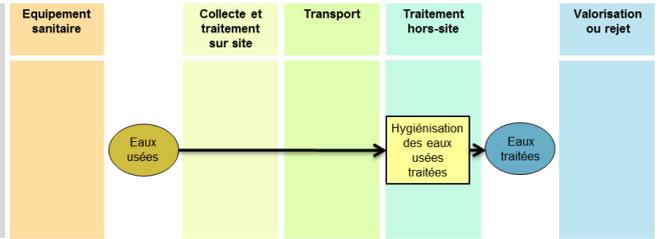


14 Hygiénisation des eaux usées traitées

Traitement hors-site et sur site

Juin 2015



Informations générales

Le post-traitement désigne tout procédé placé derrière une étape de traitement secondaire dont l'objectif est une élimination des pathogènes bactériens et des parasites helminthiques. En même temps, le post-traitement assure une élimination partielle de l'azote et du phosphore ainsi qu'une part minime de la Demande Biochimique en Oxygène (DBO) résiduelle.

L'hygiénisation naturelle résulte de l'exacerbation de l'action létale sur le pathogène de l'un ou de plusieurs facteurs dont on peut citer: i) l'exposition prolongée aux rayons solaires, ii) l'exposition à de fortes chaleurs et à l'absence d'eau iii) l'épuisement de la matière organique dans le milieu, iv) la prédominance des conditions favorables au développement des prédateurs des bactéries et v) l'augmentation des valeurs de pH à des valeurs supérieures à 9.

Cette fiche technique est consacrée à la seule hygiénisation naturelle étant donné qu'il est très peu envisageable de recourir à une désinfection artificielle en milieu rural au Maroc.

Par conséquent, l'on se limitera à la description des trois technologies testées au Maroc : (i) le chenal algal, (ii) les bassins de maturation et (iii) les bassins maturation-stockage ou « réservoirs opérationnels ». Les deux premières technologies peuvent être combinées ou mises en œuvre séparément.



Figure 1: Chenal algal et bassin de maturation de la station prototype de l'IAV à Rabat, Maroc. Chenal algal de 900 m² avec roue à palettes. Arrière-plan à gauche: deux bassins de maturation en série (source: B. El Hamouri, 2006).

Autres noms: Désinfection naturelle en post-traitement (autres expressions: post traitement, hygiénisation, traitement tertiaire, désinfection)

En anglais: High-rate algae pond, maturation ponds, maturation or storage ponds (autres expressions en anglais: post treatment, hygienisation, tertiary treatment, desinfection)

Autres techniques d'hygiénisation naturelle:

- Filtration sur sable fin : voir fiche technique « Filtre à sable et à gravier »,
- Séchage des fèces : voir fiche technique « Chambres de déshydratation des fèces »
- Stockage l'urine et fûts ou autres contenants étanches ; voir fiche « Stockage de l'urine »
- Le compostage de fèces purs ou mélangés à d'autres produits organiques : voir fiche « (Co-) compostage »
- L'ajout d'urée sur les fèces (expériences de Björn Vinneras en Suède)
- La pasteurisation par l'utilisation de la chaleur.

Impacts et durabilité

Critères de durabilité	Appréciation*
Protection de la santé	+++
Protection de l'environnement	++
Facilité de mise en œuvre	+++
Robustesse de la technologie	++
Facilité d'exploitation, d'entretien et de maintenance	++
Coûts et bénéfices	++
Facilité d'intégration dans le contexte socioculturel et institutionnel	++

* +++: Point fort de la technologie, ++: moyen, +: faible

Principes de base

Les réacteurs anaérobies (voir les fiches techniques sur les RAFADE, RAC, UASB) sont adaptés pour le traitement collectif des eaux usées en milieu rural. Toutefois et pour permettre une réutilisation saine et durable de leurs effluents, ces procédés nécessitent la mise en place d'une étape de post-traitement dédiée à la désinfection naturelle.

Cette étape de post-traitement peut avoir lieu, sous conditions climatiques favorables, dans des bassins qu'on appelle « polishing ponds » ou bassins de finition. Ces derniers peuvent être assimilés à des bassins de maturation où, la désinfection naturelle est mise en œuvre.

La désinfection naturelle repose sur l'une ou plusieurs des actions suivantes:

- Favoriser l'adsorption des pathogènes aux particules décantables ce qui facilite leur passage dans la phase boueuse. Cette action est rencontrée dans les étapes de prétraitement ou traitement primaire, notamment en bassins ou en réacteurs anaérobies.
- L'affaiblissement des pathogènes par la diminution de la concentration de la matière organique qui sert de



source de carbone et d'énergie pour les pathogènes. Ceci est accompli par toute étape de traitement de niveau secondaire permettant une bonne élimination de la matière organique.

- Favoriser l'inactivation des pathogènes par le rayonnement solaire (avec ses composantes bleue et UV) en augmentant l'exposition au rayonnement solaire et en facilitant la pénétration de la lumière au maximum. Cette situation est essentiellement rencontrée dans le chenal algal à haut rendement et dans les bassins de maturation.
- Favoriser la croissance des protozoaires et des métazoaires comme les rotifères pour accélérer l'élimination des bactéries par prédation. Pour cela le milieu doit être riche en oxygène. Cette situation est rencontrée dans le bassin facultatif (en surface), dans le bassin de maturation et surtout dans le chenal algal.
- Accélérer la mortalité des pathogènes par les fortes amplitudes de variations du pH qui peuvent avoir lieu entre le jour et la nuit (bassins de maturation et surtout chenal algal).
- La plupart de ces mécanismes de mortalité sont corrélés à la profondeur des bassins. Plus la profondeur du bassin est réduite, plus la pénétration de la lumière augmente et plus la photosynthèse est intense. La conséquence de cela est une importante production d'oxygène (développement des prédateurs dont les rotifères), une augmentation de pH d'où une accélération de la mortalité des pathogènes.
- A un rendement d'élimination des pathogènes équivalent, le chenal algal occupe moins de terrain qu'une série de bassins de maturation. En revanche, il nécessite la mise en place d'une unité de recirculation mécanique de l'eau dans le chenal souvent une roue à aubes ou à palettes.
- La technologie des bassins de « maturation-stockage » ou « réservoirs opérationnels » consiste à recourir à des bassins profonds de stockage placés derrière un bassin facultatif pour permettre d'atteindre un temps de séjour hydraulique long. L'objectif est une élimination suffisante des pathogènes et en même temps une meilleure gestion de l'irrigation en aval.

Conditions d'application

- Une étape de désinfection naturelle nécessite un traitement robuste et fiable au niveau secondaire. Il faut satisfaire une élimination de 70 à 80% de la demande chimique en oxygène (DCO) et des matières en suspension (MES). Des concentrations résiduelles en DCO et en MES fortes favorisent la survie des bactéries. La présence de MES en forte concentration permet aux pathogènes d'éviter le contact avec les facteurs physiques létaux (lumière-pH) et d'échapper aux prédateurs.
- Les technologies basées sur la désinfection naturelle requièrent des superficies relativement importantes. C'est notamment le cas des bassins de maturation et du chenal algal.
- A performance égale, le chenal algal est plus efficace que les bassins de maturation en raison de sa faible profondeur (0,80 m au maximum) en comparaison avec le bassin de maturation (1-1,2 m).

Options possibles de valorisation

- La désinfection naturelle permet la réutilisation des eaux traitées pour l'irrigation ou pour des activités de loisir ou d'agrément sans menacer la santé publique.
- La désinfection par bassins de maturation et surtout par chenal algal est accompagnée d'une activité de séquestration, sous forme de composés algaux, des nutriments azote (N) et phosphore (P) en solution.
- L'irrigation avec les eaux traitées chargées d'algues permet la libération dans le sol des nutriments séquestrés dans les algues. Le rythme de cette minéralisation est notamment dicté par le type de sol, le climat et par le type de culture.
- En définitive, la désinfection naturelle se traduit dans ces conditions par une conservation des nutriments et leur recyclage sans risque de pollution diffuse pouvant accompagner les projets de réutilisation.

Chiffres clés

Éléments de dimensionnement	<p>Pour un effluent de catégorie A^a en toutes saisons, opter pour:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 6 jours dans un chenal algal suivis d'une série de 2 bassins de maturation (BM) à raison de 6 j/BM ou • 12 j/bassin dans une série de 4 BM. <p>Valeurs STEP IAV, Rabat^b:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3 jours dans le chenal algal et • 1,5 jours dans le BM
Performance	<p>Au total avec le traitement secondaire, envisager un abattement des coliformes fécaux de 3 à 4 unités logarithmiques selon les saisons: élimination forte en été; moins élevée en hiver.</p>
Coûts d'investissement	<p>Coût entreprise tout compris (ouvrages en béton armé)^c:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 500 mad/EH (45 euro/EH) chenal algal • 300 mad/EH (27 euro/EH) pour une série de 2 bassins de maturation
Coûts d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> • Equivalents à ceux du lagunage
Durée de vie	<ul style="list-style-type: none"> • 30 ans pour des ouvrages en béton armé ou 15 ans pour bassins imperméabilisés à l'aide du PEHD (polyéthylène à haute densité). • PEHD est meilleur marché mais nécessite une restriction de l'accès à l'installation (protection contre les animaux et contre le vandalisme).

^a Pour les définitions de ces catégories voir :

<http://www.susana.org/en/resources/library/details/1836>

^b Sur base d'un compromis désinfection (réduction des superficies occupées et pertes par évaporation) pour un effluent de catégorie A en saison chaude et de catégorie B en saison Froide. La différence avec les TRH donnés pour une



catégorie A en toutes saisons s'explique par la durée limitée de l'occurrence des conditions hivernales, défavorables à la désinfection.

^c Coûts pour une capacité de 1.000 EH (Equivalent-habitants) ; coûts inférieurs pour des capacités plus grandes.

Conception et construction

- Pour le chenal algal le dimensionnement peut être basé sur les constantes k , de premier ordre d'élimination de N et P. Ces valeurs de k ont été déterminées par traçage chimique et par le suivi des performances d'élimination sur plusieurs années consécutives.
- Pour l'abattement des coliformes fécaux, l'approche de dimensionnement est celle du modèle « mélange complet » de Marais utilisée pour le dimensionnement des bassins de maturation. Le calcul permet de déterminer le temps de séjour nécessaire pour atteindre une concentration donnée de coliformes fécaux dans l'effluent. La constante de mortalité, k_t obtenue sur le chenal algal de l'IAV est de $3,7 \text{ j}^{-1}$.
- Selon l'expérience de l'IAV, une roue à palettes multiples en caoutchouc souple, est préférable à une roue à aubes rigides. Elle offre la possibilité d'économiser l'énergie et de donner une longévité au mécanisme d'entraînement mécanique.
- Il est possible d'assurer l'alimentation électrique de la roue à palettes à l'aide d'une batterie alimentée par panneaux solaires.



Figure 2: Roue à palettes pour chenal algal. En haut: solution classique avec une roue à huit palettes rigides fabriquées en polyester résistant dans une installation à Casablanca. En bas: station d'El Attaouia roue à palettes multiples en caoutchouc épais souple placées sur différents plans; chenal algal de 6400 m² (source: B. El Hamouri, 2006).

- Il est recommandé de placer un baffle immédiatement en amont de la sortie par déversement du chenal algal pour bloquer les matières flottantes éventuelles et empêcher leur passage vers le stade maturation ou vers le réservoir de pompage pour l'irrigation.

- Le dimensionnement des bassins de maturation en mode post-traitement est identique à celui mis en œuvre pour le lagunage naturel.
- Le dimensionnement des bassins de maturation-stockage ou « réservoirs opérationnels » repose sur i) le choix du volume actif qui varie entre 10 et 15 m de profondeur, ii) sur le temps de séjour dans chacune des strates et iii) sur la nécessité de satisfaire les conditions d'un écoulement laminaire interdisant le mélange entre les strates âgées et les strates récentes.
- Les cellules algales concentrent à l'intérieur de leurs tissus les nutriments N et P. Les algues sont consommées par les rotifères et par les poissons dans les cours d'eau d'où une protection de la qualité des eaux de surfaces. La séquestration des nutriments dans les algues est aussi un avantage en cas de réutilisation en irrigation car ils sont libérés progressivement lors de la minéralisation qui a lieu dans le sol.
- Sans cela, les nutriments seront disponibles en masse lors de l'irrigation et l'excédent est entraîné vers le cours d'eau par ruissellement ou vers les eaux souterraines par infiltration.

Entretien et maintenance

- Le système d'entraînement de la roue à palettes notamment le moteur, la chaîne et les cages des roulements d'appui doivent être régulièrement graissés et protégés de la pluie et du soleil.
- Il est possible de permettre le peuplement des bassins de maturation et du chenal algal par la gambusie, une espèce de poisson d'eau douce de petite taille redoutable prédateur des larves de moustiques.
- Pour maintenir la performance du chenal algal et des bassins de maturation, il est recommandé de les curer après une durée de 4 à 7 ans pour évacuer la biomasse qui résulte de la sédimentation algale.

Aspects sanitaires et environnementaux

- Le chenal algal et les bassins de maturation utilisés séparément et/ou en série peuvent assurer une désinfection efficace de l'effluent.
- La fixation des nutriments azote (N) et phosphore (P) dans le tissu algal permet de limiter la pollution diffuse. En même temps, la matière organique algale permet de diminuer les effets négatifs de la salinité sur les cultures sensibles.
- Il s'agit d'une désinfection naturelle sans sous-produits ni consommation d'énergie fossile.

Acceptabilité

- Les unités de traitement où la désinfection est mise en œuvre sont généralement bien acceptées par la population. Elles ne produisent pas de nuisances et ont la couleur verte des algues.
- Le recours au peuplement de ces unités par les gambusies permet de réduire fortement l'aspect négatif de présence de moustiques.



Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">Le principe du chenal algal et des bassins de maturation repose sur l'utilisation de la seule énergie solaire.La séquestration lente des nutriments dans les algues est un avantage en cas de réutilisation en irrigation car les nutriments sont libérés progressivement lors de la minéralisation qui a lieu dans le sol.	<ul style="list-style-type: none">Les technologies du chenal algal et des bassins de maturation couvrent de grandes surfaces de terrain.Elles occasionnent des pertes relativement importantes d'eau par évaporation.Difficulté de recourir à une irrigation localisée en aval de ces technologies en raison du bouchage fréquent des goutteurs par les algues.

Exemples au Maroc

En dehors des stations expérimentales comme Ouarzazate (1990), et celle de Benslimane (1997) avec la technologie « maturation-stockage », les bassins de maturation ont été peu utilisés dans la désinfection naturelle au Maroc. On en rencontre par exemple dans les stations d'Oujda (21 bassins de maturation pour l'irrigation de 1200 ha) et de Beni Mellal (4 bassins de maturation).

La technologie « maturation stockage » a été testée à la station de Benslimane à partir de l'année 1993. La STEP de Benslimane a été conçue comme lagunage naturel-aéré comprenant en série : 5 bassins anaérobies, 4 bassins d'aération mécanique, 4 bassins facultatifs et 4 bassins « maturation stockage » ayant une profondeur de 5 m couvrant chacun une superficie de 22.000 m² et une capacité de 75.000 m³.

Cette technologie a été mise en place pour permettre de satisfaire les besoins en eau d'irrigation du Golf de la ville de Benslimane à partir des eaux usées traitées de cette ville.

D'après les résultats publiés dès 1999 sur la station de Benslimane, une réduction des coliformes fécaux de 100% a été mentionnée après une durée de stockage de 138 jours. L'effluent final était traité au chlore avant son pompage vers le golf.



Figure 3: Technologie de « maturation-stockage » appliquée à la STEP de Benslimane. A droite: Bassins de maturation-stockage; à gauche: bassin facultatif (source: B. El Hamouri, 2005).

L'expérience de la ville d'El Attaouia a été une collaboration entre la Municipalité d'El Attaouia, l'USAID, l'ANHI (Agence Nationale de Lutte contre l'habitat

Insalubre) et l'IAV de Rabat. Elle a permis la mise en place en 2003 d'une station basée sur un RAFADE suivi d'un chenal algal puis de deux bassins de maturation en série. La station a été conçue pour traiter 450 m³/j ; elle a subi une extension en 2011 pour passer à une capacité de 1270 m³/j (voir également fiche technique sur le RAFADE).

Bibliographie

Les sources suivantes ont été prises en considération:

- (1) MADRPM (1998). Epuration et réutilisation des eaux usées à des fins agricoles Ministère de l'Agriculture du Développement Rural et des Pêches Maritimes, Administration du Génie Rural & Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Ouarzazate, Maroc, <http://www.susana.org/en/resources/library/details/2005>
- (2) Himmi N., Hasnaoui, M., Fekhaoui, M., Foutlane, A., El Maroufy, M., Bennazou, T. (2005). Variabilités des descripteurs physiques, chimiques et biologiques d'un réservoir de stockage (lagunage mixte, Ben Slimane - Maroc). Revue des Sciences de l'eau 18/Spécial, p. 91-107, <http://www.susana.org/en/resources/library/details/2085>
- (3) Echihabi, L., Foutlane, A., Yagoubi, A., Bahji., Maghrabi, A., Loulidi, Y. And Lahlou, A. (1999). Evaluation des performances épuratoires de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Benslimane Au Maroc. Type lagunage. 4th International Specialist Conférence on Stabilisation ponds: Technology and Environnement., Marrakech. 20-23 April 1999
- (4) El Hamouri, B. (2008). Rethinking natural, extensive systems for tertiary treatment purposes: The high-rate algae pond as an example - . Desalination and Water Treatment, 4, 128-134, Presented at the 2nd International Congress, SMALLWAT '07, Wastewater Treatment in Small Communities, 11-15 November 2007, Seville, Spain, <http://www.susana.org/en/resources/library/details/2086>
- (5) R.K.X. Bastos, E.N. Rios, P.D. Bevilacqua and R.C. Andrade (2011). UASB-polishing ponds design parameters: contributions from a pilot scale study in southeast Brazil. Water Science & technology 63.3. pp; 1276-1281. <http://www.iwaponline.com/wst/06306/wst063061276.htm>
- (6) SSWM (2013). Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox, <http://www.sswm.info/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/semi-centralised-wastewater-treatments-1>
- (7) Base de données photographique de SuSanA <http://www.flickr.com/photos/qtzecosan/collections/>

Mention légale:

- Auteurs B. El Hamouri, M. E. Khyati, E. von. Muench. Soudi C. Werner
- Mise en forme: L. Herrmann, A. Schroeder
- Dernière mise à jour: Juin 2015, © GIZ/Programme AGIRE

Le présent document fait partie du guide d'assainissement rural et de valorisation des sous produits au Maroc, disponible sur: <http://www.agire-maroc.org> et www.susana.org/library

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.