille de la population à traiter	63
4.2. Conditions climatiques de la zone où la station de traitement sera implantée	64
4.3. Impact exercé par l'installation de traitement sur l'environnement	65
4.4. Coûts d'exploitation et de maintenance	65
5. EXPÉRIENCE ET RÉSULTATS DE L'INSTITUT TECHNOLOGIQUE DES CANARIES DANS	
L'APPLICATION DE SYSTÈMES NATURELS D'ÉPURATION DES EAUX RÉSIDUAIRES	
AUX ÎLES CANARIES	69
5.1. Fondements et caractéristiques des systèmes naturels d'épuration	71
5.2. Nécessités de surface aux Canaries	76
5.3. Coûts d'investissement et d'opération	77
5.4. Études spécifiques sur les expériences pilotes existantes des Îles Canaries	81
5.5. Conclusions générales sur l'application de systèmes naturels d'épuration aux Canaries	83
6. BIBLIOGRAPHIE RECOMMANDEE	91

1

EAUX URBAINES RÉSIDUAIRES

1.1. CARACTÉRISTIQUES DES EAUX URBAINES RÉSIDUAIRES

Les eaux urbaines résiduaires se caractérisent par leur composition physique, chimique et biologique et il apparaît une interrelation entre nombre des paramètres qui intègrent cette composition. Il est indispensable, au moment de réaliser une gestion de ces eaux, de disposer d'informations les plus détaillées possibles sur leur nature et leurs caractéristiques. Ci-dessous, les principales caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des eaux urbaines résiduaires sont indiquées.

Les caractéristiques physiques les plus importantes des eaux urbaines résiduaires sont :

- Couleur : la coloration des eaux urbaines résiduaires détermine qualitativement leur âge. Elle varie généralement du beige clair au noir. Si l'eau est récente, elle présente habituellement une coloration beige clair ; elle s'obscurcit avec le temps et devient de couleur beige grise ou noire, en raison de l'implantation de conditions d'anaérobiose, par décomposition bactérienne de la matière organique.
- Odeur : elle est principalement due à la présence de certaines substances produites par la décomposition anaérobie de la matière organique : sulfure d'hydrogène, indole, scatoles, mercaptans et autres substances volatiles. Si les eaux résiduaires sont récentes, elles ne présentent pas d'odeurs désagréables ni intenses. Avec le temps, l'odeur augmente en raison du dégagement de gaz tels que le sulfure d'hydrogène ou des composés ammoniacaux provoqués par la décomposition anaérobie.
- Température : dans les effluents urbains, elle oscille entre 15° C et 20° C, ce qui facilite le développement des micro-organismes existants.
- Solides : d'une manière générique, les solides sont tous les éléments ou composés présents dans l'eau urbaine résiduaire qui ne sont pas de l'eau. Parmi les effets négatifs sur les milieux hydriques, il convient de souligner, la diminution de la photo-

synthèse due à l'augmentation de la turbidité de l'eau, l'apparition de dépôts sur les végétaux et sur les branchies des poissons qui, en se colmatant, peuvent provoquer leur asphyxie ; la formation de dépôts par sédimentation sur le fond des milieux récepteurs, ce qui favorise l'apparition de conditions anaérobies ou des augmentations de la salinité et de la pression osmotique.

Les **caractéristiques chimiques** des eaux urbaines résiduaires sont définies par leurs composants organiques, inorganiques et gazeux.

Les **composants organiques** peuvent être d'origine végétale ou animale, bien que les eaux urbaines résiduaires contiennent de plus en plus, et de plus en plus fréquemment, des composés organiques synthétiques. Les protéines, les hydrates de carbone et les lipides, ainsi que leurs dérivés, sont les principaux composés organiques qui apparaissent dans ce type d'eau. Ils sont biodégradables et leur élimination par oxydation est relativement simple.

- Les protéines représentent de 40 à 60% de la matière organique d'une eau résiduaire et elles sont, avec l'urée, les principales responsables de la présence d'azote dans les eaux résiduaires. L'existence de grandes quantités de protéines dans l'eau résiduaire peut être à l'origine d'odeurs désagréables dues aux processus de décomposition.
- Les hydrates de carbone représentent entre 25 et 50% de la matière organique. Du point de vue du volume et de la résistance à la décomposition, la cellulose est l'hydrate de carbone dont la présence dans l'eau résiduaire est la plus importante.
- Dans les eaux urbaines résiduaires sans composant industriel, la présence de graisses et d'huiles est habituellement faible, pas plus de 10%, ce qui n'empêche pas qu'elles puissent provoquer des problèmes aussi bien dans le réseau des égouts que dans les stations de traitement. Si le contenu en graisse n'est pas éliminé avant le déversement de l'eau résiduaire, il peut interférer sur les organismes existant dans les eaux de surface et créer des pellicules et des accumulations de matière flottante désagréables, qui dans certains cas peuvent empêcher la réalisation d'activités telles que la photosynthèse, la respiration et la transpiration.
- Conjointement aux protéines, aux hydrates de carbone, aux graisses et aux huiles, apparaissent de petites quantités de molécules organiques synthétiques dont la structure peut être très simple ou extrêmement compliquée. Parmi ces molécules organiques synthétiques, il convient de distinguer les agents tensioactifs.



Les agents sont formés par des molécules de grande taille, légèrement solubles dans l'eau. Ils sont responsables de l'apparition de mousses dans les stations de traitement et en surface des pièces d'eau réceptrices des déversements de déchets. Ces substances sont les principaux composants des détergents, leur présence dans les eaux urbaines résiduaires se détecte donc par l'apparition de mousses à la surface. La formation de ces mousses produit une augmentation de la pollution par matière organique dissoute lors de l'émulsion et/ou de la solubilisation des graisses et des huiles présentes dans l'eau. D'autre part, elles causent de graves problèmes dans les stations d'épuration car elles interfèrent dans les processus biologiques et dans les systèmes de coagulation-floculation et de décantation.

Les **composés inorganiques** incluent tous les solides généralement d'origine minérale, tels que les sels minéraux, les argiles, les boues, les sables et graviers ainsi que certains composés tels que les sulfates, les carbonates, etc., qui peuvent subir quelques transformations (phénomènes d'oxyde-réduction et autres).

La **composante gazeuse** des eaux urbaines résiduaires contient divers gaz dans des concentrations différentes, parmi lesquels on distingue en particulier :

- Oxygène dissous : il est essentiel pour la respiration des organismes aérobies présents dans l'eau résiduaire. Le contrôle de ce gaz au fil du temps, fournit une série

de données fondamentales pour la connaissance de l'état de l'eau résiduaire. La quantité présente dans l'eau dépend de nombreux facteurs, principalement liés à la température et aux activités chimiques et biologiques, entre autres.

- **Sulfure d'hydrogène** : c'est un gaz qui se forme dans un milieu anaérobie par la décomposition de certaines substances organiques et inorganiques contenant du soufre. Sa présence se manifeste essentiellement par l'odeur répulsive caractéristique qu'il produit.
- **Dioxyde de carbone** : il est produit lors des fermentations des composés organiques des eaux résiduaires.
- **Méthane** : il se forme lors de la décomposition anaérobie de la matière organique et apparaît surtout dans un certain type de stations d'épuration où sont réalisés des processus de stabilisation de boues par anaérobie offrant des possibilités de mise à profit comme combustible.
- **Autres gaz** : il s'agit principalement de gaz malodorants comme les acides gras volatiles, l'indole, le scatol et autres dérivés de l'azote.

Les **caractéristiques biologiques** des eaux urbaines résiduaires sont déterminées par une grande variété d'organismes vivants dont la capacité métabolique est élevée, ainsi que par un fort potentiel de décomposition et de dégradation de la matière organique et inorganique.

Le composant organique des eaux résiduaires est un milieu de culture qui permet le développement des micro-organismes qui bouclent les cycles biogéochimiques d'éléments tels que le carbone, l'azote, le phosphore ou le soufre.

Les principaux organismes qui se trouvent dans les eaux urbaines résiduaires sont : les algues, les moisissures, les bactéries, les virus, les flagellés, les ciliés, les rotifères, les nématodes, les annélides, les larves, etc.

1.2. PRINCIPAUX POLLUANTS ET PARAMÈTRES DE CARACTÉRISATION

Les principaux composés des eaux urbaines résiduaires à contrôler et à éliminer peuvent être résumés comme suit :

- **Objets grossiers** : morceaux de bois, chiffons, plastiques, etc., qui sont jetés dans les égouts.
- **Sables** : cette dénomination englobe les sables proprement dits, des graviers et des particules plus ou moins grandes d'origine minérale ou organique.
- **Graisses et huiles** : substances qui, ne se mélangeant pas à l'eau, restent en surface et font apparaître des peaux. Leur origine est aussi bien domestique qu'industrielle.

- **Substances ayant des besoins en oxygène** : matière organique et composés inorganiques qui s'oxydent facilement, ce qui provoque une consommation d'oxygène du milieu dans lequel ils sont déversés.
- **Nutriments (Azote et Phosphore)** : leur présence dans les eaux est essentiellement due aux détergents et aux fertilisants. De même, les excréments humains apportent de l'azote organique. L'azote, le phosphore et le carbone sont des nutriments essentiels pour la croissance des organismes. Lorsqu'ils sont déversés dans le milieu aquatique, ils peuvent favoriser la croissance d'une vie aquatique non souhaitée. S'ils sont déversés sur le sol dans des quantités excessives, ils peuvent entraîner la pollution de l'eau souterraine.
- **Agents pathogènes** : organismes présents en plus ou moins grande quantité dans les eaux résiduaires et qui peuvent produire ou transmettre des maladies (virus, bactéries, protozoaires, champignons, etc.).
- **Polluants émergents ou prioritaires** : les habitudes de consommation de la société actuelle engendrent.

Une série de polluants qui n'existaient pas auparavant. Ces substances apparaissent principalement ajoutées à des produits de soins personnels, de nettoyage domestique, pharmaceutiques (résidus d'antibiotiques, hormones, etc.). Ces produits sont connus sous la dénomination générique de polluants émergents; la majorité d'entre eux n'est pas éliminée dans les stations de traitement des eaux urbaines résiduaires conventionnelles.

Pour caractériser les eaux résiduaires, un ensemble de paramètres permettant de quantifier les polluants définis précédemment est utilisé. Les paramètres les plus couramment employés sont les suivants :

- **Solides en Suspension** : solides qui ne passent pas à travers une membrane filtrante d'une taille déterminée (0,45 microns). Parmi les solides en suspension, on trouve les solides sédimentables, qui décantent par leur propre poids, et les solides non sédimentables.
- **Huiles et Graisses** : le contenu en huiles et en graisses présent dans une eau résiduaire est déterminé au moyen de leur extraction préalable à l'aide d'un dissolvant approprié, puis par l'évaporation ultérieure du dissolvant et le pesage du résidu.



- **Demande Biochimique d'Oxygène après 5 jours (DBO₅)** : quantité d'oxygène dissous (mg O₂/l) nécessaire pour oxyder biologiquement la matière organique des eaux résiduaires. Au cours des cinq jours de la durée du test, environ 70% des ressources biodégradables sont consommées
- **Demande Chimique en Oxygène (DCO)** : quantité d'oxygène (mg O₂/l) nécessaire pour oxyder les composants de l'eau par des réactions chimiques.

Le rapport DBO₅/DCO est un facteur important, qui indique la *biodégradabilité* des eaux urbaines résiduaires; la biodégradabilité étant entendue comme la caractéristique de certaines substances chimiques à pouvoir être utilisées comme substrat par des micro-organismes qui les utilisent pour produire de l'énergie (par respiration cellulaire) et créer d'autres substances telles que les acides aminés, de nouveaux tissus et de nouveaux organismes.

Tableau 1.1. Biodégradabilité de l'eau urbaine résiduaire selon le rapport DBO₅/DCO

DBO ₅ /DCO	Biodégradabilité de l'eau résiduaire
≥ 0,4	Alta
0,2-0,4	Normal
≤ 0,2	Baja

Source : Metcalf & Eddy, 2000

- **Azote** : on le trouve dans les eaux résiduaires, essentiellement sous forme d'ammoniac, et dans une moindre mesure sous forme de nitrates et de nitrites. Pour sa détermination, on emploie des méthodes spectrophotométriques.
- **Phosphore** : dans les eaux résiduaires, il apparaît principalement sous forme de Phosphates organiques et de Polyphosphates. Pour sa détermination, on emploie des méthodes spectrophotométriques.
- **Organismes pathogènes** : comme organismes indicateurs de pollution fécale, on utilise normalement : les Coliformes (Totaux et Fécaux).

Les valeurs habituelles de ces paramètres dans les eaux urbaines résiduaires d'origine principalement domestiques sont recueillies dans le tableau suivant.

Tableau 1.2. Valeurs typiques des principaux polluants de l’eau urbaine résiduaire (domestique brute)

Paramètre	Pollution Forte	Pollution Moyenne	Pollution Légère
Solides en Suspension (mg/l)	350	220	100
DBO5 (mg O ₂ /l)	400	220	110
DQO (mg O ₂ /l)	1000	500	250
Azote (mg N/l)	85	40	20
Phosphore (mg P/l)	15	8	4
Graisses (mg/l)	150	100	50
Coliformes Fécaux (ufc/100 ml)	10 ⁶ -10 ⁸	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁵ -10 ⁷

Source : Metcalf & Eddy, 2000

2

ÉPURATION DES EAUX RÉSIDUAIRES DE PETITES AGGLOMÉRATIONS URBAINES

2.1. CARACTÉRISTIQUES DES EAUX RÉSIDUAIRES DANS LES PETITES AGGLOMÉRATIONS URBAINES

Comme conséquence des différences de niveau de développement économique et social, les eaux résiduaires provenant des petites agglomérations urbaines présentent des caractéristiques qui leur sont propres (fortes oscillations de débit et de charge ainsi que des concentrations élevées) qui les différencient notablement de celles qui proviennent des grands noyaux de population. Il faut tenir compte de ce fait au moment de concevoir ces installations.

2.1.1. DÉBITS

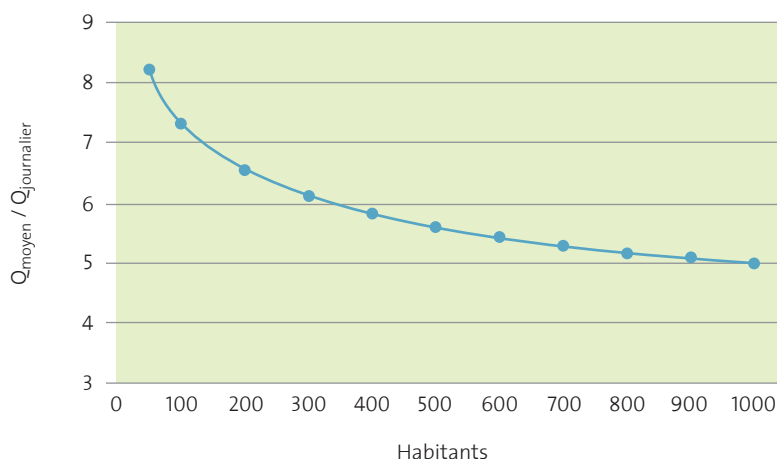
Plus le noyau de population est petit, plus les oscillations du débit d'eaux résiduaires générées sont importantes, et passent, dans le cas de logements individuels, de débits presque nuls pendant les premières heures de la matinée à des débits, lors des pointes horaires, huit fois supérieures au débit moyen.

Dans la conception de stations d'épuration d'eaux urbaines résiduaires, de très petits noyaux de population, on emploie le terme de débit moyen diurne qui est le débit moyen, dont on suppose qu'il est produit en 16 heures uniquement (Sainz, 2005).

On estime que le débit minimum est de l'ordre de 30% du débit moyen (facteur pointe F_p). Le rapport entre le débit de pointe et le débit moyen est recueilli dans l'illustration 2.1.

$$Q_{\text{moyen}} = \frac{Q_{\text{journalier}}}{16}$$

Illustration 2.1. Rapport entre le facteur pointe (F_p) et le nombre d'habitants, pour des localités de moins de 1000 habitants



2.1.2. QUALITÉ DE L'EAU

La composition des eaux résiduaires dans les petites agglomérations urbaines est essentiellement d'origine domestique et l'incidence industrielle y est faible ; bien que dans certains cas il faille prendre fort en compte l'apport d'eaux industrielles provenant principalement d'industries agro-alimentaires ou de la pêche, en raison de leur charge organique élevée dont le traitement s'avère plus problématique que celui des eaux urbaines résiduaires.

Les plus faibles dotations d'approvisionnement généralement enregistrées dans les petites agglomérations urbaines se traduisent immédiatement dans les concentrations des eaux résiduaires générées. La dotation d'approvisionnement plus faible conduit à une plus faible dilution des polluants générés ce qui augmente leur concentration.



Étant donné la disparité des valeurs et l'amplitude des rangs des paramètres, les valeurs de conception des paramètres qui caractérisent l'eau résiduaire générée dans le cas de petites agglomérations, il ne devrait pas leur être accordé de valeur bibliographique. Ce qui rend encore plus nécessaire et obligatoire la réalisation de campagnes de tarage et d'échantillonnage pour la caractérisation correcte des eaux résiduaires comme étape préalable à la conception de l'unité de traitement dans chaque situation concrète. Il faut étudier la manière dont l'évacuation des eaux résiduaires influe sur leur qualité car l'utilisation de réseaux unitaires, collectant conjointement les eaux domestiques, industrielles et pluviales, est courante dans ces localités.

3

TECHNOLOGIES D'ÉPURATION DES EAUX URBAINES RÉSIDUAIRES POUR PETITES LOCALITÉS

Les petites agglomérations urbaines présentent, en raison de leur localisation géographique et de leur niveau de développement, une problématique spécifique qui complique la fourniture des services d'assainissement et d'épuration.

Dans cette problématique, on distingue plus particulièrement :

- Les effluents épurés doivent être conformes à des réglementations strictes sur les déversements.
- Le fait de ne pas pouvoir tirer profit des avantages que suppose l'économie d'échelle en raison de leur petite taille; ce qui conduit à des coûts d'implantation, de maintenance et d'exploitation par habitant élevés. En outre, dans des populations éparses, les coûts d'assainissement sont notablement accrus.
- La faible capacité technique et économique pour la maintenance et l'exploitation de stations de traitement des eaux résiduaires

Pour tous ces motifs, au moment de sélectionner des solutions pour le traitement des eaux résiduaires dans de petits noyaux de population, la priorité doit être donnée aux technologies qui :

- Présentent un coût énergétique minimum, en évitant, autant que possible, l'utilisation de dispositifs électromécaniques et en ayant principalement recours aux systèmes d'oxygénation naturels.
- Requièrent une maintenance et une exploitation simples.
- Garantissent un fonctionnement efficace face aux grandes oscillations de débit et de charge de l'influent à traiter; circonstances courantes dans les petites communes.
- Simplifient la gestion des boues générées dans les processus d'épuration.
- Présentent un faible impact environnemental sonore et une bonne intégration dans l'environnement.

Les technologies d'épuration des eaux urbaines résiduelles qui réunissent ces caractéristiques sont connues sous le nom générique de « *Technologies non Conventiionnelles* » (TNC). Ce type de technologies requiert des actions dont l'impact sur l'environnement est faible; elles permettent de réduire la charge polluante moyennant des coûts d'exploitation inférieurs à ceux des traitements conventionnels et des besoins de maintenance qui ne présentent pas de grandes difficultés techniques; ce qui autorise leur exploitation par du personnel non spécialisé.

Les processus qui interviennent dans les *Technologies non Conventiionnelles* incluent nombre de ceux qui sont appliqués dans les traitements conventionnels (sédimentation, filtrage, adsorption, précipitation chimique, échange ionique, dégradation biologique, etc.), conjointement à d'autres processus propres aux traitements naturels (photosynthèse, photo-oxydation, assimilation par les plantes, etc.) ; mais, à la différence des *Technologies Conventiionnelles*, dans lesquelles les processus ont lieu de manière séquentielle dans des réservoirs et des réacteurs, et à des vitesses accélérées (grâce à l'apport d'énergie), dans les *Technologies non Conventiionnelles* on travaille à *vitesse naturelle* (sans apport d'énergie), en réalisant les processus dans un seul et unique *réacteur-système*. L'économie d'énergie est compensée par un plus grand besoin de surface.

Actuellement, pour le traitement des eaux urbaines résiduelles de petites localités, on a autant recours à l'installation de Technologies Conventiionnelles que non Conventiionnelles. La réalité démontre que les deux types de technologies sont valides pour l'épuration des déversements générés, mais la réalité met aussi en évidence que dans les petits noyaux de population, on doit, en raison des caractéristiques mentionnées précédemment, donner la priorité au choix de systèmes d'épuration de technologies robustes et aux coûts d'exploitation et de maintenance faibles.

Cependant, au moment d'installer ce type de technologies, on accordera une grande importance au fait que leur « simplicité » d'exploitation et de maintenance n'implique pas la « simplicité » de conception; ce qui, malheureusement, a été le cas en de nombreuses occasions. Il n'a pas été accordé suffisamment d'attention à la phase de dimensionnement ni, ultérieurement, à celle de leur construction. Ces déficiences ont eu des répercussions dans de nombreuses installations où les rendements espérés ne sont pas atteints.

3.1. TECHNOLOGIES D'ÉPURATION DES EAUX URBAINES RÉSIDUAIRES DANS DE PETITS NOYAUX DE POPULATION

Dans cette section, nous présenterons de manière détaillée chacune des différentes technologies, aussi bien *Conventionnelles* que non *Conventionnelles*, qui sont actuellement les plus employées pour épurer les effluents liquides urbains générés dans les localités de petite taille ; nous présenterons aussi deux procédés de Traitement Primaire d'utilisation courante :

- **Traitements Primaires** : *Fosses septiques* et *Réservoirs Imhoff*.
- **Technologies non Conventionnelles** :
 - Celles qui ont recours à l'utilisation du sol comme élément épurateur.
Systèmes à application hypodermique : *Fossés Filtrants*, *Lits Filtrants*, *Puits Filtrants* et *Filtres de sable Intermittents enterrés*.
Systèmes à application superficielle : *Filtres Verts*.
 - Celles qui simulent les conditions propres aux milieux humides naturels.
Milieux Humides Artificiels, dans leurs diverses versions : *Flux Libre* et *Flux Hypodermique* (*Vertical* et *Horizontal*).
 - Celles qui imitent les processus naturels d'épuration qui se produisent dans les rivières et les lacs.
Lagunages.
 - Celles qui sont basées sur le filtrage des eaux à traiter à travers du charbon naturel.
Filtres de Tourbe.
- **Technologies présentant des caractéristiques intermédiaires, entre les Technologies non Conventionnelles et Conventionnelles** :
 - *Lits Bactériens*.
 - *Contacteurs Biologiques Rotatifs*.
- **Technologies Conventionnelles** :
 - *Aérations Prolongées*.

A. TRAITEMENT PRIMAIRE

3.1.1. FOSSES SEPTIQUES

Les *Fosses Septiques* sont des dispositifs enterrés dans lesquels la matière organique sédimentable présente dans les eaux résiduaires à traiter décante et se minéralise.

Ces dispositifs sont compartimentés. La disposition la plus courante étant celle de deux compartiments disposés en série. Dans le premier, se produisent la sédimentation, la digestion et le stockage des solides en suspension de l'eau résiduaire. L'eau clarifiée passe dans un second compartiment où a lieu une sédimentation de solides et une formation de croûte, due aux matériaux ayant échappé à l'étape précédente, mais en quantité moins importante.

Dans les cas où les Fosses Septiques sont équipées d'un troisième compartiment, un certain *Traitement Secondaire* y est, en outre, obtenu.

Les boues retenues dans les fonds des différents compartiments, subissent des réactions de dégradation anaérobies, qui réduisent leur volume, ce qui permet à la Fosse de fonctionner durant de longues périodes de temps sans que la purge des boues ne soit nécessaire.

Durant la dégradation anaérobie des boues décantées, les bulles de gaz produites gênent la sédimentation normale des solides présents dans les eaux résiduaires influentes; on installe donc un second compartiment dans lequel les particules les plus légères trouvent des conditions de sédimentation plus favorables.

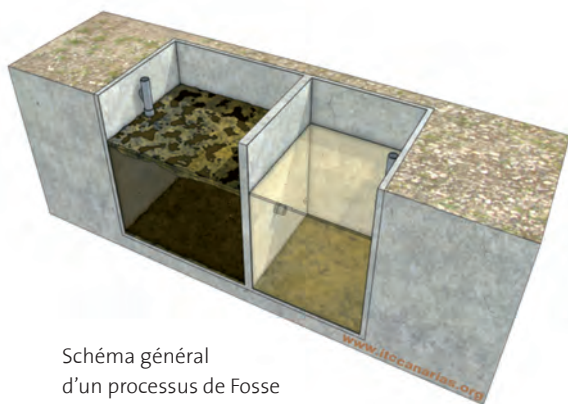


Schéma général
d'un processus de Fosse
Septique à deux compartiments (ITC)

➤ Paramètres de conception

- Comme règle générale, le volume total de la *Fosse Septique* oscille entre 250 et 300 l/ h.e.
- Lorsque la *Fosse Septique* est équipée de deux compartiments, il est recommandé que le premier occupe 66% du volume total ; alors que lorsqu'elle est équipée de trois compartiments, le premier n'occupera pas plus de 50% du volume total; le volume restant étant réparti en parts égales entre le deuxième et le troisième compartiment.
- La hauteur utile de l'eau à l'intérieur des compartiments oscille entre 1,2 m et 1,7 m, un espace de sécurité de 0,3 m étant conservé dans la partie supérieure.
- La longueur totale de la Fosse doit être comprise entre deux et trois fois la largeur des compartiments.

➤ Domaine d'application

La limite d'utilisation est établie aux alentours de 300-500 h.e., les Fosse Septiques ne constituent pas un système de traitement des eaux urbaines résiduaires en soi et il convient donc de les compléter à l'aide d'une autre technologie de traitement.

➤ Rendements moyens d'épuration

Paramètre	% Réduction
SS	50-60
DBO ₅	20-30
DCO	20-30
N	10-20
P	0-5
Coliformes Fécaux	50-75

➤ Éléments clé du fonctionnement

- La structure du réservoir doit demeurer hermétique.
- Il ne faut pas incorporer de surcharge de pollution organique à la Fosse.
- Il faut éviter d'y déverser de grandes quantités de graisses/huiles et de détergents et/ou d'eau de javel.
- Il est nécessaire de pomper périodiquement les boues sédimentées. La production moyenne de boues est habituellement de 0,2 m³/hab./an.
- Dans le cas où l'installation est équipée de grilles ou de filtres, leur nettoyage périodique est indispensable.
- Pour éviter de possibles pollutions, la Fosse doit toujours être située plus bas que les puits et les sources d'eau potable se trouvant à proximité et, au minimum, à une distance de 30 m de ceux-ci.
- Purge périodique des boues digérées et des solides flottants.

➤ Avantages

- Faibles coûts d'investissement et d'exploitation. L'extraction périodique des boues digérées constitue la principale tâche d'exploitation.
- Facilité d'installation avec des unités préfabriquées.
- Consommation énergétique nulle.
- Faible impact visuel, installation enterrée.

- Elles constituent le traitement préalable de nombreuses Technologies non Conventi-
tionnelles.

➤ Inconvénients

- Faibles rendements en réduction de charge organique et en abattement de patho-
gènes, elles requièrent donc des traitements secondaires.
- Faible stabilité face aux débits pointe.
- Accumulation de graisses et d'huiles en surface.
- Génération de mauvaises odeurs si elles ne sont pas entretenues correctement.

3.1.2. RÉSERVOIRS IMHOFF

Le Réservoir *Imhoff* est un dispositif qui permet un Traitement Primaire des eaux urbai-
nes résiduaires par l'élimination de la matière organique en particules sédimentables
et des objets flottants. La fraction organique des solides sédimentables est minéralisée
par anaérobie.

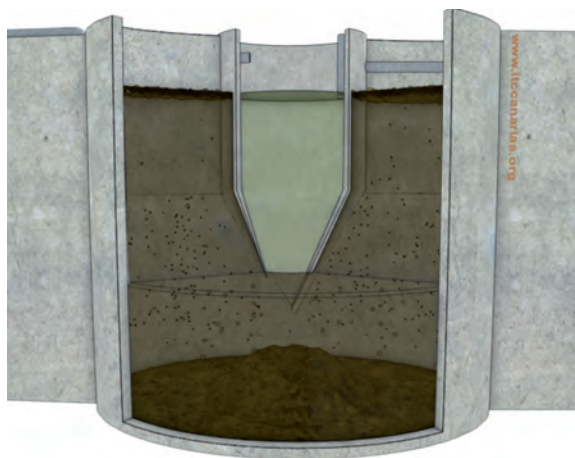


Schéma général d'un
procédé de Réservoir
Imhoff (ITC)

Ils sont composés d'un réservoir unique dans lequel la zone de sédimentation, située
dans la partie supérieure, est séparée de celle de la digestion des solides décantés, dans
la zone inférieure du réservoir. La configuration de l'ouverture par laquelle les deux zones
communiquent empêche le passage de gaz et de particules de fange depuis la zone de
digestion jusqu'à celle de décantation ; ce qui permet d'éviter que ces gaz n'affectent la
sédimentation des solides en suspension.

➤ Paramètres de conception

- *Zone de décantation* : elle est dimensionnée pour que le temps de rétention hydraulique au débit maximum soit de 90 minutes.
- *Zone de digestion* : pour un temps de digestion de la fange de 6 mois, la valeur habituelle pour le dimensionnement de la zone de digestion est de 0,07 m³/h.e.
- Bien que les *Réservoirs Imhoff* circulaires soient aussi construits, leur géométrie la plus courante est rectangulaire, leur longueur étant de 3 à 5 fois supérieure à leur largeur.

➤ Domaine d'application

Le *Réservoir Imhoff* est employé comme traitement préalable aux systèmes d'application au terrain et comme *Traitement Primaire*, préalable aux *Zones Humides Artificielles*, aux *Contacteurs Biologiques Rotatifs* ou aux *Lits Bactériens*.

La limite d'application est habituellement fixée aux alentours de 300-500 habitants, cependant, il est possible d'implanter plusieurs modules et d'accroître ainsi le rang d'application. D'autre part, et étant donné qu'ils ne constituent pas un système de traitement des eaux urbaines résiduaires en soi, il convient de les compléter par d'autres technologies de traitement.

➤ Rendements moyens d'épuration

Paramètre	% Réduction
SS	60-70
DBO ₅	30-40
DCO	30-40
N	10-20
P	0-5
Coliformes Fécaux	50-75

➤ Éléments clé du fonctionnement

- Le *Réservoir Imhoff* doit être enterré et sa structure doit être recouverte d'une couche de terre de 25-35 cm.
- Pour éviter de possibles pollutions, le *Réservoir* sera toujours situé plus bas que les puits et sources d'eau potable se trouvant à proximité et, au minimum, à une distance de 30 m de ceux-ci.
- Purge périodique des boues digérées et des solides flottants.

➤ Avantages

- Faibles coûts d'investissement et d'exploitation. L'extraction périodique des boues digérées constitue la principale tâche de son exploitation.
- Consommation énergétique nulle.
- Absence de pannes électromécaniques.
- Admet l'installation sous terre.
- Il est possible d'utiliser des unités préfabriquées, ce qui facilite son installation.
- Ils constituent le traitement préalable pour de nombreuses Technologies non Conventionnelles.

➤ Inconvénients

- Rendements faibles; des traitements postérieurs des effluents sont donc nécessaires.
- Accumulation de graisses et d'huiles en surface.
- Faible stabilité face aux débits pointe.

B. TECHNOLOGIES NON CONVENTIONNELLES

3.1.3. FOSSÉS FILTRANTS

Les *Fossés Filtrants* sont un système d'*Application Hypodermique au Sol*, pour l'épuration des eaux urbaines résiduaires.



L'eau résiduaire prétraitée est déchargée dans un partiteur qui permet l'alimentation alternée des différents fossés.

Il s'agit de fossés de faible profondeur (< 1 m) et largeur (0,45-0,80 m), creusés dans le terrain, qui recueillent et distribuent les eaux résiduaires prétraitées (*Fosses Septiques* ou *Réservoirs Imhoff*), à travers une conduite percée, placée sur une couche de sable et recouverte de graviers. Les graviers sont recouverts d'un remplissage végétal, de manière à ne pas mélanger ni boucher l'espace occupé par la couche de gravier. Dans ce cas, la surface d'infiltration est constituée par le fond du fossé, bien que dans le cas de possibles obstructions, les parois verticales peuvent aider à l'infiltration.

➤ Paramètres de conception

Paramètre	Valeur
Charge hydraulique ($\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ j}$)	0,02-0,05
Profondeur du Fossé (m)	0,50-0,70
Largeur du Fossé (m)	0,45-0,80
Longueur du Fossé (m)	< 20 ou 30
Séparation entre les axes des Fossés (m)	1,0-2,50
Séparation entre le fond et le niveau phréatique (m)	$> 0,6$ ou 1,2
Épaisseur de la couverture (m)	$> 0,15$

Source : EPA, 198

➤ Domaine d'application

Les *Fossés Filtrants* sont des systèmes d'application pour le traitement des eaux urbaines résiduaires générées dans des logements isolés ou dans de petits groupes de logements isolés.

➤ Rendements moyens d'épuration

Paramètre	% Réduction
SS	80-90
DBO_5	80-90
DCO	75-85
N	50-80
P	40-70
Coliformes Fécaux	99-99,9

➤ Éléments clé du fonctionnement

- Caractéristiques adaptées du terrain par lequel s'infiltrent les effluents provenant du *Traitement Primaire*.
- Alternance des fossés en exploitation, dans le but de préserver autant que possible les conditions aérobies dans les zones d'infiltration.

➤ Avantages

- Faibles coûts d'exploitation et de maintenance.
- Consommation énergétique nulle.
- Absence de pannes électromécaniques.
- Le contact des personnes ou des animaux avec les eaux résiduares est évité.
- Rendements d'épuration élevés.

➤ Inconvénients

- Leur implantation requiert une surface importante.
- La possibilité de leur application repose sur les caractéristiques du sol, principalement sur sa capacité d'infiltration et sur l'existence d'aquifères de faible profondeur.
- Si la conception et la maintenance ne sont pas correctes, les sources souterraines d'approvisionnement peuvent être polluées.

3.1.4. LITS FILTRANTS

Les Lits Filtrants sont un système d'Application Hypodermique au Sol, pour l'épuration des eaux urbaines résiduares.

C'est un procédé similaire à celui des Fossés Filtrants, les Fossés étant plus larges (0,9-2,0 m) et devenant des lits de graviers qui reçoivent, sur leur fond, plusieurs conduites perforées.

L'application hypodermique des effluents provenant de Fosses Septiques ou de Réservoirs Imhoff au terrain est réalisée à travers des lits creusés, par lesquels les eaux se dispersent dans le sol, et s'épurent en le traversant. On étale au fond des lits une couche de sable d'environ 5 cm d'épaisseur sur laquelle repose une couche de gravier d'environ 60 cm de profondeur. Une couche de terre végétale de 20 à 30 cm est étalée sur la couche de gravier. Des drains parallèles, permettant la dispersion dans le terrain des

eaux à traiter, sont introduits dans le gravier. L'eau résiduaire prétraitée est déchargée dans un partiteur qui permet l'alimentation alternée des différents drains.

➤ Paramètres de conception

Paramètre	Valeur
Charge hydraulique ($\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ j}$)	0,02-0,05
Profondeur du <i>tranchée</i> (m)	0,50-0,70
Largeur du Lit (m)	> 0,9
Longueur du Lit (m)	< 30
Nombre de conduites par Lit	> 2
Séparation entre le fond et le niveau phréatique (m)	> 0,60 ou 1,20
Épaisseur de la couverture (m)	> 0,15

Source : EPA, 1980

➤ Domaine d'application

Les Lits Filtrants sont des systèmes d'application pour le traitement des eaux urbaines résiduaires générées dans des logements isolés ou de petits groupes de logements isolés.

➤ Rendements moyens d'épuration

Paramètre	% Réduction
SS	80-90
DBO_5	80-90
DCO	75-85
N	50-80
P	40-70
Coliformes Fécaux	99-99,9

➤ Éléments clé du fonctionnement

- Caractéristiques adaptées du terrain par lequel s'infiltrent les effluents provenant du Traitement Primaire.
- Alternance des drains en fonctionnement, dans le but de préserver autant que possible les conditions aérobies dans les zones d'infiltration.

➤ Avantages

- Pour le service d'une même population, elles requièrent une surface moins importante que les Fossés Filtrants.
- Faibles coûts d'exploitation et de maintenance.
- Consommation énergétique nulle.
- Absence de pannes électromécaniques.
- Le contact des personnes ou des animaux avec les eaux résiduares est évité.
- Rendements d'épuration élevés.

➤ Inconvénients

- Leur implantation requiert une surface importante.
- La possibilité de leur application repose sur les caractéristiques du sol, principalement sur sa capacité d'infiltration et sur l'existence d'aquifères de faible profondeur.
- Si la conception et la maintenance ne sont pas correctes, les sources souterraines d'approvisionnement peuvent être polluées.
- Possibilité d'obstruction plus grande qu'avec les Fossés Filtrants.

3.1.5. PUIITS FILTRANTS

Les *Puits Filtrants* sont un système d'*Application Hypodermique au Sol* pour l'épuration des eaux urbaines résiduares.

Ces systèmes sont recommandés lorsque le niveau phréatique est bas (> 4 m) ; dans ce cas, il est possible de construire des *Puits* disposant d'une grande superficie verticale par rapport à celle qu'ils occupent horizontalement.

L'intérieur de Puits est renforcé par des anneaux de béton. Une couche de graviers d'environ 20 cm d'épaisseur par laquelle les eaux à traiter se dispersent dans le terrain est disposée au fond des Puits et sur la paroi externe des anneaux.

L'eau résiduaire prétraitée (provenant de *Fosses septiques* ou de *Réservoirs Imhoff*), est appliquée au terrain à travers la zone inférieure du *Puits*, les eaux se dispersant ainsi dans le sol. Lors de leur passage dans le *Puits*, elles sont épurées par aérobie et les particules en suspension sont retenues.

L'eau prétraitée est déchargée dans un partiteur depuis lequel l'alimentation alternée des différents Puits existants sera effectuée.

➤ Paramètres de conception

Paramètre	Valeur
Charge hydraulique ($\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ j}$)	0,025-0,05
Profondeur du Puits (m)	3-6
Diamètre du Puits (m)	2,5-3,5
Séparation entre le fond et le niveau phréatique (m)	> 1,20
Séparation entre les axes des Puits (m)	> 4 Ø

Source : Rohuart, 1986

➤ Domaine d'application

Les *Puits Filtrants* sont des systèmes d'application pour le traitement des eaux urbaines résiduaires générées dans des logements isolés ou dans de groupes de logements isolés.

➤ Rendements moyens d'épuration

Paramètre	% Réduction
SS	80-90
DBO_5	80-90
DCO	75-85
N	50-80
P	40-70
Coliformes Fécaux	99-99,9

➤ Éléments clé du fonctionnement

- Caractéristiques adaptées du terrain par lequel s'infiltrent les effluents provenant du *Traitement Primaire*.
- Alternance des puits en fonctionnement, dans le but de préserver autant que possible les conditions aérobies dans les zones d'infiltration.

➤ Avantages

- Requiert une surface d'implantation moins importante que d'autres *Systèmes d'Application Hypodermique au Sol* tels que les *Fossés* et les *Lits Filtrants*.
- Faibles coûts d'exploitation et de maintenance.
- Consommation énergétique nulle.

- Absence de pannes électromécaniques.
- Rendements d'épuration élevés.

➤ Inconvénients

- Si la conception et la maintenance ne sont pas correctes, les sources souterraines d'approvisionnement peuvent être trop proches.
- La possibilité de leur application repose sur les caractéristiques du sol, principalement sur sa capacité d'infiltration et sur l'existence d'aquifères de faible profondeur.

3.1.6. FILTRES DE SABLE INTERMITTENTS ENTERRÉS

Lorsque la nature du terrain rend impossible l'application des systèmes naturels d'*Infiltration Hypodermique* (perméabilité excessive ou imperméabilité), il est possible de recourir à un système d'*Infiltration par Filtres de Sable*.

Le *Lit de Sable* présente une épaisseur oscillant entre 0,6 et 1,0 m et repose sur une couche de gravier dans laquelle se trouvent les conduites de collecte de l'effluent épuré.

Après un prétraitement (normalement une *Fosse Septique* ou un *Réservoir Himhoff*), l'eau résiduaire est répartie sur la surface du filtre par l'emploi de conduites perforées.

Pour maintenir les conditions aérobies durant l'exploitation, l'eau résiduaire est appliquée dans le *Filtre* de manière intermittente.

➤ Paramètres de conception

Paramètre	Valeur
Traitement préalable	Fosse Septique ou similaire
Charge hydraulique ($\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ j}$)	< 0,040
Profondeur (cm)	60-90
Pente (%)	0,5-1,0
Dosage Inondation du Filtre avec fréquence	(> 2 fois/j)

Source : EPA, 1980

➤ Domaine d'application

Les *Filtres de Sable Intermittents Enterrés* sont des systèmes d'application pour le traitement des eaux urbaines résiduaire générées dans des logements isolés ou dans de petits groupes de logements isolés.

➤ Rendements moyens d'épuration

Paramètre	% Réduction
SS	80-90
DBO ₅	80-90
DCO	75-85
N	50-90
P	40-80
Coliformes Fécaux	99-99,9

➤ Éléments clé du fonctionnement

- Alimentation alternée dans les cycles de fonctionnement.
- Granulométrie du milieu filtrant.

➤ Avantages

- Faibles coûts d'exploitation et de maintenance.
- Consommation énergétique nulle.
- Absence de pannes électromécaniques.
- Le contact des personnes ou des animaux avec les eaux résiduaires est évité.
- Rendements d'épuration élevés.

➤ Inconvénients

- Leur implantation requiert une surface importante.
- Si la conception et la maintenance ne sont pas correctes, les sources souterraines d'approvisionnement peuvent être polluées.
- Si ils s'obstruent, il faut en construire de nouveaux.
- Adaptation aux surcharges hydrauliques limitée.

3.1.7. FILTRES VERTS

La technologie d'épuration des eaux résiduaires connue sous le nom de *Filtre Vert* est basée sur l'utilisation d'une surface de terrain où l'on établit une espèce forestière à laquelle l'eau résiduaire à traiter est appliquée, généralement par inondation ou par sillons.

L'espèce végétale la plus couramment employée dans les *Filtres Verts* est le peuplier noir, bien que l'on commence à travailler aussi avec de eucalyptus.

Avec cette technologie d'épuration, les eaux épurées ne sont pas réutilisables de manière immédiate mais sont infiltrées dans le terrain et incorporées aux aquifères. Pour contrôler la qualité des eaux qui s'infiltrent, on installe une série de lysimètres sur la parcelle où le *Filtre Vert* est implanté. Ces dispositifs permettent de recueillir des échantillons à différentes profondeurs. L'influent appliqué au *Filtre Vert* doit être soumis au préalable, et au minimum, à un processus de *Dégrossissage*, de manière à éviter

les obstructions dans les tubes de conduite et de répartition. Le terrain sur lequel le *Filtre* est implanté est subdivisé en une série de parcelles, qui sont irriguées par rotation, généralement par irrigation par ruissellement naturel.

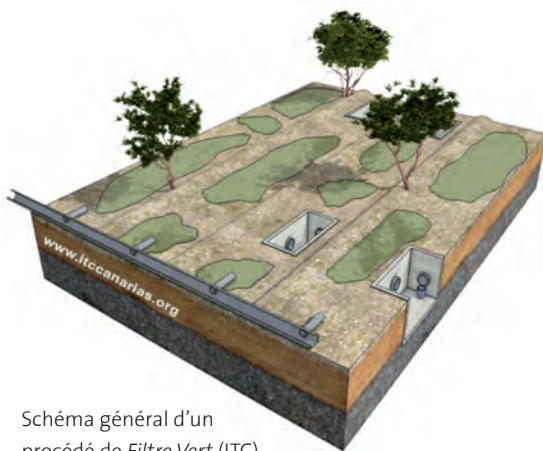


Schéma général d'un procédé de *Filtre Vert* (ITC)

➤ Paramètres de conception

Pour déterminer la surface nécessaire pour l'implantation d'un système d'épuration des eaux résiduaires basé sur la technologie de *Filtre Vert*, il faut connaître la *Charge hydraulique* applicable.

La détermination de la *Charge Hydraulique* est effectuée dans le respect le plus strict des deux conditions suivantes :

- *Perméabilité du sol.*
- Concentration d'azote dans l'eau percolée, pour laquelle il faut réaliser un bilan entre l'apport d'azote dans le terrain, conséquence de l'application de l'eau résiduaire, et l'élimination de ce nutriment par différentes voies : phénomènes de nitrification-dénitrification, volatilisation de l'ammoniac, captage par la culture, etc.

La fréquence des arrosages oscille entre une fois tous les 4 jours pour des sols sableux et une fois tous les 14 jours pour des sols argileux; un arrosage hebdomadaire étant une valeur relativement courante.

➤ Domaine d'application

Le rang le plus fréquent de ce type de technologie se situe en dessous de 500 h.e.

➤ Rendements moyens d'épuration

Paramètre	% Réduction
SS	85-95
DBO ₅	85-95
DCO	80-90
N	50-90
P	40-90
Coliformes Fécaux	99-99,9

➤ Éléments clé du fonctionnement

● Installation :

- Pour l'installation d'un *Filtre Vert*, une série de conditions liées au terrain et à l'eau résiduaire sont requises :
 - Bilan hydrique et des nutriments détaillé, en adoptant les conditions les plus défavorables pour évaluer besoins du terrain.
 - Des terrains présentant de caractéristiques de perméabilité et de granulométrie déterminées. Les terrains idéaux sont les terrains libres d'argile et de sable. Les sols argileux, sableux ou très sableux ne conviennent pas à cette technique.
 - Niveau de la nappe souterraine libre à plus de 1,5 m de la surface (bien que cette valeur doive généralement être doublée ou triplée).
 - Surface de l'ordre de 1 ha par tranche de 250 habitants, ce qui équivaut à environ 40 m²/hab, et pouvant varier de 10 à 90 m²/hab en fonction de la climatologie (principalement de la pluviométrie) et des caractéristiques du terrain.
 - L'influent ne doit pas contenir de substances nocives pour les espèces d'arbres cultivées.

● Maintenance et exploitation :

- La durée des périodes d'inondation doit être en harmonie avec le type de sol, dans le but d'éviter la formation prolongée de nappes d'eau d'infiltration qui pourraient donner lieu à des conditions d'anaérobiose.
- Réaliser un pulvérisage trimestriel afin d'aérer de nouveau le terrain, de briser les croûtes (principalement à proximité immédiate des bouches d'alimentation), et éliminer les broussailles et mauvaises herbes.

- La profondeur du travail de hersage ne doit pas dépasser 10 cm afin de ne pas endommager les racines des arbres. Cette opération ne doit jamais être réalisée au cours de la période où les arbres n'ont pas de feuilles, étant donné que c'est la végétation qui s'est développée entre les arbres qui se charge de mener à bien l'extraction des nutriments de l'eau résiduaire.
- Élaborer un travail d'élagage avant la pousse de printemps dans le but d'obtenir que les arbres présentent un tronc le plus droit possible.
- Contrôler et prévenir l'apparition de possibles ravageurs qui pourraient mettre en danger la vie des arbres.
- Suivi continu de l'ensemble du processus de fonctionnement.

➤ Avantages

- Simplicité d'exploitation, étant donné que les tâches d'exploitation et de maintenance se limitent à l'enlèvement de résidus du *Prétraitement*, à la rotation périodique de la parcelle à laquelle l'eau résiduaire est appliquée, et à un pulvérisage chaque trimestre dans le but de casser les croûtes qui auraient pu se former et d'aérer le terrain de nouveau.
- Absence de pannes en raison de l'absence d'équipements mécaniques.
- Le système peut fonctionner sans aucune consommation d'énergie.
- Les coûts d'exploitation de la station d'épuration peuvent être partiellement financés par la commercialisation du bois produit.
- Il n'y a pas de production de boues dans le processus d'épuration.
- Intégration parfaite dans le milieu rural.
- Les rendements d'épuration atteints sont très élevés.
- Le procédé admet parfaitement les augmentations des débits d'eaux résiduaires à traiter, dus aux augmentations de la population en été.
- Absence d'odeurs.

➤ Inconvénients

- L'implantation exige une grande surface de terrain (la plus grande de toutes les Technologies non Conventionnelles) ; son coût d'implantation est donc directement en rapport avec le prix du terrain.
- Elle requiert des terrains pas trop escarpés, d'une certaine capacité de filtrage et ne présentant pas d'aquifères à faible profondeur.
- Elle n'est pas applicable dans les zones où la pluviométrie est élevée.

3.1.8. MILIEUX HUMIDES ARTIFICIELS

Les *Milieux Humides Artificiels* sont des systèmes d'épuration constitués par des bassins ou des canaux peu profonds (normalement moins de 1 m), plantés de plantes propres aux zones humides (macrophytes aquatiques) et dans lesquels les processus d'épuration sont exécutés de manière simultanée par des actions physiques, chimiques et biologiques.

L'influent appliqué au système subit habituellement un *Dégrossissement* et un *Traitement Primaire* (généralement dans des *Réservoirs Imhoff* ou des *Fosses Septiques*).

Les *Milieux Humides Artificiels* peuvent aussi être utilisés pour restaurer des écosystèmes, et l'épuration peut donc constituer un objectif secondaire.

TYPES DE PROCÉDÉS

a) **Milieu Humide Artificiel à Flux Libre (FL).** Il est habituellement utilisé comme *Traitement Avancé* des eaux résiduaires. Il est composé d'un ensemble d'étangs ou de canaux parallèles, avec de la végétation émergente et des niveaux d'eau peu profonds (0,1-0,6 m). L'alimentation est généralement réalisée de manière continue.

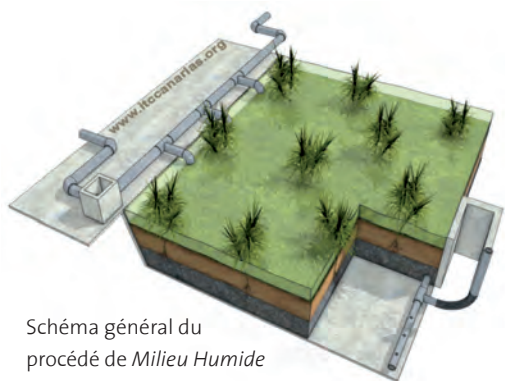


Schéma général du procédé de *Milieu Humide Artificiel à Flux Libre (FL)* (ITC)

b) **Milieu Humide Artificiel à Flux Hypodermique Horizontal (FHH).** Il peut être utilisé comme *Traitement Secondaire* ou *Avancé*. L'eau résiduaire *dégrossie* et avec *Traitement Primaire*, s'écoule horizontalement à travers un environnement poreux (gravillons, gravier), confiné dans un canal imperméable dans lequel la végétation émergente est implantée, de préférence du roseau sauvage. L'alimentation est réalisée de façon continue.



Schéma général du procédé de *Milieu Humide Artificiel à Flux Hypodermique Horizontal (FHH)* (ITC)

c) Milieu Humide Artificiel à Flux Hypodermique Vertical (FHV). Il peut être employé comme *Traitement Secondaire* ou *Avancé*. L'eau résiduaire *dégrossie* et le *Traitement Primaire*, s'écoule verticalement à travers un environnement poreux (sable, gravillons), et elle est recueillie dans un réseau de drainage situé dans le fond du *Milieu Humide*, qui communique avec des cheminées d'aération.



Schéma général du procédé de Milieu Humide Artificiel à Flux Hypodermique Vertical (FHV) (ITC)

➤ Paramètres de conception

Paramètre	Humidité de Flux Libre
Temps de rétention hydraulique (j)	4-15
Profondeur de l'eau (m)	0,1-0,6
Charge organique (kg DBO/ha j)	< 67
Charge hydraulique (m³/m² j)	0,014-0,046
Surface spécifique (ha/10³ m³ j)	7,1-2,2

Paramètre	Humidité de Flux Milieu Hypodermique Horizontal	Humidité de Flux Milieu Hypodermique Vertical
Charge organique (g DBO ₅ /m² j)	10-15	20-30
Profondeur moyenne du substrat (m)	0,3-0,6	0,8-1,0
Granulométrie du substrat actif (mm)	5-12	2-6

➤ Domaine d'application

Le rang d'application le plus fréquent de ce type de technologies se situe en dessous de 2000 h.e.

➤ Rendements moyens d'épuration

Paramètre	% Réduction
SS	80-90
DBO ₅	80-90
DCO	75-85
N	35-50
P	20-35
Coliformes Fécaux	99-99,9

➤ Éléments clé du fonctionnement (Milieu Humide à Flux Hypodermique)

- *Mise en marche :*
 - L'alimentation du *Milieu Humide Hypodermique Horizontal* débutera une fois que la plantation sera terminée afin d'en favoriser la croissance.
 - Périodiquement, le niveau de formation des nappes d'eau d'infiltration du substrat sera abaissé en modifiant la hauteur du point de sortie des effluents épurés, dans le but de forcer les plantes à développer leurs racines plus rapidement.
 - Quelques années après la plantation, on procédera à l'élévation du niveau de formation des nappes d'eau d'infiltration, jusqu'à ce qu'il se trouve légèrement en dessous de la surface du substrat, de manière à ce qu'il ne se forme pas de flaques sur celui-ci.
- *Maintenance et exploitation :*
 - Opérations de maintenance de *Déversoirs*, *Bypass* et *Prétraitement*.
 - Nettoyage périodique des systèmes de distribution en tête des canaux.
 - Éviter l'entrée dans la SEER d'animaux se nourrissant des plantes du *Milieu Humide*.
 - Éviter, autant que possible, de marcher sur le substrat du *Milieu Humide*, afin de ne pas le compacter et d'en diminuer la conductivité hydraulique.
 - Réaliser la coupe des plantes sèches une fois que leur période végétative est terminée.
 - Éliminer, particulièrement durant les premiers mois d'exploitation, les mauvaises herbes qui pourraient être en compétition avec les plantes du *Milieu Humide*.
 - Contrôle de l'apparition de maladies des plantes du *Milieu Humide*.
 - Si l'on dispose de *Réservoirs Imhoff* ou de *Fosses Septiques* en tête de l'installation, extraction périodique des boues accumulées.
 - Suivi continu de l'ensemble du processus d'exploitation.
 - Les problèmes les plus fréquents et leur solution.

- Dans un *Milieu Humide à Flux Hypodermique*, le colmatage du substrat peut constituer le principal problème.
- Par conséquent, si celui-ci a été correctement sélectionné, il faudra chercher la principale cause de colmatage dans le mauvais fonctionnement des traitements préalables. Il est recommandé de suspendre l'alimentation durant environ deux semaines.
- En hiver il est normal que les feuilles et les tiges meurent. Si cela se produisait à une autre époque de l'année, et n'était pas dû au manque d'eau, la cause pourrait être la présence de substances toxiques dans les eaux à épurer.

➤ Avantages

- Simplicité d'exploitation qui se limite à l'enlèvement des résidus du Prétraitement et à la coupe et au ramassage de la végétation après qu'elle ait séché.
- Absence de pannes en raison de l'absence d'équipements mécaniques.
- Le système peut fonctionner sans aucune consommation d'énergie.
- Systèmes flexibles et peu sensibles aux changements de débits et de charge.
- La biomasse végétale agit comme un isolant du sédiment; ce qui assure l'activité microbienne durant toute l'année.
- Dans les Milieux Humides Artificiels à Flux Hypodermique, comme l'eau circule en dessous de la surface du substrat, il n'y a pas de génération de mauvaises odeurs ni de prolifération de moustiques.
- Impact sonore sur l'environnement nul.
- Ne provoque pas d'odeurs.
- Intégration parfaite dans le milieu rural.
- Création et restauration de zones humides pour favoriser la biodiversité, l'éducation environnementale et les zones de loisirs.

➤ Inconvénients

- L'implantation exige une plus grande surface de terrain que les Technologies Con - ventionnelles d'épuration (environ 5 m²/h.e.).
- Génération de boues lors du traitement primaire ; bien que si l'on utilise des Réservoirs Imhoff ou des Fosses Septiques, l'enlèvement de ces boues est espacé dans le temps.
- 2 à 3 saisons de croissance des plantes sont nécessaires pour atteindre des rendements maximums.
- Pertes de débit par évapotranspiration, avec augmentation de la salinité dans les effluents épurés.

- Dans les Milieux Humides Artificiels à Flux Libre, comme l'eau circule au dessus de la surface du substrat, il y a prolifération de moustiques.

3.1.9. LAGUNAGES

La technologie d'épuration des eaux résiduaires connue sous le nom générique de *Lagunage*, se caractérise par la reproduction dans des bassins construits à cet effet des phénomènes d'autoépuration qui se produisent de manière naturelle dans les rivières et les lacs.

TYPES DE BASSINS

Il existe principalement trois types de bassins :

- *Bassins Anaérobies*. En raison de la charge organique élevée qu'elles supportent, les conditions d'absence d'oxygène, sont impératives; par conséquent, les micro-organismes qui y prolifèrent sont presque exclusivement des bactéries anaérobies. Leur profondeur oscille entre 3 m et 5 m.
- *Bassins Facultatifs*. Ils se caractérisent par trois strates clairement différenciées : une strate inférieure anaérobie, la strate supérieure aérobie, et une strate intermédiaire dans laquelle se produisent des conditions très variables et où les bactéries de type facultatives, qui donnent leur nom à ce type de bassin, prédominent. Leur profondeur oscille habituellement entre 1,5 m et 2 m.
- *Bassins de Maturation*. Comme ils supportent de faibles charges organiques et que des conditions propices à la pénétration de la radiation solaire adaptées au développement de micro-algues y sont réunies, et que les conditions de suffisance en oxygène y prédominent, elles sont l'habitat de micro-organismes aérobies. Leur profondeur est habituellement comprise entre 0,8 m et 1 m.



Anaérobies, Facultatifs et de Maturation (ITC)

Le système de *Lagunage*, qui pourrait être catalogué comme classique, est composé d'un système de *Prétraitement* (*Grilles de Dégrossissage*, *Désableur* et *Dégraisseur*), suivi, en série, des trois types de *Bassins* précédemment décrits :

➤ Paramètres de conception

Pour la conception du système de *Lagunage*, il existe une grande variété de méthodes, ce qui reflète les multiples conditions dans lesquelles ces systèmes ont été utilisés (différents types d'alimentation, de situation géographique, de conditions climatiques, etc.). Les *Bassins* qui intègrent ce système sont dimensionnés en fonction des recommandations suivantes :

Paramètre	B. Anaérobie	B. Facultatif	B. Maturation
Temps de rétention (j)	2-3	20-30	5
Charge volumétrique (g DBO ₅ /m ³ j)	150-200	-	-
Charge organique de surface (kg DBO ₅ /ha.j)	-	< 100	< 100
Profondeur (m)	3-5	1,5-2	0,8-1

Source : Compilation bibliographique

➤ Domaine d'application

Le rang d'application le plus fréquent de ce type de technologie se situe en dessous de 2000 h.e.

➤ Rendements moyens d'épuration

Paramètre	% Réduction		
	B. Anaérobie	B. Facultatif	B. Maturation
SS	50-60	0-70	40-80
DBO ₅	40-50	60-80	75-85
DQO	40-50	55-75	70-80
N	5-10	30-60	40-80
P	0-5	0-30	30-60
Coliformes fécaux	30-70	99,5-99,8	99,9-99,99

Les rendements sont déterminés par rapport aux eaux résiduares influentes.

➤ Éléments clé du fonctionnement

- Mise en marche :
 - Le début de fonctionnement du *Lagunage* peut être problématique étant donné que les micro-organismes responsables de l'épuration n'apparaissent pas spon-

tanément et ont besoin d'une période plus ou moins longue en fonction des conditions environnementales.

- Essayer de mettre le système de *Lagunage* en marche au printemps ou au début de l'été étant donné que la vitesse de croissance des micro-organismes est plus élevée à cette époque.
- La mise en marche du système doit être réalisée de manière séquentielle ; en premier lieu, on habilitera les *Bassins Anaérobies*, puis les *Bassins Facultatifs* et, enfin, les *Bassins de Maturation*.
- Il faudra attendre un certain temps dans chacun des bassins pour que les conditions propres à l'écosystème qui doit s'y développer soient réunies : conditions anaérobies (*Bassin Anaérobie*) et développement de micro-algues (*Bassin Facultatif*).
- Maintenance et exploitation :
 - Opérations de maintenance de *Déversoirs*, *Bypass* et *Prétraitement*.
 - *Bassins Anaérobies* :
 - Retrait périodique des objets flottants de la surface des *Bassins*.
 - Purge de boues accumulées au fond des *Bassins* en exploitation, avec une périodicité de 5 à 10 ans.
 - Révision des talus et réparation des dommages y ayant été provoqués.
 - Si les *Bassins* sont imperméabilisés à l'aide d'un film plastique et que des ouvertures y sont détectées, celles-ci doivent être réparées immédiatement.
 - *Bassins Facultatifs* et de *Maturation* :

Dans les installations où les effluents de l'étape anaérobie sont unifiés dans des caissons, depuis lesquels ils sont envoyés aux *Bassins Facultatifs*, il faut extraire régulièrement les sédiments et les solides flottants accumulés dans les caissons et vérifier le fonctionnement et l'étanchéité des vannes. Les mêmes opérations devront être réalisées dans les caissons qui conduisent les effluents des *Bassins Facultatifs* vers les *Bassins de Maturation*. Retirer périodiquement les solides flottants qui apparaissent à la surface des *Bassins*. Les talus de terre et les films d'imperméabilisation requièrent les mêmes travaux de maintenance que ceux indiqués pour les *Bassins Anaérobies*. Éviter la croissance de végétation spontanée dans les *Bassins* non imperméabilisés et dans les zones des talus.

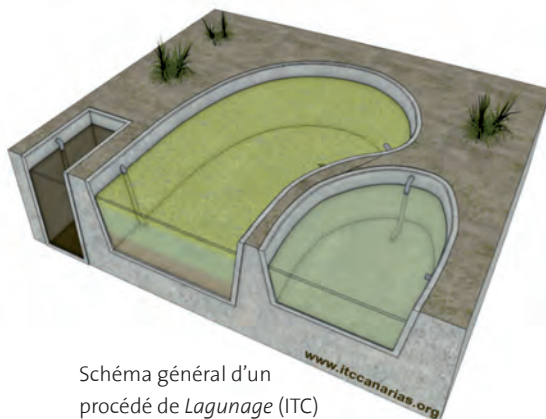


Schéma général d'un
procédé de *Lagunage* (ITC)

- Suivi continu de tout le procédé d'exploitation du système de *Lagunage*.
- *Les problèmes les plus fréquents et leur solution :*
 - Les types d'anomalies qui peuvent se présenter dans un système de *Lagunage* peuvent être dus à des problèmes inhérents à l'influent (débit ou composition) ou à des problèmes dérivés d'une mauvaise maintenance et exploitation.
 - Une augmentation excessive de débit peut provoquer des diminutions dans les rendements d'épuration.
Si l'on augmente le nombre de *Bassins Anaérobies* en fonctionnement, on corrige l'impact sur l'étape anaérobie. Si les *Bassins Facultatifs* et de *Maturation* sont uniques, la hauteur de la nappe d'eau peut être modifiée et le temps de rétention dans celles-ci ainsi augmenté. Si cela n'est pas faisable, la seule solution est de dériver l'excès de débit vers la sortie de l'étape anaérobie.
 - Des augmentations excessives de la charge organique conduisent à des surcharges dans les *Bassins*, entraînant le dégagement de mauvaises odeurs dans les *Bassins Anaérobies* et la variation de la coloration du verdâtre au marron-rosé, la présence de bouillonnement et la génération de mauvaises odeurs dans les *Bassins Facultatifs* et de *Maturation*.

La solution à ces problèmes consiste à diminuer l'alimentation des *Bassins* totalement jusqu'à obtenir le rétablissement des conditions initiales.

Avantages

- Faible coût de l'investissement, surtout si le terrain est suffisamment imperméable et facile à construire.
- Consommation d'énergie nulle, si l'eau à traiter peut parvenir à la station d'épuration par gravité.
- Absence de pannes en raison de l'absence d'équipements mécaniques.
- Maintenance faible et simple, qui se limite à retirer les résidus du Prétraitement et à maintenir la surface des Bassins libre de solides flottants afin d'éviter la prolifération de moustiques.
- Faible production de fanges qui subissent une forte minéralisation en conséquence des temps importants de rétention avec lesquels il est travaillé; ce qui en facilite énormément la manipulation et l'évacuation.
- Grande inertie ; ce qui permet une adaptation facile aux changements de débit et de charge organique.
- Pouvoir élevé d'abattement de micro-organismes pathogènes.

➤ Inconvénients

- Pour l'implantation de Bassins Facultatifs et de Maturation, de grandes étendues de terrain sont nécessaires.
- Étant donné la forte dépendance des conditions climatiques, l'implantation de ce système d'épuration peut être limitée dans des zones froides ou à faible radiation solaire.
- Dans le cas des Bassins Anaérobies, des odeurs désagréables sont dégagées, ce qui oblige à les situer dans des lieux éloignés des zones habitées.
- Récupération lente en cas de détérioration du système biologique.
- Effluent contenant une quantité importante de solides en suspension (micro-algues).
- Pertes d'eau par évaporation.

3.1.10. FILTRES DE TOURBE

Ce système d'épuration est basé sur le filtrage de l'eau urbaine résiduaire à travers des lits qui utilisent de la *tourbe* comme matière filtrante. La *tourbe* est un type d'humus qui se forme dans les conditions anaérobies propres aux milieux saturés d'eau.

Les *Filtres de Tourbe* sont composés d'enceintes dans lesquelles une série de couches filtrantes est disposée et dont la composition, du haut vers le bas, est habituellement : tourbe, sable, gravillons et graviers. L'action d'épuration est réalisée dans la couche de tourbe, alors que les autres strates n'ont pas d'autre fonction que celle de retenir la couche immédiatement supérieure.

L'influent appliqué aux *Filtres de Tourbe* doit être préalablement soumis à des processus de Dégrossissage et d'*élimination de graisses*. De même, pour éviter un colmatage rapide des pores de la tourbe, il convient que l'influent passe au préalable par des tamis ou qu'il soit soumis à une décantation-digestion. Cette technologie d'épuration étant basée sur des processus de filtrage, toutes ces opérations revêtent une grande importance.

Après le *Prétraitement*, les *Filtres* sont alimentés au moyen d'une série de conduites qui répartissent l'eau, de la manière la plus homogène possible, sur la surface des *Lits de Tourbe*.

Les *Filtres* fonctionnent de manière séquentielle, les uns étant en fonctionnement alors que les autres sont en cours de régénération, cette situation étant modifiée périodiquement. La durée des cycles de fonctionnement oscille entre 10 et 12 jours.

Après son passage par la tourbe, le sable, les gravillons et le gravier, l'influent est recueilli dans des canaux ou des conduites de drainage, depuis lesquels elle est menée jusqu'à la sortie.

SCHÉMA GÉNÉRAL D'UN PROCÉDÉ DE *FILTRES DE TOURBE*

➤ Paramètres de conception

Paramètre	Valeur
Charge hydraulique ($\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ j}$)	$\approx 0,6$
Charge organique ($\text{kg DBO}_5/\text{m}^2 \text{ j}$)	ffi 0,3
Charge de solides ($\text{kg SS}/\text{m}^2 \text{ j}$)	ffi 0,24
Durée des cycles (j)	10-12
Rapport surface totale/surface active	2:1

Source : CENTA

Le principal paramètre des *Filtres de Tourbe* est la *Charge hydraulique*. La valeur recommandée de $0,6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ j}$ a été obtenue à partir d'expériences menées avec des eaux résiduaires de contenus en DBO_5 et de Solides en Suspension 500 et de 400 mg/l, respectivement ; par conséquent, dans les cas où l'on partirait d'eaux plus chargées, dont les valeurs de *Charge organique* et de *Charge de Solides* dépasseraient les valeurs recommandées, il faudrait fonctionner avec des *Charges hydrauliques* inférieures à celle recommandée.

En ce qui concerne les caractéristiques physico-chimiques que les tourbes destinées au traitement des eaux urbaines résiduaires doivent réunir, le tableau suivant recueille les valeurs admissibles des différents paramètres à considérer.

Paramètre	Valeur
pH (extrait 1:5)	6-8
Conductivité (extrait 1:5) (dS/cm)	< 5
Humidité (%)	50-60
Cendres (%)	40-50
Matières Organique par calcination (%)	50-60
Extrait Humique Total (%)	20-30
Acides Humiques (%)	10-20
Capacité d'échange ionique (meq/100 g)	> 125
Rapport C/N	20-25
Azote Kjeldhal (% N)	1,2-1,5
Fer (ppm)	< 9000
Conductivité hydraulique (l/m 2 h)	25

Note : exception faite du pH, de la Conductivité et de l'Humidité, les données font référence à de la matière sèche.

Source : CENTA

➤ Domaine d'application

Le rang d'application le plus fréquent de ce type de technologie se situe en dessous de 2000 h.e.

➤ Rendements moyens d'épuration

Paramètre	% Réduction
SS	80-90
DBO ₅	75-85
DCO	70-80
N	30-50
P	15-35
Coliformes Fécaux	90-99

➤ Éléments clé du fonctionnement

● Mise en marche :

- Une fois que le nombre de *Filtres* stipulé dans le projet aura été mis en service, il suffira de permettre l'entrée des eaux résiduaires à traiter dans les différents éléments intégrant le *Prétraitement* et ensuite dans les lits filtrants, aucune attente n'étant nécessaire.
- Si, comme étape préalable, on a recours à un *Lagunage Anaérobie*, la mise en marche de ce dernier sera effectuée en remplissant les bassins, qui ont besoin de 4 à 5 jours pour établir les conditions d'anaérobiose (obscurcissement de l'eau et apparition de bouillonnement dans la masse liquide). Ultérieurement, on continuera à alimenter l'étape anaérobie avec le débit de conception, en employant l'effluent comme influent des *Filtres de Tourbe*.

● Maintenance et exploitation :

- Opérations de maintenance de Déversoirs, Bypass et *Prétraitement*.
- Comme étape préalable aux *Filtres de Tourbe*, il est recommandé de soumettre l'eau à traiter à un processus de tamisage, en ayant généralement recours à l'utilisation de *Tamis Statiques Autonettoyants*, d'une taille de passage d'environ 1 mm, ainsi qu'à un processus de dégraissage. Dans certaines installations de *Filtres de Tourbe*, on remplace les opérations de *Tamisage* et de *Dégraissage* par un *Lagunage Anaérobie*, *Fosse Septique* ou *Réservoir Imhoff*, qui doivent être convenablement entretenus et exploités pour fonctionner correctement.

- Les *Filtres de Tourbe* doivent fonctionner de manière échelonnée, certains étant en fonctionnement et d'autres au repos.
- On laissera sécher les *Filtres* qui ne sont pas en fonctionnement et il se formera une croûte, dont le temps de séchage variera en fonction des conditions météorologiques, et qui devra être retirée du *Filtre* une fois qu'elle sera sèche. Les *Filtres* doivent être préparés pour un nouveau cycle de fonctionnement.
- Remplacement périodique de la tourbe jusqu'à l'épaisseur recommandée. La perte d'épaisseur de la couche de tourbe en un an est d'environ 2 cm.
- Suivi continu de l'ensemble du processus d'exploitation.
- Les problèmes les plus fréquents et leur solution :
 - La création de *chemins préférentiels* dans la tourbe peut entraîner des déficiences de la qualité de l'épuration; pour que celle-ci soit correcte, il est recommandé d'effectuer correctement les tâches de défrichement et de ratissage.
 - Un mauvais fonctionnement du système de distribution de l'eau aux unités en fonctionnement peut entraîner un colmatage rapide des *Filtres*. Il faut parvenir à la distribution correcte de l'eau à traiter entre les *Filtres* en fonctionnement.

➤ Avantages

- Simplicité de fonctionnement, étant donné que les tâches d'exploitation et de maintenance se limitent à la régénération des lits épuisés (tous les 10-12 jours) ; ce pour quoi, une fois que leur surface est sèche, on procède, par ratissage, à l'élimination de la croûte superficielle et la scarification de la surface.
- Absence de pannes en raison de l'absence d'équipements mécaniques, l'installation pouvant fonctionner sans entraîner aucun coût en énergie.
- Il n'y a pas de production de boues mais d'une croûte sèche, facile à manipuler.
- Capacité de tolérance des oscillations de débit et de charge à traiter.
- Implantation requérant peu de terrain.
- Facile adaptation esthétique à l'environnement naturel.

➤ Inconvénients

- Dépendance des conditions pluviométriques, qui influent sur les temps nécessaires pour le séchage de la croûte superficielle et, par conséquent, affectent la surface de lits nécessaire. Une pluviométrie très élevée empêche l'implantation de cette technologie.

- Besoin de main d'oeuvre plus important qu'avec d'autres Technologies non Conventionnelles car, à la fin de chaque cycle de filtrage, il faut procéder à la régénération des filtres épuisés.
- Nécessité de procéder au changement de la tourbe tous les 6 à 8 ans de fonctionnement.

3.1.11. LIST BACTÉRIENS

Les *Lits Bactériens*, aussi connus sous le nom de *Filtres Percolateurs*, sont formés d'une cuve, ou réservoir, où est placé un remplissage de grande surface sur lequel une pellicule biologique est déroulée. L'eau résiduaire est distribuée de manière homogène par la partie supérieure du remplissage et traverse le lit filtrant par goutte à goutte. La ventilation du *Lit* (apport d'oxygène pour l'oxydation de la matière organique), se produit à travers des fenêtres situées dans la partie inférieure du réservoir. Cette ventilation s'effectue de manière naturelle, par l'effet de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du *Lit*.



L'eau traitée et les flocules bactériens qui se détachent du support sont recueillis par la partie inférieure du système et envoyés à un *Décanteur Secondaire* où les effluents épurés sont séparés des boues générées lors du processus.

Actuellement, pour le remplissage, c'est l'emploi de matériaux plastiques, sur lesquels se développe la pellicule bactérienne, qui s'impose.

Il convient de faire une distinction entre les *Lits Bactériens* :

- À *charge faible* : dispositifs d'épuration simples avec lesquels on obtient des effluents stables et hautement nitrifiés. Ils peuvent absorber de grandes variations de charge dans l'eau résiduaire brute et atteignent des rendements élevés d'élimination de charge organique.
- À *charge élevée* : la circulation est nécessaire; elle peut être réalisée avec l'effluent final du système ou avec l'effluent du *Lit* lui-même. Les objectifs de cette circulation sont : réaliser l'auto-nettoyage du *Lit*, ensemençer les eaux résiduaires avec des micro-organismes avant leur entrée dans le *Lit*, et diluer la concentration des eaux résiduaires influentes.

Les stations conçues pour fonctionner avec des systèmes de *Lits Bactériens* diffèrent peu dans leur schéma de celles qui emploient des *Technologies Conventionnelles*. Les traitements préalables (*Dégrossissage*, *Dessablage*, *Dégraissage*) et *Primaires* (*Décanteurs Primaires*) sont similaires, bien que dans les petites installations, le *Traitement Primaire* peut être remplacé par des systèmes de *Tamissage*, *Réservoirs Imhoff* ou *Bassins Anaérobies*. Les *Bassins Anaérobies* ou les *Réservoirs Imhoff* peuvent être utilisés, à leur tour, pour la stabilisation des boues provenant des *Décanteurs Secondaires*.

➤ Paramètres de conception

Paramètre	Charge faible	Charge moyenne	Charge élevée
Charge organique (kg DBO ₅ /m ³ j)	0,08-0,4	0,25-0,50	0,50-0,90
Charge hydraulique (m ³ /m ² j)	1,2-3,5	3,5-9,4	9,4-37,5
Rapport de circulation	0	0-1	1-2

➤ Domaine d'application

Le rang d'application le plus fréquent de ce type de technologie se situe en dessous des 5000 h.e.

➤ Rendements moyens d'épuration

Paramètre	% Réduction
SS	80-90
DBO ₅	80-90
DCO	75-85
N	20-35
P	10-35
Coliformes Fécaux	80-90

➤ Éléments clé du fonctionnement

- *Mise en marche :*
 - Pour le démarrage du processus de fonctionnement de *Lit Bactérien*, il est nécessaire de procéder à l'alimentation continue du *Lit* avec les eaux résiduaires provenant de la *Décantation Primaire* ou, le cas échéant, du *Lagunage Anaérobie*.
 - Observer qu'en 2 à 3 semaines, une pellicule biologique s'est formée sur le matériau plastique utilisé comme remplissage.
 - Si l'on a recours à un *Lagunage Anaérobie* comme étape préalable, il faudra remplir le bassin et suspendre son alimentation durant 4 à 5 jours, jusqu'à ce que l'on observe l'instauration des conditions d'anaérobiose. Ultérieurement, on continuera l'alimentation de l'étape anaérobie avec le débit de conception, en utilisant son effluent comme influent du *Lit Bactérien*.
- *Maintenance et exploitation :*
 - Opérations de maintenance de *Déversoirs*, *Bypass*, *Pompage* et *Pr-traitement*.
 - Vérification de l'état de fonctionnement du *Décanteur Primaire*. Les rendements habituels d'un *Décanteur Primaire* sont :
 - Paramètre % élimination
 - Solides Sédimentables 90-95
 - Solides en Suspension 40-60
 - DBO₅ 25-35
 - Dans les cas où la *Décantation Primaire* est remplacée par un *Lagunage Anaérobie*, l'étape anaérobie requiert des opérations de maintenance et d'exploitation qui ont déjà été mentionnées dans la monographie traitant du système de *Lagunage*.
 - Vérification de l'état de fonctionnement du *Lit Bactérien*, en contrôlant, entre autres aspects, que le *Lit* ne reste pas sans alimentation durant des périodes pro-

longées, car cela pourrait entraîner une détérioration de la biomasse des couches supérieures et un abaissement du rendement d'épuration.

- Vérification de l'état de fonctionnement des *Décanteurs Secondaires*.
- Maintenance électromécanique adaptée.
- Suivi continu de l'ensemble du processus d'exploitation.
- *Les problèmes les plus fréquents et leur solution :*
 - Dans le cas où la SEER disposerait de *Lagunage Anaérobie* comme étape préalable aux Lits Bactériens, si l'on travaille avec des charges très différentes de celles du projet, des anomalies pour charge insuffisante ou surcharge du système peuvent se produire; il faudra alors ajuster la charge entrante à celle du projet.
 - L'observation de bouillonnement à la surface des Décanteurs indique une présence élevée des boues décantées ; il faut donc augmenter les purges des Décanteurs.
 - Si l'on observe un détachement excessif de la bio-pellicule adhérent au support, il est possible que cela soit dû à la présence de toxiques, inhibiteurs de la croissance bactérienne ou à une charge hydraulique excessive.
 - Si l'on observe des réductions des rendements d'épuration, celles-ci peuvent être dues à : abaissement de la température ambiante, surcharges hydrauliques et/ou organiques, altérations des caractéristiques habituelles des eaux résiduelles, etc.

➤ **Avantages (face aux Technologies Conventionnelles)**

- Consommation d'énergie moins importante.
- Le contrôle de l'oxygène dissous et des solides en suspension dans le *Réacteur Biologique* n'est pas nécessaire.

Tout cela rend l'exploitation plus simple.

- Il ne se forme pas d'aérosols, ce qui évite que les ouvriers inhalent des microgouttes.
- Faible niveau de bruits en raison de la faible puissance installée.

➤ **Inconvénients (par rapport aux Technologies non Conventionnelles)**

- Les coûts d'installation sont élevés en raison du coût du remplissage plastique.

3.1.12. CONTACTEURS BIOLOGIQUES ROTATIFS

Les *Contacteurs Biologiques Rotatifs (CBR)*, sont des systèmes de traitement dans lesquels les micro-organismes responsables de la dégradation de la matière organique sont adhérents à un matériau de support qui tourne, semi-submergé, dans l'eau à épurer. De cette manière, la biomasse est alternativement mise en contact avec l'eau résiduaire à traiter et l'oxygène de l'atmosphère.



Parmi les *CBR*, il convient de distinguer entre :

- *Bio-disques* : le support pour la fixation bactérienne est composé par un ensemble de disques de matière plastique de 2 à 4 m de diamètre. Les disques sont maintenus parallèles et à peu de distance les uns des autres grâce à un axe qui les traverse en leur centre.
- *Bio-cylindres* : ils constituent une modification du système de *Bio-disques* dans lesquels le rotor est une cage cylindrique perforée, qui abrite en son intérieur un remplissage de matériau plastique auquel la biomasse bactérienne se fixe.

Les CBR fonctionnent couverts afin d'éviter que les agents météorologiques n'endommagent la biomasse.

Les stations conçues pour fonctionner avec de systèmes de CBR présentent des traitements préalables (*Dégrossissage*, *Dessablage* et *Dégraissage*) et *Primaires* (*Décantation*). Dans les petites installations, le *Traitement Primaire* peut être remplacé par des systèmes de *Tamissage*, *Réservoirs Imhoff* ou *Bassins Anaérobies*. Les *Bassins Anaérobies* ou les *Réservoirs Imhoff* peuvent être utilisés, à leur tour, pour la stabilisation de fanges provenant des *Décanteurs Secondaires*.

➤ Paramètres de conception

Le tableau ci-joint contient les valeurs habituelles des paramètres de conception des CBR, suivant qu'ils fonctionnent comme Traitement Secondaire ou avec Nitrification combinée.

Paramètre	Secondaire	Nitrification combinée
Charge hydraulique ($\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ j}$)	0,08-0,16	0,03-0,08
Charge organique :		
g $\text{DBO}_{55}/\text{m}^2 \text{ j}$	3,7-9,8	2,45-7,35
g $\text{DBO}_{5T}/\text{m}^2 \text{ j}$	9,8-17,5	7,35-14,70
Charge maximale à la première étape :		
g $\text{DBO}_{55}/\text{m}^2 \text{ j}$	19,6-29,4	19,6-29,4
g $\text{DBO}_{5T}/\text{m}^2 \text{ j}$	39,2-58,8	39,2-58,8
Charge de NH_3 ($\text{g}/\text{m}^2 \text{ j}$)	-	0,74-1,47
Temps de rétention hydraulique (h)	0,7-1,5	1,5-4,0

➤ Domaine d'application

Le rang d'application le plus fréquent de ce type de technologies se situe en dessous de 5000 h.e.

➤ Rendements moyens d'épuration

Paramètre	% Réduction
SS	80-90
DBO ₅	80-90
DCO	75-85
N	20-35
P	10-30
Coliformes Fécaux	80-90

➤ Éléments clé du fonctionnement

- *Mise en marche :*
 - Dans un premier temps, il faut procéder à l'alimentation continue du *CBR* avec les eaux résiduaires provenant des la *Décantation Primaire* ou, le cas échéant, du *Lagunage Anaérobie*. Ultérieurement (2 à 3 semaines) une bio-pellicule se formera sur le rotor. La biomasse adhérente au support aura un aspect filamenteux dans les tons marrons.
 - Durant la période de croissance de la bio-pellicule, les effluents générés seront de qualité déficiente.
- *Maintenance et exploitation :*
 - Opérations de maintenance de *Déversoirs*, *Bypass*, *Pompage* et *Pr-traitement*.
 - Vérification de l'état de fonctionnement du *Décanteur Primaire*. Les rendements habituels d'un *Décanteur Primaire* sont :

Paramètre	% Élimination
Solides Sédimentables	90-95
Solides en Suspension	40-60
DBO ₅	25-35

- Dans les cas où la *Décantation Primaire* est remplacée par un *Lagunage Anaérobie*, l'étape anaérobie requiert des opérations de maintenance et d'exploitation qui ont déjà été mentionnées dans la monographie traitant du système de *Lagunage*.
- Pour le fonctionnement correct du *CBR*, il est nécessaire que l'unité soit continuellement en rotation ; en effet, en cas d'arrêt, la biomasse qui reste hors de l'eau se détériore rapidement.

- La pellicule de biomasse qui se forme sur le rotor est vitale pour le fonctionnement correct du système, il ne faudra donc jamais procéder à son nettoyage.
- Vérification de l'état de fonctionnement du *Décanteur Secondaire*.
- Maintenance électromécanique adaptée.
- Suivi continu de l'ensemble du processus d'exploitation.
- *Les problèmes les plus fréquents et leur solution :*
 - Dans le cas où la SEER serait équipée de *Bassins Anaérobies* comme étape préalable aux *CBR*, si l'on travaille avec des charges très différentes de celles du projet, des anomalies de fonctionnement pour charge insuffisante ou surcharge du système peuvent se produire. Il faudra alors ajuster la charge entrante à celle du projet.
 - L'observation de bouillonnement dans les *Décanteurs Primaires* et *Secondaires*, indique une présence élevée des boues décantées dans les Décanteurs, ce qui se corrige en augmentant leurs purges.
 - Si l'on observe un détachement excessif de la bio-pellicule adhérent au support, il est possible que cela soit dû à la présence de toxiques, inhibiteurs de la croissance bactérienne dans l'eau à traiter.
 - Si l'on observe des réductions des rendements d'épuration, ceux-ci peuvent être dûs à : abaissement de la température ambiante, surcharges hydrauliques et/ou organiques, altérations des caractéristiques habituelles des eaux résiduaires.

➤ Avantages (face aux Technologies Conventionnelles)

- Consommation d'énergie moins importante.
- Il n'est pas nécessaire de faire circuler les fanges du *Décanteur Secondaire* dans la zone biologique car la concentration de biomasse bactérienne adhérent au support est suffisante.
- Meilleur comportement face à la présence de toxiques ; en effet, la flore bactérienne ne reste pas immergée dans l'eau de manière continue mais se trouve en contact avec l'air pendant une grande partie du temps ; conditions dans lesquelles elle peut être récupérée.
- Le contrôle de l'oxygène dissous et des solides en suspension dans le *Réacteur Biologique* n'est pas nécessaire. Tout cela rend l'exploitation plus simple.
- Facilité de construction graduelle. Comme il s'agit d'un procédé de construction modulaire, son agrandissement peut être réalisé en fonction des besoins d'épuration.
- Il ne se forme pas d'aérosols, ce qui évite que les ouvriers inhalent des microgouttes.
- Faible niveau de bruits en raison de la faible puissance installée.

- Comme les unités de *CBR* sont généralement situées dans des enceintes couvertes, la température de l'eau à épurée est maintenue à un niveau plus élevé, ce qui améliore le rendement durant les périodes froides.

➤ Inconvénients (par rapport aux Technologies non Conventionnelles)

- Les coûts d'installation sont élevés.
- Génération, lors du processus, de boues qui doivent être stabilisées.
- Équipements spécifiques sujets à des brevets.

C. TECHNOLOGIES CONVENTIONNELLES

3.1.13. AÉRATIONS PROLONGÉES

L'*Aération Prolongée* est une modification du procédé de *Boues Activées* pour le traitement biologique des eaux résiduaires dans des conditions aérobiques ; elle fait partie des procédés appelés *Technologies Conventionnelles*.

Les stations les plus courantes sont celles de type préfabriqué dans lesquelles l'eau résiduaire, après une étape de *Prétraitement*, est introduite dans une *Cuve d'Aération* ou *Réacteur Biologique*, où une culture bactérienne, composée d'un grand nombre de micro-organismes regroupés en flocules (*Boues Activées*) et appelée « *liqueur mixte* » est maintenue en suspension.



RÉACTEUR BIOLOGIQUE DÉCANTEUR SECONDAIRE

Les conditions aérobies dans le *Réacteur* sont obtenues par l'utilisation d'aérateurs mécaniques ou diffuseurs qui, en plus d'oxygéner, permettent l'homogénéisation de la *liqueur mixte* en évitant la sédimentation des flocules dans le *Réacteur*.

Après avoir été maintenue un certain temps dans le *Réacteur*, la *liqueur mixte* est passée dans un *Décanteur* ou *Clarificateur*, qui peut être annexe à la cuve ou inclus à l'intérieur de celle-ci et dont la fonction est de séparer l'effluent épuré des boues (nouvelles cellules). On fait circuler à nouveau une partie des boues dans le *Réacteur*, afin d'y maintenir une concentration déterminée de micro-organismes ; le reste étant purgé périodiquement.

On distingue donc deux opérations différentes :

- L'oxydation biologique, qui a lieu dans le *Réacteur* ou *Cuve d'Aération*.
- La séparation solide-liquide, qui est réalisée dans un *Décanteur* ou *Clarificateur*.

L'*Aération Prolongée* fonctionne avec des charges organiques très faibles et des temps d'aération importants, sans *Décantation Primaire*, et génère des boues stabilisées, qui doivent simplement être déshydratées avant leur disposition finale.

➤ Paramètres de conception

<i>Réacteur Biologique</i>	
Paramètre	Valeur
Charge massique (kg DBO ₅ /kg SSLM /j)	0,05-0,1
Charge volumétrique (kg DBO ₅ / m ³ j)	0,1-0,4
Temps de rétention hydraulique (h)	18-36
Solides en Suspension dans la cuve (g/l)	3,0-6,0
Âge de la fange (j)	20-30
Rapport Circulation (or/Q) (%)	75-150

SSLM : Solides en Suspension de la *liqueur mixte*, or : débit de boues circulées (m³/j),

Q : débit d'eaux résiduaires à traiter (m³/j)

<i>Décanteur Secondaire</i>	
Paramètre	Valeur
Charge superficielle ($\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$)	Q_{moy} 0,4-0,6
	Q_{max} 0,8-1,2
Charge de solides ($\text{kg SS}/\text{m}^3 \text{ h}$)	Q_{moy} 1,5-2,0
	Q_{max} 3,0-4,0
Temps de rétention hydraulique (h)	Q_{moy} 3-5
Débit en décharge ($\text{m}^3/\text{ml h}$)	Q_{moy} 4-6
	Q_{max} 8-12

Production de boues ($\text{kg ms} / \text{kg DBO}_5$ éliminée) : 0,6-0,8 ; où ms correspond à la matière sèche.

➤ Domaine d'application

L'*Aération Prolongée* est un système généralement appliqué pour le traitement des eaux résiduaires de localités de moins de 10 000 habitants. Elle est employée dans des stations préfabriquées (qui sont habituellement enterrées), pour l'épuration des eaux de petites agglomérations : lotissements, écoles, campings, etc.

➤ Rendements moyens d'épuration

Paramètre	% Réduction
SS	80-90
DBO_5	85-95
DCO	80-90
N	30-40
P	20-30
Coliformes Fécaux	85-95

➤ Éléments clé du fonctionnement

Les principaux éléments clé du fonctionnement du procédé d'*Aération Prolongée* sont basés sur un dimensionnement correct de l'installation, ainsi que sur un contrôle adapté du processus.

Le contrôle du processus est basé sur l'évaluation et l'action de certains facteurs, liés entre eux, qui favorisent le traitement efficaces des eaux résiduaires. Ces facteurs sont principalement :

- Caractéristiques des eaux résiduaires à traiter : débits, qualités, présence de toxiques, etc.
- Qualité de l'effluent épuré : pourcentage d'élimination de solides en suspension, matière organique, nutriments, pathogènes, etc.
- Concentration d'oxygène dissous dans les *Cuves d'Aération*; apport qui doit être ajusté en fonction de la charge organique à traiter.
- Quantité de boue qui doit être maintenue dans le système en fonction de la charge organique influente. Pour atteindre le rendement souhaité, il est fondamental de maintenir une certaine *Charge massique*.
- Décantabilité des boues dans les *Décanteurs Secondaires*. Cette décantabilité peut être évaluée à l'aide de l'*Indice Volumétrique de Fanges (I.V.F.)*, c'est à dire le rapport entre le *volume de fanges décantée* en 30 minutes (V_{30}) et les *SSML*.
- Les débits de circulation de boues depuis les *Décanteurs Secondaires* jusqu'aux *Cuves d'Aération*. La circulation permet de réguler le niveau de *SSLM* dans ces *Cuves*.
- Purges des excédents de boues. Ces purges permettent de réguler l'*âge de la boue* et les niveaux de *SSLM* dans les *Cuves Biologiques*.
- Contrôler la qualité des boues qui retournent à l'entrée du circuit de traitement.

➤ Avantages

- Faibles besoins de surface.
- Faible impact sur l'environnement si l'installation est enterrée.
- Bon rendement d'élimination de matière organique et de solides en suspension.
- Les boues sortent déjà stabilisées de la *Cuve Biologique*.

➤ Inconvénients

- Consommation d'énergie élevée.
- Flexibilité limitée face aux changements de débit ou de charge organique.
- Si l'on emploie des aérateurs de surface, il se forme des aérosols qui peuvent transporter des agents pathogènes.

Inconvénient qui peut être éliminé si les cuves sont couvertes.

- Faibles rendements d'élimination de nutriments et de pathogènes.
- Contrôle du processus plus complexe qu'avec les *Technologies non Conventionnelles*.

4

CRITÈRES DE SÉLECTION DES TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT DES EAUX RÉSIDUAIRES À APPLIQUER DANS LES PETITES AGGLOMÉRATIONS URBAINES

La sélection de la technologie à appliquer pour le traitement des eaux résiduaires générées dans les petites agglomérations urbaines sont conditionnées par une série de facteurs qui rendent possible, limitent ou empêchent leur utilisation dans chaque cas concret. Les principaux facteurs à prendre en considération sont exposés ci-dessous.

4.1. TAILLE DE LA POPULATION À TRAITER

Les rangs de population optimum d'application des diverses technologies sont différents et sont essentiellement conditionnés par les besoins de terrain pour leur implantation. Les valeurs moyennes de ces besoins (par habitant équivalent) sont les suivantes :

Tableau 4.1. Rangs de population optimaux d'application des technologies d'épuration des eaux urbaines résiduaires

Technologie	m ² /h.e.
Filtres Verts (surface de terrain planté)	30-50
Milieux Humides Artificiels (surface du Milieu Humide)	3-5
Lagunages (surface des nappes d'eau)	7-10
Filtres de Tourbe (surface totale de tourbe)	0,5-1,0
Lits Bactériens (surface totale)	0,1-0,3
Contacteurs Biologiques Rotatifs (surface totale)	0,1-0,3
Aérations Prolongées (surface totale)	0,1-0,3

En raison des besoins de surface élevés dans le domaine d'application normale de la majorité des Technologies non Conventionnelles, celles-ci sont surtout appliquées à des

noyaux de population de petite taille, bien que cela n'empêche pas de trouver des installations d'épuration en fonctionnement et basées sur ce type de technologies dans des localités beaucoup plus grandes.

4.2. CONDITIONS CLIMATIQUES DE LA ZONE OÙ LA STATION DE TRAITEMENT SERA IMPLANTÉE

Les *Filtres Verts*, les *Milieux Humides Artificiels* et les *Lagunages* qui sont des technologies basées sur des processus naturels, sont les plus influencées par les conditions climatiques dominantes.

La pluviométrie affecte de manière fondamentale le *Filtre Vert* car elle limite la quantité d'eau résiduaire qui peut être apportée à la plantation; elle affecte aussi les *Filtres de Tourbe* car elle prolonge les périodes nécessaires pour le séchage de la croûte de surface.



Des indices d'évaporation élevés favorisent l'implantation des *Filtres Verts* car ils permettent l'alimentation de plus grands volumes d'eau résiduaire. Cependant, dans le cas

des *Lagunages* ils conduisent à des pertes importantes de l'eau stockée et à des hausses de la salinité des effluents épurés.

La radiation solaire incidente est particulièrement importante dans les *Lagunages* car elle affecte directement les processus de photosynthèse que les micro-algues réalisent dans les *Bassins Facultatifs* et de *Maturation*.

Pour les *Lits Bactériens*, les *Contacteurs Biologiques Rotatifs* et les *Aérations Prolongées*, le principal facteur climatique à prendre en considération est la température ; bien que les *Contacteurs*, qui fonctionnent couverts, soient les moins affectés par les circonstances météorologiques dominantes.

4.3. IMPACT EXERCÉ PAR L'INSTALLATION DE TRAITEMENT SUR L'ENVIRONNEMENT

Une attention particulière doit être accordée aux possibles impacts environnementaux (esthétiques, olfactifs, sonores, etc.) que l'implantation de la station d'épuration pourrait entraîner. Les Technologies de *Filtres Verts*, *Milieux Humides Artificiels* et *Lagunages*, sont celles qui offrent la meilleure intégration environnementale.

Dans le cas des *Lits Bactériens*, des *Contacteurs Biologiques Rotatifs* et des *Aérations prolongées*, il est nécessaire d'installer des moteurs, dont la puissance va croissant suivant l'ordre de l'énumération de ces technologies. En fonction de leur puissance, ces moteurs provoqueront des impacts sonores sur l'environnement plus ou moins prononcés.

Les *Lits Bactériens* étant composés de réservoirs d'environ 5 m de hauteur ont un impact visuel important sur l'environnement. Cet impact peut être diminué en les peignant ou en les « habillant » de plantes grimpantes.

4.4. COÛTS D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE

En ce qui concerne les coûts d'exploitation et de maintenance, étant données les faibles ressources des Mairies des petites communes, c'est dans celles-ci que les Technologies non Conventionnelles offrent leurs principaux avantages par rapport aux systèmes Conventionnels d'épuration des eaux résiduelles.

On trouve comme partie intégrante de ces coûts :

- Le coût du personnel : c'est un des facteurs dont l'incidence est la plus grande sur le coût total d'exploitation.

Dans les Technologies non Conventionnelles de *Filtres Verts*, *Milieux Humides Artificiels*, *Lagunages* et *Filtres de Tourbe*, la simplicité des tâches d'exploitation et de maintenance rend la participation de personnel qualifié non nécessaire, ce qui entraîne l'abaissement du coût de ce concept.

Les *Lits Bactériens* et les *Contacteurs Biologiques Rotatifs*, bien qu'ils présentent un fonctionnement plus complexe étant donné qu'ils requièrent du personnel de maintenance d'un niveau de formation supérieur à celui exigé par les systèmes d'épuration naturelle, présentent un degré de complexité inférieur à celui des *Aérations Prolongées*.



- Les coûts de maintenance électromécanique : ils sont nuls dans les systèmes de *Filtres Verts*, les *Milieux Humides Artificiels* et les *Filtres de Tourbe*, car ils ne comportent pas d'équipements électromécaniques; mais dans le cas des *Lits Bactériens*, des *Contacteurs Biologiques Rotatifs* et des *Aérations Prolongées* il faut en revanche tenir compte de ce type de coûts.
- Les coûts de l'énergie électrique consommée sont, avec ceux du personnel, ceux qui ont la plus grande incidence sur le coût total de l'exploitation.

Du point de vue des coûts de l'énergie, si il n'est pas nécessaire de pomper l'eau résiduaire et que celle-ci parvient par gravité jusqu'à la station d'épuration, les systèmes de *Filtres Verts*, de *Milieux Humides Artificiels*, de *Lagunages* et de *Filtres de Tourbe* peuvent fonctionner sans aucun coût d'énergie.

Les systèmes de *Lits Bactériens* et de *Contacteurs Biologiques Rotatifs*, bien qu'ils requièrent une consommation d'énergie pour leur fonctionnement, en exigent

moins que les *Aérations Prolongées*, dont les besoins sont inférieurs à ceux des *Lits Bactériens*, inférieurs à leur tour à ceux des *Contacteurs*. En ce qui concerne le coût des réactifs, celui-ci est nul dans le cas des Technologies non Conventionnelles car l'ajout d'aucun produit n'est nécessaire à leur fonctionnement correct.

Dans le cas des *Lits Bactériens*, des *Contacteurs Biologiques Rotatifs* et des *Aérations Prolongées*, si l'on a recours à l'extraction mécanique des boues générées lors des processus de traitement, on consomme des réactifs lors du conditionnement chimique des boues, étape préalable à leur déshydratation.

- Les coûts de traitement, de transport et d'évacuation des boues générées lors du processus d'épuration, constituent une partie importante des coûts d'exploitation d'une station d'épuration. En ce qui concerne ce point, le comportement des différentes technologies non Conventionnelles est le suivant :
 - dans les *Filtres Verts* il n'y a pas de génération de fanges, mais d'une croûte qui se forme aux alentours des points d'alimentation et qui est brisée périodiquement lors des tâches de maintenance et réintègre le terrain où elle se biodégrade.
 - dans les *Lagunages* la nécessité de purger l'excédent de boues est très espacée dans le temps et, étant donnée l'importance des temps de résidence (de 5 à 10 ans), les boues extraites sont parfaitement minéralisées et leur volume s'est considérablement réduit.
 - dans les *Filtres de Tourbe* il n'y a pas de génération de boues mais le résidu du traitement est constitué par une croûte sèche, facile à manipuler.
 - dans les *Milieux Humides Artificiels* il faut procéder à l'extraction périodique des boues décantées lors de l'étape préalable au traitement, et, annuellement, à la coupe et à l'extraction des plantes sèches, une fois que leur cycle végétatif est terminé.
 - dans les systèmes de *Lits Bactériens* et de *Contacteurs Biologiques Rotatifs* des boues fraîches sont générées.

Afin de tenter de minimiser les problèmes que cela entraîne, on a fréquemment recours à l'utilisation de *Fosses Septiques*, de *Réservoirs Imhoff* ou de *Lagunages Anaérobies* préalables. On fait circuler les excédents de boues, générés lors du processus d'épuration, dans les éléments situés en début de traitement et ils en sont extraits une fois digérés, à la fréquence nécessaire. Dans le cas des *Aérations Prolongées*, les fanges, comme conséquence de l'âge important de la boue avec laquelle on travaille, sont déjà stabilisées lorsqu'elles sont purgées des *Décanteurs* et il est donc seulement nécessaire de procéder à leur concentration avant leur séchage. La déshydratation, dans le cas de petites installations peut être réalisée en faisant usage d'*Aires de Séchage*.

5

EXPÉRIENCE ET RÉSULTATS DE L'INSTITUT TECHNOLOGIQUE DES CANARIES DANS L'APPLICATION DE SYSTÈMES NATURELS D'ÉPURATION DES EAUX RÉSIDUAIRES AUX ÎLES CANARIES

Les petites communautés, et en raison de leur localisation géographique, fondamentalement les communautés rurales, présentent une problématique spécifique qui rend difficile l'approvisionnement des services d'assainissement et d'épuration. Dans cette problématique on peut souligner les points suivants :

- L'accessibilité difficile, voire nulle, aux réseaux d'assainissement connectés aux systèmes d'épuration centralisés conventionnels en raison de l'éloignement ou de l'orographie compliquée. Cette situation peut également, arriver à conditionner la fourniture d'énergie électrique depuis un réseau général.
- Les concentrations d'entrée élevées et les grandes oscillations de débit, rendent plus difficile d'accomplir les objectifs de concentration dans les effluents épurés, ou ceci s'atteint à force de d'une consommation énergétique plus élevée.
- Le fait de ne pas pouvoir tirer profit des avantages qu'implique l'économie à échelle comme conséquence de sa petite taille, supporte des coûts d'implantation, d'entretien et d'exploitation par habitant élevés. En plus, dans des populations éparses, les coûts d'assainissement s'accroissent notablement.
- La faible capacité technique et économique pour l'entretien et l'exploitation des installations de traitement des eaux résiduaires conventionnelles des communautés locales, et en général, le manque de techniciens qualifiés dans ce secteur.

Fréquemment, les stations d'épuration pour le traitement des déchets générés dans les petites agglomérations urbaines, ont été conçues et dessinées comme des modèles à échelle réduite à partir des grandes installations d'épuration. Comme conséquence directe de cette action, les stations d'épuration des petits noyaux de population, présentent des coûts d'exploitation et d'entretien que, les organismes locaux supportent très difficilement, car leurs ressources techniques et économiques sont très limitées. En matière de traitement des eaux résiduaires, les petites agglomérations nécessitent

des actions compatibles avec les conditions exigées aux effluents épurés, moyennant des techniques de fonctionnement simple, et des coûts d'exploitation et d'entretien qui peuvent être vraiment assimilables. En définitive, ils sont nécessaires des solutions plus soutenables et, c'est là où l'on peut encadrer les Systèmes Naturels d'Épuration.

À cause de ceci, lorsque l'on va sélectionner des solutions pour le traitement des eaux résiduares, provenant des petits noyaux de population, on devrait prendre en compte les technologies qui:

- Présentent un coût énergétique **nul ou minimum**.
- Requièrent un entretien et une exploitation très simples.
- Garantissent un fonctionnement efficace et stable face aux grands oscillations de débit et de charge polluante des influents à traiter.
- Simplifient et minimisent la gestion des boues générés dans le processus d'épuration.
- Présentent une bonne intégration environnementale.

C'est à cause de tous ces facteurs exposés, que l'Institut Technologique de Canaries (ITC) commence en 1998-99, une ligne de travail pour l'implémentation, et la démonstration des systèmes d'épuration naturelle aux îles Canaries. En effet, l'ITC s'avance aux exigences futures, car il est conscient que le secteur de l'épuration à petite échelle, constitue une opportunité future pour une meilleure exploitation de l'eau, de la biomasse et des nutriments à un coût énergétique faible, en plus de l'effet dynamisant que, ce secteur a sur la création d'emploi local.

Ainsi, en 1999 une première initiative s'est mise en service dans *l'Aula de la Laurisilva*, propriété du *Cabildo Insulaire* de Grande Canarie. Puis, dans l'année 2000 entrent en service d'autres projets démonstratifs, comme le projet du *Campus de Tafira de l'Université de Las Palmas de Grande Canarie* et celui de la *Finca de la Data*, propriété du *Cabildo de Ténérife*. Après dix ans, tous ces projets continuent opératifs avec des résultats de fonctionnement optimaux.

À partir de 2004 se développe le projet DEPURANAT (étant l'ITC leader du projet). Grâce à ce projet une association d'organismes de l'Andalousie, du Nord du Portugal, du Sud de la France et des Canaries, travaillent en collaboration pour : partager des connaissances, étudier en profondeur, démontrer et développer des outils capables de générer une plateforme de confiance, et de diffuser les différentes manières d'aborder le traitement des eaux résiduares du contexte rural futur. Les résultats de ce projet se reflètent, de manière synthétique, dans la publication de *Gestion Sostenible del Agua Residual en Entornos rurales* (*Gestion Soutenable de l'eau résiduaire dans des contextes ruraux*), éditée actuellement par NetBiblo. Mais à partir de ce projet se dessinent et développent d'autres projets démonstratifs, parmi lesquels on peut souligner 3 systèmes pilotes :

- Le système de « filtres verts » et des combinaisons de zones humides artificielles de la Plante Expérimentale de *Carrión de los Céspedes* situés en Andalousie et gérés par la Fondation Centre des Nouvelles Technologies de l'eau (Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del agua-CENTA).
- Un système de « filtre vert » situé au Nord du Portugal.
- Trois projets de zones humides artificielles, développées et gérées avec les associations et fédérations des Municipalités du sud-ouest et zones moyennes de Grande Canarie et situées : à Santa Lucía (combinaison de zones humides artificielles à flux vertical et horizontal) ; à Temisas (zones humides horizontales en série, avec un système d'épuration conventionnel) ; et au Lomo Frenegal (zones humides horizontales disposées en parallèle). Dans ce projet s'est réalisé le suivi d'autres projets développés par le Cabildo de Ténérife au *Parc Rural de Teno*, comme ceux de *l'Auberge de Bolico* (Logement de Bolico) et du hameau de « *Los Carrizales* ».

5.1. FONDEMENTS ET CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES NATURELS D'ÉPURATION

Les technologies d'épuration des eaux urbaines résiduaires qui réunissent les caractéristiques exposées dans le paragraphe antérieur, peuvent se cataloguer sous le nom générique de « Systèmes Naturels d'Épuration ». Même si, parfois on les applique d'autres nomenclatures (technologies de coût énergétique faible, technologies non-conventionnelles, technologies soutenables ou technologies d'épuration écologiques) ; ici on a préféré mettre l'accent sur le concept de **système** (en tant que procédé capable d'intégrer des éléments différents, tels que : environnement, milieu socioéconomique, formes variées de dessin et d'intégration qui déclenchent la créativité, etc.) et sur le concept de **naturel** (comme reproducteur des procédés trouvés dans la nature).

Les systèmes naturels d'épuration offrent des prestations intéressantes pour une gestion décentralisée des eaux résiduaires. Les eaux résiduaires des milieux ruraux, normalement présentent des charges supérieures de matière organique, et nutriments qui peuvent être épurés au moyen des systèmes naturels d'épuration de manière simple, économique, fiable et respectueuse avec l'environnement. Ainsi, ces déchets ne sont plus des déchets problématiques, mais une autre solution pour traiter les eaux résiduaires. En outre, si le dessin et les conditions d'opération se correspondent, il peut se produire de l'eau régénérée viable pour être réutilisée conformément aux normes. Cette alternative est très intéressante pour les installations agricoles, ou pour les installations touristiques, éducatives et de loisirs localisés dans le milieu rural et naturel. En effet, ce type d'installations, en dehors de résoudre la question du traitement des eaux résiduaires, contribue à la conservation et au développement de paysages et d'écosystèmes

de grande valeur, ainsi qu'au renforcement des programmes éducatifs d'intégration, et de respect de l'environnement.



En définitive, les systèmes naturels d'épuration sont le résultat de l'exercice du dessin, s'inspirant de l'action épurative, caractéristique du renouvellement permanente de matière, et d'énergie d'un écosystème naturel quelconque. Grâce à la récréation et au dessin d'écosystèmes, on réussit à traiter l'eau, à transformer les déchets organiques présents dans l'eau, en matières potentiellement profitables. Conventionnellement, le traitement des eaux résiduaires s'est établi comme une action d'amélioration environnementale linéaire et détachée de leur milieu. L'on épure, afin de ne pas polluer le fleuve, le canal, l'aquifère ou le sol où les eaux résiduaires se rejettent, à ce sujet se réalisent d'importants investissements économiques pour éviter que les déchets portent atteinte à l'environnement. Néanmoins, on oublie parfois d'établir le traitement des eaux résiduaires comme un mécanisme de récupération, d'épargne et d'intégration environnementale et socioéconomique. Le dessin de ces systèmes constitue un recours de lui-même, car ils possèdent une importante valeur paysagère, développent la biodiversité caractéristique des zones d'emplacement, et relancent des secteurs d'emploi comme celui de la construction.

Les procédés qui interviennent dans les systèmes naturels d'épuration des eaux résiduaires, sont semblables aux systèmes appliqués dans les traitements conventionnels d'épuration des eaux résiduaires (sédimentation, filtrage, adsorption, précipitation chimique, échange ionique, dégradation biologique, aérobie et anaérobie, etc.) conjointement à d'autres procédés propres de la nature (photosynthèse, photo-oxydation, assimilation de nutriments par les plantes, déprédation, etc.). La différence fondamentale c'est que, dans les technologies conventionnelles, ces phénomènes se produisent de manière séquentielle dans des réservoirs et des réacteurs, et à des vitesses accélérées grâce à l'apport d'énergie. Tandis que, dans les systèmes naturels d'épurations on travaille à une vitesse dite « naturelle », sans aucun apport d'énergie. L'épargne d'énergie est compensée alors avec une plus grande nécessité de surface pour réaliser le processus.

Si l'on analyse en détail les aspects caractérisant les systèmes naturels d'épuration, par rapport à d'autres systèmes fondés sur des technologies plus intensives, l'on peut indiquer qu'ils se concrétisent dans :

Des coûts énergétiques minimaux : de manière schématique, pour l'épuration biologique aérobie (la plus efficace et la plus rapide), il est nécessaire de mettre en contact les eaux résiduaires avec des bactéries et avec de l'oxygène (air). Ces trois composantes doivent se trouver dans des proportions optimales. Comme résultat du traitement, le courant entrant (eaux résiduaires) déclenche deux courants finaux : effluents épurés et boues. Dans les boues vont se concentrer la plupart des polluants éliminés dans le processus d'épuration. Les eaux et les bactéries des excréments humains, arrivent ensemble aux stations de traitement, tandis que l'apport d'oxygène est le plus difficile et le plus coûteux. Dans les Technologies Conventionnelles avec des systèmes aérobies intensifs, le coût énergétique représente un tiers du coût total d'exploitation et d'entretien. Ce pourcentage varie de forme inversement proportionnelle à la taille de la station. Alors, ces pourcentages peuvent être 6 ou 7 fois plus élevés dans les petites stations que dans les grandes stations d'épuration. De tous ces coûts énergétiques, la partie destinée à l'aération des eaux à traiter (turbines, compresseur) peut représenter environ 75% du total.

Comme les systèmes d'épuration naturelle ont recours à des énergies renouvelables passives, les coûts énergétiques associés sont nuls ou très faibles (voir tableau n°. 1). Pour favoriser les procédés aérobies et éliminer les odeurs, les méthodes naturelles d'oxygénation employés peuvent être: la photosynthèse (faite par micro-algues dans les cas du Lagunage) ; la diffusion d'oxygène à travers les racines des plantes émergentes (traitement des zones humides artificielles) ; et l'alternance de cycles inondation-aération (épuration au moyen de filtre vert, les fossés filtrants et les zones humides à flux vertical).

La vitesse de transfert d'oxygène par des méthodes naturelles est très faible, par rapport aux méthodes qui ont recours à des moyens électromécaniques. Les avantages qui impliquent les systèmes naturels quant à la consommation d'énergie, se compensent avec la nécessité d'une plus grande surface pour leur implantation : *les solutions intensives avec des technologies conventionnelles, nécessitent des surfaces inférieures à m²/habitant équivalent (hab.-équiv.), et les systèmes d'épuration naturelle ou solutions extensives nécessitent plusieurs m² par habitant-équivalent à traiter.* C'est ce caractère intensif celui qui conditionne que le domaine d'application des systèmes naturels d'épuration soit dans les petites communautés.

Tableau 5.1. Ressources d'énergie dans les systèmes naturels d'épuration

Source d'énergie	Procédé dans le système naturel d'épuration	Effets à souligner
Soleil	Stratification dans le système naturel d'épuration Radiation Ultraviolette Photosynthèse	Création d'habitats aérobies et anaérobies Désinfection/Photo-dégradation Production d'oxygène Assimilation de nutriments
Vent	Aération de surface	Favorise la circulation de l'eau Élévation d'O ₂ en surface
Gravité	Stratification par densité Sédimentation Flux de l'eau	Création des habitats euphotiques yaphotiques Réduction de matière organique en suspension Création d'habitat benthonique Circulation de l'eau par les différents entourages/éléments du système

Simplicité d'entretien et d'exploitation : les tâches d'entretien, ont le but d'assurer et de garantir le fonctionnement normal de tous les équipements et les installations d'une station de traitement. Les opérations d'exploitation ont la finalité d'utiliser les moyens humains et matériels appropriés, afin de transformer les eaux résiduaires en effluents épurés, à un coût économique et environnemental minimum et conformément aux normes en vigueur. Dans les coûts d'entretien et d'exploitation, les coûts de personnel représentent un tiers du coût total (dans le cas des systèmes conventionnels). Si possi-

ble, les systèmes naturels d'épuration, évitent les installations électromécaniques et font recours aux procédés de traitement très faciles à contrôler, de cette façon un personnel non spécialisé peut réaliser les opérations d'entretien et d'exploitation, et ceci entraîne l'abaissement du coût. La plupart des opérations d'entretien et d'exploitation des systèmes naturels d'épuration, sont semblables à des tâches agricoles traditionnelles (râtelage, bêchage, binage, moisson, taille, élimination des herbes, etc.), c'est pour cette raison qu'après d'une série d'indications et recommandations d'emploi, ces tâches pourront être développées par les propres habitants des zones rurales où seront installées les stations de traitement. En outre, l'inexistence ou faible présence d'équipements électromécaniques, implique l'élimination ou la minimisation des incidences à cause des pannes, en évitant que les stations restent hors service pendant longtemps.

Garantie de fonctionnement efficace face à des grandes oscillations de débit et de charge de l'influent à traiter : à cause de leur dessin extensif, les systèmes naturels d'épuration constituent des systèmes auto-réglables, similaires aux écosystèmes naturels, qui absorbent des oscillations élevées de débit et de charge polluante, grâce à leur capacité de résilience (capacité d'un écosystème à recouvrer son état initial après une perturbation). Par exemple, quand la concentration de nutriments d'un écosystème aquatique augmente, par des raisons externes, la production de phytoplancton augmente aussi, et absorbe, transforme, emmagasine et réduit les concentrations de nutriments. La production d'animaux filtreurs augmente avec l'accroissement du phytoplancton, en consommant plus de phytoplancton et en réduisant sa concentration. Néanmoins, même si les systèmes naturels sont très résistants aux changements dans les conditions d'opération, ils sont très lents pour revenir à leur état naturel lorsqu'ils dépassent leur capacité d'adaptation.

Simplification de l'emploi des boues : les boues générées dans les traitements conventionnels, doivent être stabilisés, concentrés et déshydratés avant de leur évacuation¹. Après l'opération de déshydratation, les boues venant des systèmes aérobies intensifs, présentent un contenu d'humidité d'entre 70-80%, cela veut dire que, chaque habitant produit entre 0,3-0,4 l par jour de boues sèches. La gestion de ces sous-produits, implique une partie importante des coûts totaux d'exploitation d'une station de traitement. Ce problème s'aggrave dans les petites stations de traitement, car la mauvaise planification de la gestion des boues est l'une des causes principales d'un fonctionnement incorrect. Les systèmes naturels d'épuration simplifient la gestion des boues moyennant des mé-

¹ Chaque habitant équivalent génère chaque jour environ 80 g de boues (exprimés comme matière sèche).

canismes différents, selon la technologie ou le modèle appliqué. En général, comme l'on travaille avec des temps de résidence hydraulique plus élevés, la plupart de la matière organique biodégradable se transforme en gaz (CO_2 et CH_4 principalement) et le reste demeure très minéralisé. Ainsi les extractions périodiques ne sont pas nécessaires, sauf dans les cas de traitements primaires anaérobies, car ils nécessitent des contrôles périodiques, afin d'évaluer l'extraction des boues sédimentées ou des boues flottantes (normalement il est nécessaire une extraction par an).

Ne pas confondre simplicité d'entretien et d'exploitation avec simplicité de dessin et de construction. Pour un correct fonctionnement d'un système naturel d'épuration, il faut faire attention aux phases de dessin et de construction, car un dessin et/ou une construction appropriés, constituent une garantie de bon fonctionnement. Ce principe peut s'appliquer dans n'importe quel système de traitement des eaux résiduaires urbaines, étant donné que, pour obtenir les rendements d'épuration préétablis, le système doit être dessiné, construit, opéré et entretenu convenablement.

5.2. NÉCESSITÉS DE SURFACE AUX CANARIES

D'après l'expérience atteinte par l'ITC moyennant l'analyse et contrôle de projets pilotes variés, la clémence du climat des Canaries (avec des hivers doux) peut être la cause pour obtenir des ratios de surface effective d'épuration par habitant équivalent (plus petits que dans d'autres latitudes). Dans le tableau suivant, s'exposent les ratios établis par différentes technologies de systèmes naturels d'épuration, et les possibles ratios d'application aux Canaries, en fonction des conditions climatiques locales et les expériences pilotes actuellement en exploitation. La surface totale occupée par l'infrastructure, viendra définie par les zones de service, les accès, les ouvrages d'arrivées, le prétraitement, etc. Face à obtenir des rendements d'épuration concrets, on doit dans chaque cas, faire, au préalable, des calculs afin d'évaluer les surfaces nécessaires.



Dans le tableau suivant, se sont préétablis les rendements de réduction de 90% de la DBO_5 , sans prendre en considération l'effet des traitements primaires. De même, les marges exposées font référence aux conditions de températures douces et froides pendant les mois de l'hiver, car elles constituent le « facteur limitant » de niveau d'épuration.

Tableau 5.2. Nécessités de surface en Systèmes naturels d'épuration

Type de technologie ou combinaison de technologies	Surface nécessaire proposée dans le projet DEPURANAT ²	Surface nécessaire aux îles Canaries selon les zones climatiques et les résultats des expériences pilotes ³
Filtre Vert	30-40 m ² /hab-eq	Non évalué
Lagunage	7-10 m ² /hab-eq	No évalué
Zones humides artificielles à flux horizontal	3-5 m ² /hab-eq	2,5-4 m ² /hab-eq
Zones humides artificielles à flux vertical	3-5 m ² /hab-eq	2,5-4 m ² /hab-eq
Combinaison de lagunage et filtres gravier à flux sub-superficiel	Non spécifié	2,5-4,5 m ² /hab-eq
Combinaison des zones humides à flux horizontal et vertical ⁴	Non spécifié	2-4 m ² /hab-eq

5.3. COÛTS D'INVESTISSEMENT ET D'OPÉRATION

Les systèmes de traitement des eaux résiduaires doivent être projetés d'accord aux spécificités propres des zones d'implantation⁵. Dans le cas des espaces naturels et de petites populations, les systèmes naturels d'épuration, essaient de réduire les coûts des ouvrages à construire et, présentent une exploitation simple avec des coûts d'énergie minimaux (Espandinha et al, 2005, Seyiring et Kuschik, 2005). C'est dans ce contexte que,

- 2 Traitement des eaux résiduaires à des fins productives en milieu rural et naturel de l'Espace Atlantique, moyennant systèmes de traitement naturel ou coût énergétique faible. Projet cofinancé par l'initiative communautaire INTERREG III B, Espace Atlantique (Réf. 054-DEPURANAT).
- 3 Donnée basés dans les projets réalisés et les calculs des zones humides artificielles dans des différentes zones climatiques des Canaries. Les chiffres les plus faibles viennent des zones avec des climats tempérés où les températures moyennes du mois plus froid sont plus douces.
- 4 Projets de ces caractéristiques s'appliquent déjà dans le Centre Expérimental de Carrion de Los Céspedes de Seville et à Santa Lucía (Grande Canarie).
- 5 Traitement approprié : traitement des eaux résiduaires urbaines moyennant n'importe quel procédé et/ou système de traitement permettant que les eaux réceptrices (après les rejets) satisfassent les objectifs de qualité conformément aux dispositions de la présente et du reste des directives communautaires

pendant le projet DEPURANAT et d'autres expériences successives, on a étudié cet aspect afin de, faciliter la sélection de ce type de systèmes de traitement, et à cet effet fournir des indicateurs classiques couramment employés dans des projets d'investissement.

Les coûts d'investissement englobent les coûts de construction (y compris la préparation du terrain et l'équipement électromécanique) et les coûts d'opération (en incluant l'exploitation et l'entretien du système, comme par exemple la supervision, l'énergie et les imprévus). Ces deux coûts ont été normalisés par habitant équivalent.

Tableau 5.3. Coûts d'investissement et d'opération des systèmes d'épuration naturelle selon l'expérience atteinte jusqu'au moment

Type de Technologie ou combinaison de technologies	Coût d'investissement	Coût annuel
Filtre Vert (CENTA, 2006)	350-400€/hab-équ	25€/hab-équ
Zones humides artificielles à flux horizontal < 100 hab-équ., dans des zones éloignées de Grande Canarie (ITC, 2009)	600-1000€/hab-équ	35€/hab-équ
Zones humides artificielles à flux horizontal 120 hab-équ., en Andalousie Plante expérimentale (CENTA, 2006)	210€/hab-équ	25€/hab-équ
Combinaison de lagunage y filtres gravier à flux sub-superficiel	500€/hab-équ	30€/hab-équ
Combinaison de zones humides à flux horizontal et vertical	350-800€/hab-équ	20-40€/hab-équ

Le Centre des Nouvelles Technologies de l'Eau (CENTA) (2004) fait références aux coûts d'investissement de zones humides artificielles dans la région d'Andalousie ; ces coûts sont compris entre 400€/hab.-équ. et 250€/hab.-équ. Pour une population approvisionnée entre 150 hab.-équ. et 250 hab.-équ. Une étude réalisée par Seyrinag et Kurschk (2005) fait une comparaison entre l'Allemagne et le Mexique. En Allemagne, pour une population approvisionnée inférieure à 500 habitants-équ., les coûts d'investissement se situent entre 100€/hab.-équ. et 1500€/hab.-équ. (beaucoup plus élevé que celui d'Andalousie). Au Mexique, pour une population approvisionnée inférieure à 2000 hab.-équ. le coût d'investissement se situe entre 150€/hab.-équ. et 400€/hab.-équ. De cette manière on constate que, les coûts d'investissement provenant du milieu du

projet DEPURANAT, se rapprochent plus aux coûts de la région d'Andalousie et du Mexique (probablement à cause des faibles coûts de main-d'œuvre dans ces régions). Il est aussi important de mentionner que, le coût d'investissement dépend aussi d'autres facteurs assez variables selon le cas, spécialement celui de la résistance du matériel à être excavé pour l'implantation des systèmes.

Le coût d'investissement des zones humides artificielles est le résultat de plusieurs apports, ainsi on peut vérifier que, les coûts d'imperméabilisation du terrain et du moyen de remplissage représentent environ 56% du coût d'investissement dans le cas d'un flux horizontal. Si l'on compare les coûts des zones humides artificielles à flux vertical, avec les coûts des zones humides artificielles à flux horizontal, on verra que, les premières zones présentent des coûts de conduction plus élevés. Ainsi, les coûts d'imperméabilisation du moyen de remplissage et de conduction des zones artificielles à flux vertical, totalisent environ 70% du coût d'investissement.

Ces résultats se confirment grâce à une étude réalisée en France par le Bureau International de l'Eau (Office International de l'Eau. 2006). Même si, dans ce document se traitent les coûts, associés à des systèmes de traitement naturel des eaux résiduaires, on considère nécessaire d'établir une comparaison avec le reste des technologies (Tableau n° 4).



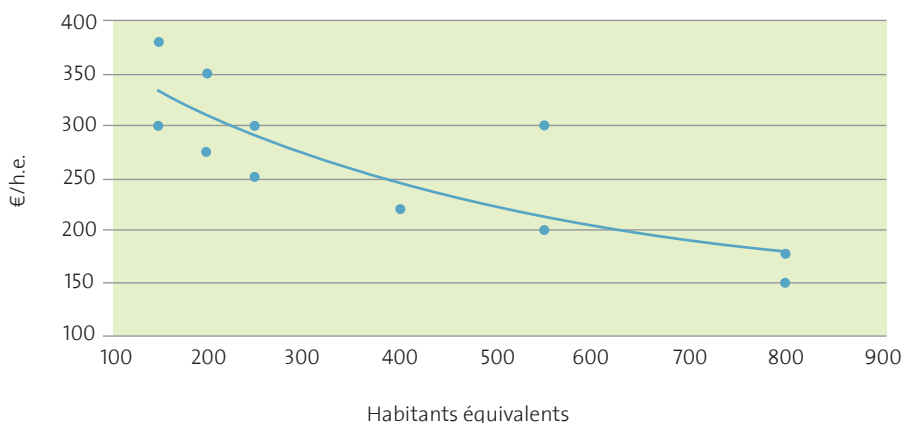
Tableau 5.4. Coûts d'investissement et d'opération (€/hab-équ.) des systèmes de traitement des eaux résiduaires (Office International de l'Eau, 2006)

	Systèmes de traitement intensif			Systèmes de traitement extensif		
France¹	Aération prolongée	Disques biologiques	Filtre percolateur	Lagunage	Traitemement primaire + infiltration dans le sol	Traitemement primaire + humidité artificielle
Investissement	230	220	180	120	190	190
Opération	11,5	7	7	4,5	6	5,5
Espagne²	Aération prolongée	Réacteur biologique rotatif	Filtre percolateur	Lagunage	Filtre à tourbe	
Investissement	210	204	198	162	168	
Opération	22,3	16,8	15	7,8	10,8	

¹ Système pour 1000 habitants [11]; ² système pour 2000 habitants [9]

Les études réalisées en France et en Espagne indiquent, que les coûts d'investissement des systèmes d'épuration naturelle sont, en général, inférieurs aux coûts des systèmes intensifs. L'exploitation des différents systèmes naturels d'épuration est, vraiment, moins chère que l'opération des systèmes intensifs, spécialement en ce qui concerne le coût énergétique et le coût dérivé de la gestion des boues.

À continuation est exposée une graphique fournie par le CENTA, dans laquelle on peut observer la relation entre le coût d'implantation et le nombre d'habitants équivalents. Pour des projets de petite taille, au dessous de 100 habitants équivalents, le ratio peut augmenter à plus de 600/hab.-équ. d'exécution matérielle. Évidemment, ceci va dépendre de l'orographie, des distances jusqu'au point de rejet, des mesures d'intégration environnementales comprises, de la situation dans les zones éloignées ou très éloignées des centres d'activité économique, etc.

Illustration 5.1. Coûts d'implantation des zones humides artificielles

Ressource : CENTA, Séminaire formatif projet DEPURANAT, 2004

Du point de vue économique, un autre aspect à considérer est, celui de l'effet multiplicateur de l'investissement et les tâches d'exploitation associées à l'épuration à petite échelle sur l'économie locale. Les systèmes naturels d'épuration, constituent des actions de génie civil et d'utilisation de matériaux locaux. En effet, ces systèmes ne nécessitent guère de l'importation d'équipements et de matériaux et, par conséquent les impacts positifs dans l'économie et la création d'emploi local sont pleins. D'un autre côté, l'exploitation du système n'a pas besoin d'énergie électrique, en plus, elle demande de la main d'œuvre peu qualifiée et, transforme la plupart des sous-produits en produits valorisables (eau régénérée, nutriments et biomasse végétale) : tout ceci se répercute directement sur l'économie locale, et génère des ressources pour ainsi compenser les possibles coûts.

5.4. ÉTUDES SPÉCIFIQUES SUR LES EXPÉRIENCES PILOTES EXISTANTES DES ÎLES CANARIES

Grâce au développement des projets pilotes mentionnés, au contrôle et aux études réalisés tout au long des dernières années, en collaboration avec des organismes variés ; on dispose actuellement aux Canaries, d'un réseau complet de projets démonstratifs, incorporant ce type de technologies pouvant servir de référence. À part de la recherche analytique et de la monitorisation des systèmes naturels d'épuration, on peut souligner les études suivantes :

- « Caractérisation de la biomasse végétale dans les projets pilotes et, le profit de sa possible utilisation à des fins alternatives », mené à bien par le Groupe de Biologie Végétale de l'Université de La Laguna.
- « Interprétation et valorisation agronomique des effluents venant des systèmes d'épuration naturelle, et leur viabilité pour être réutilisés en arrosage » (en collaboration avec le Département d'Édaphologie et Géologie de l'Université de La Laguna et le Département de Pathologie animale, Production animale et Science et Technologie des aliments de l'Université de Las Palmas de Grande Canarie).
- « Caractérisation des organismes pathogènes présents dans les eaux résiduaires et sédiments des projets pilotes d'épuration naturelle existants aux Îles Canaries » (en collaboration avec l'Institut Universitaire des Maladies Tropicales et Santé Publique de Canaries).
- « Étude d'Intégration sociale, environnementale et économique, des projets pilotes canariens d'épuration naturelle, en phase de dessin-construction, dans le cadre du projet DEPURANAT » (avec le Centre d'Études Éco-sociaux de l'Université de La Laguna).
- « Méthodologie pour le développement d'études et cartes de potentiel pour l'implantation des systèmes naturels d'épuration » (avec l'entreprise à capital public « Gestion et projection territoriale et environnementale » - GESPLAN).



Ces travaux ont été cofinancés avec des fonds FEDER et une partie des résultats se sont publiés dans l'ouvrage, éditée par Netbiblo « *Gestión Sostenible del Agua Residual en Entornos Rurales. Proyecto DEPURANAT* », avec ISBN : 978-84-9745-383-7 (« *Gestion sostenible de l'eau résiduaire dans les milieux ruraux. Proyecto DEPURANAT* », avec ISBN : 978-84-9745-383-7).

Un autre projet mené à bien s'intitule « Évaluation de l'efficacité de différents matériaux comme substrat pour les zones humides artificielles aux Canaries » (en collabo-

ration avec le Département d'Édaphologie et Géologie de l'Université de La Laguna). En outre, on continue encore avec les tâches de recherche et d'évaluation des systèmes naturels d'épuration, afin d'obtenir de l'information vérifiée et complémentaire quant à leur fonctionnement et leurs possibles progrès. Ayant le but de démontrer le fonctionnement et la capacité de toutes ces expériences, c'est exposé en annexe, un tableau résumant tous les résultats obtenus de celles-ci. Évidemment il y a des multiples particularités de chaque application, rattachées à l'origine de l'eau résiduaire et à la technologie appliquée (ne pas reflétées sur le tableau, mais disponibles dans la publication déjà référenciée « Gestión Sostenible del Agua Residual en Entornos Rurales. Projet DEPURANAT »). De la même manière, dans ce dossier s'annexe une galerie d'images des projets pilotes variés, qui peuvent donner une idée de la disposition sur le terrain des différentes technologies, et leurs possibilités d'intégration dans le paysage.

5.5. CONCLUSIONS GÉNÉRALES SUR L'APPLICATION DE SYSTÈMES NATURELS D'ÉPURATION AUX CANARIES

En vue de l'expérience développée jusqu'au moment et, des résultats obtenus, l'on peut conclure ce qui suit :

- Les projets pilotes développés ont démontré qu'avec des combinaisons technologiques et applications différentes, les systèmes naturels d'épuration sont une alternative fiable pour le traitement des eaux résiduaires à petite échelle.
- Les systèmes naturels d'épuration sont facilement intégrables au territoire, et l'extension occupée peut se compenser avec : l'absence de consommation énergétique extérieure ; la non-nécessité d'extraction fréquente des boues ; l'entretien simple, et pas du tout exigeante, mais nécessaire ; et l'absence de pannes.
- Les zones occupées par les systèmes naturels d'épuration peuvent se transformer en espaces multi-usages, dans lesquels se combinent : l'intégration du paysage, la potentialisation de la biodiversité, la production de biomasse végétale pour des applications différentes, la production d'eau régénérée pour être réutilisée (au moins dans les emplois moins exigeants, comme l'arrosage localisé des arbres fruitiers, restauration environnementale, sylviculture, etc.).
- Ce sont des systèmes s'adaptant bien aux fluctuations de débit et de charge (caractéristiques des zones rurales) en ajoutant des déchets non-assimilables.
- La formation qualifiée dans ce domaine, et l'inclusion des systèmes naturels d'épuration dans la prise de décisions au moment d'aborder l'assainissement et l'épuration aux Canaries, peuvent promouvoir la création d'emploi, surtout dans les secteurs actuellement en crise comme celui de la construction.

Tableau résumé des résultats préliminaires des expériences pilote existantes aux Canaries

Projet pilote (activité)	Prétraitement / Traitement primaire	Technologie appliquée	Périodes d'étude	Hab-équiv. dessin
Aula de Naturaleza La Laurisilva (Logement et cuisine industrielle)	Fosse septique préexistante (1er période) Tan. Imhoff de 30 hab.equiv. (actualité)	Réservoir facultatif avec des macrophytes et filtres à gravier	1999-2000 2008-2009	44
Data del Coronado (Salle de traite d'exploitation bovine)	Grille de dégrossissage et fosse septique	Réservoir facultatif avec des macrophytes et filtres à gravier	2005-2006	68
Campus de Tafira (Salles de bains publiques de salles de classe, cantines, complexes sportifs et laboratoires)	Bomba dilacératrice	Réservoir facultatif, conduites et filtres à gravier avec macrophytes	Prin-Été 2005 Autom.-Hiv. 2006	50
Santa Lucía (Noyau urbain à caractère rural)	Grille de dégrossissage, ancienne fosse de décantation et Réservoir Imhoff 100 hab.equiv.	Zones humides à flux vertical en parallèle et zone humide à flux horizontal en série avec Anea	2008-2009	100
Lomo Fregenal (Noyau rural dispersé et salle de traite en production caprine et ovine)	Grille de dégrossissage et Réservoir Imhoff 50 hab.equiv.	Zone humide à flux horizontal sans macrophytes	2009	25
Presa de Las Niñas (Salles de bains publics d'une zone de loisir)	Fosse septique / Filtre biologique	zone humide à flux horizontal (avec 2 zones humides plus en série pour évapotranspirer)	2004-2005 2008-2009	-
Albergue de Bolico (Logement et cuisine industrielle)	Fosse septique surdimensionnée (100 m ³)	Circuit à gravier à flux horizontal avec des macrophytes	2005-2006	80
Los Carrizales (Noyau rural)	Fosse septique surdimensionnée (180 m ³)	Circuit à gravier à flux horizontal avec des macrophytes en parallèle	Prin-Été 2005 Autom.-Hiv.2005-06	125

1 Preuves d'entrée au système obtenues à la sortie du traitement primaire. / 2 Preuves d'entrée au système obtenues à l'entrée du Réservoir Imhoff. / 3 Données de DBO₅ y DQO.

Débit théor. (m³/j)	Débit réel (m³/j)	Concentrat. moyenne d'entrée (mg/l) DBO/DQO/SS	Hab-equivalent	Sup. effective d'épuration (m²)	Conc. moyenne de sortie (mg/l) DBO/DQO/SS	Rendement (%)
4,72	4,5 3,7	187/333/551		95	45,5/125/47 9,8/113/20,2	76/62/14 95/66/63
12	-	145/706/2421		240	28/240/54	80/66/78
11	11	385/648/132 68/189/93	70 12	280	22/104/7 <8/67/4/	94/84/95 90/65/96
12,5	25,5	410/740/3102	200	350	66/172/16	84/76/92
3,5	-	1065/3021/11151	-	80	23/176/12	98/94/99
-	-	48/2031	-	177	19/723 19/1733	60/65
10	4-5	59/1481	40	50	17/673	70/55
20	4-5	42/1401 36/1061	30	100	18/853 10/423	57/39 72/60



Système Naturel d'Épuration Aula La Laurisilva, Cabildo de Grande Canarie



Système Naturel d'Épuration Data del Coronado, Cabildo de Ténérife



Système Naturel d'Épuration Campus de Tafira, Université de Las Palmas de Grande Canarie



Système Naturel d'Épuration Presa de Las Niñas, Cabildo de Grande Canarie



Système Naturel d'Épuration Logement de Bolico, Cabildo de Tenerife



Système Naturel d'Épuration Carrizales, Cabildo de Tenerife



Système Naturel d'Épuration Santa Lucía, Association du Sud-est de Grande Canarie



Système Naturel d'Épuration Lomo Fregenal, Association de zones moyennes de Grande Canarie

6

BIBLIOGRAPHIE RECOMMANDÉE

Natural Systems for waste management and treatment. 2^{ème} Édition. Reed, C. et ál. (1995). Éd. : MacGraw-Hill, Inc. New York.

Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. 3^{ème} édition. Metcalf & Eddy (2000). Éd. : McGraw-Hill. Madrid.

Guide. *Procédés extensifs d'épuration des eaux résiduaires adaptés aux petites et moyennes collectivités (500-5 000 Hab.)*. France. Office International de l'Eau (2001).

Guí sobre tratamiento de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. CENTA-ITC, 2006. ISBN : 84-689-7604-0

Gestión Sostenible del Agua Residual en Entornos Rurales. Proyecto Depuranat. Net Biblio (2008). ISBN : 978-84-9745-383-7

Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010. ISBN : 978-84-491-1071-9.

takatona



Ministère de l'Energie, des Mines,
de l'Eau et de l'Environnement

Regione de Murcia
Ministerio de Industria,
de Comercio y de
Nuevas Tecnologías



المملكة المغربية
وزارة الصناعة
والتجارة والتكنولوجيا

المركز الجهوي للاستثمار - سوس ماسة درعة
Centre Régional d'Investissement - Sous-Massa Drâa



Unión Europea
Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Invertimos en su futuro