

FICHE TECHNIQUE | AOÛT 2008

EN BREF

PRÉTRAITEMENT

Avant l'entrée des eaux dans la 1^{ère} lagune, un prétraitement primaire est réalisé pour faciliter la suite des opérations [3]. Le prétraitement permet une séparation mécanique simple de certains déchets, évitant ainsi un comblement accéléré des lagunes. On distingue 3 procédés de prétraitement [3] :

- Un dégrilleur, pour retenir les gros objets ;
- Un dessableur, qui permet le dépôt des sables et graviers au fond d'une fosse ;
- Une zone de déshuilage mécanique, qui permet de retenir les graisses et les déchets flottants.



Système de prétraitement de la station de Taourirt-Maroc, de type anaérobie/facultatif/maturation.



TYPE DE LAGUNAGE

Le traitement par lagunage est constitué d'une série de bassins artificiels. On parle de lagunage naturel : composé de plusieurs bassins en série, généralement 3 bassins, dont le 1^{er} est conçu pour être facultatif et les suivants sont des lagunes de maturation [8]. Le temps de séjour est de 60 à 90 jours [9] ; de lagunage à haut rendement : constitué de bassins à faible profondeur (0,3 à 0,5 m) dans lesquels un courant empêche la décantation des algues [8] ; de lagunage aéré : composé de plusieurs bassins, dont le 1^{er} est équipé d'un dispositif d'aération artificiel fournissant la majorité des besoins en oxygène [8] ; et de lagunage tertiaire ou de finition : traitement complémentaire situé en aval d'un système conventionnel de traitement [8, 9].

Principes de base

La station d'épuration traditionnelle, à boues activées, s'impose souvent à l'esprit lorsqu'il s'agit d'épuration des eaux usées. Pourtant, d'autres modes épuratoires existent. Ils s'appuient sur des processus d'autoépuration, se déroulant spontanément dans les étendues d'eau, dans lesquelles les microorganismes dégradent la matière organique et la transforment en éléments minéraux. C'est le cas du procédé de lagunage [1].

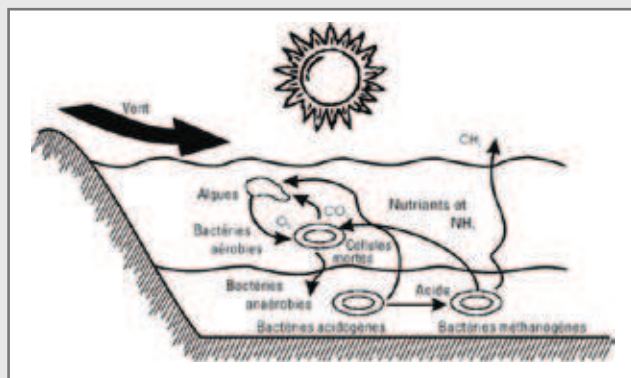
Le lagunage est simple, écologique, rustique, fiable et peu onéreux du fait de son fonctionnement non mécanisé, avec des résultats hautement satisfaisants en matière de décontamination [1]. C'est en fait une forme naturelle et souple du traitement biologique des eaux usées [2].

Le traitement par lagunage est constitué d'une série de bassins artificiels, ou étangs, formés de digues, imperméabilisés, dans lesquels les eaux usées sont déversées [1] et passent successivement et naturellement d'un bassin à l'autre, par gravitation [3], pendant un long temps de séjour. Différents assemblages de ces bassins sont possibles en fonction de divers paramètres, tels que les conditions locales, les exigences sur la qualité de l'effluent final et le débit à traiter [1]. Ces bassins fonctionnent comme des écosystèmes avec des relations de symbiose entre les différentes populations composées de bactéries, de champignons, de protozoaires, de métazoaires, d'algues, de poissons, de plantes, etc. [4]. Ces différents organismes interviennent afin d'éliminer la charge polluante contenue dans l'eau usée [3].



Station de Ben Ahmed au Maroc de type anaérobie/facultatif.

De façon générale, le mécanisme, sur lequel repose le lagunage, est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et au maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique. Le gaz carbonique formé par les bactéries, ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permettent aux algues de se multiplier. Il y a ainsi prolifération de deux populations interdépendantes : les bactéries et les algues planctoniques, également dénommées « plantes microphytes ». Ce cycle s'auto-entretient tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique. En fond de bassin, où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau [5]. La figure ci-dessous illustre le diagramme simplifié des principaux processus qui ont lieu dans un bassin de lagunage. L'épuration des eaux usées dans un système de lagunage résulte donc d'une combinaison complexe de processus physiques, chimiques et biologiques, qui sont influencés par les conditions météorologiques, le type et la configuration des bassins, et la conception du système [6].

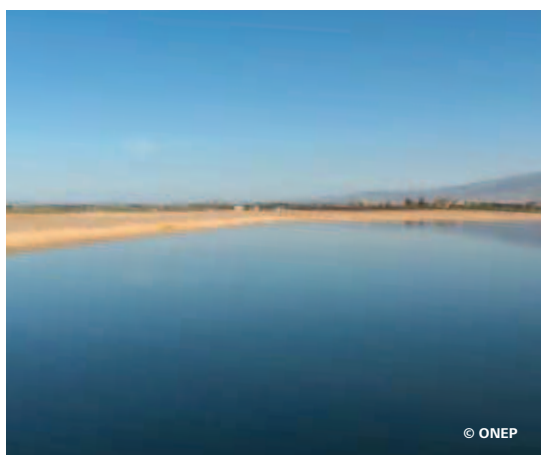


Processus d'épuration, qui ont lieu dans un bassin de lagunage (Tiré de U.S.EPA [7]).

PLUSIEURS TYPES D'ÉTANGS

ÉTANGS FACULTATIFS

Les étangs facultatifs correspondent à des lagunes où il se développe une relation symbiotique entre les divers microorganismes aquatiques, en particulier les algues et les bactéries hétérotrophes [10]. Ce sont de simples bassins creusés en terre, de grande dimension, mais dont la profondeur ne doit pas dépasser 1 à 2 m afin de préserver les conditions d'aérobiose à la surface [1, 2, 11]. La charge de pollution entrante ne doit pas être trop élevée [1]. Les matières dissoutes et colloïdales sont oxydées par des bactéries aérobies ou facultatives, utilisant l'oxygène provenant de l'absorption naturelle et l'oxygène produit par les algues, qui se développent dans la couche superficielle [10]. Les matières décantables sédimentent pour former des boues, qui entrent dans la décomposition anaérobie, avec production de méthane et d'autres composés réduits. Ces derniers migrent vers la couche aérobie où ils sont oxydés [2]. Le gaz carbonique résultant de l'oxydation des matières organiques sert de source de carbone pour les algues [10].



Bassin facultatif de la station de Berkane au Maroc.

Biochimique en Oxygène (DBO) par unité de volume. À cause de la profondeur et de la charge organique élevée, il n'y a aucune couche aérobie et toute l'activité biologique est anaérobie [6]. Ainsi, cette pollution est réduite par sédimentation et digestion anaérobie à des profondeurs de 2 à 5 m [1, 2] en un temps de séjour court (un jour et plus) [1]. Ce processus de dégradation des matières organiques s'effectue en deux phases anaérobies, dont la première consiste en l'hydrolyse des composés organiques en composés à courte chaîne (acides carboxyliques). Lors de la deuxième phase, ces composés intermédiaires sont transformés en gaz, tels que le méthane, le dioxyde de carbone et le sulfure d'hydrogène [2].

Ce processus, particulièrement actif pour des températures supérieures à 15 °C, produit un dégagement de biogaz (composé de 70% de méthane et 30% de dioxyde de carbone). Les étangs anaérobies permettent de réduire près de 60% de la charge en DBO initiale [1]. Pour éliminer les odeurs et maintenir les conditions anaérobies, une couche de l'eau épurée est laissée à la surface [10].

ÉTANGS DE MATURATION

Les étangs de maturation constituent la deuxième étape de traitement des eaux usées par les lagunes. Ils sont entièrement aérobies sur toute la profondeur (1 à 5 m) et leur objectif est de détruire les microorganismes pathogènes. Leur temps de séjour varie entre 4 à 12 jours. Ils sont généralement peu chargés, et les microorganismes vont rentrer dans la phase endogène, où ils s'oxydent mutuellement [10]. La dimension d'un étang de maturation est déterminée principalement par la qualité bactériologique requise des eaux à épurer [1].

ÉTANGS ANAÉROBES

Les étangs anaérobies permettent de stabiliser les boues [10], en plus de traiter l'eau usée. Ils reçoivent des charges de pollution relativement élevées, qui sont exprimées en Demande



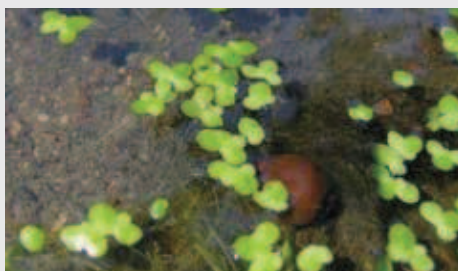
Bassin anaérobie de la station de Berkane au Maroc.

LAGUNAGE À MICROPHYTES

Dans les bassins de lagunage à microphytes, ou lagunage naturel, les plantes sont uniquement représentées par le phytoplancton, algues microscopiques de 1/100ème de mm en moyenne, mais jouant le même rôle que les macrophytes dans la fixation des nutriments. On distingue plus de 100 000 espèces [3]. L'épuration est donc essentiellement basée sur l'action symbiotique entre les populations d'algues et de bactéries. Cependant, certains problèmes persistent notamment dans le cas d'une trop forte concentration de matières en suspension dans l'effluent. De meilleurs résultats peuvent être obtenus par lagunage à macrophytes [4].

LAGUNAGE À MACROPHYTES

Il est caractérisé par la présence de plantes visibles à l'œil nu. Il est constitué de plantes immergées ou émergées, enracinées ou non, telles que les roseaux, les massettes, les joncs, les scirpes, les laïches, les lentilles d'eau ou les jacinthes d'eau. Les bassins sont alors généralement de plus faible surface et moins profond (0,6 à 0,8 m) où la charge polluante est plus faible [3]. Au-delà de son intérêt esthétique, l'utilisation des macrophytes peut améliorer significativement la qualité de l'effluent, mais leur biomasse ne produit guère de bénéfices supplémentaires. L'effet épuratoire est dû principalement à la faculté de ces plantes d'extraire les éléments nutritifs de la colonne d'eau et au support que leurs racines et feuilles offrent aux microorganismes susceptibles de dégrader les matières organiques et nitrifier l'azote ammoniacal. L'effet sur la dégradation de la matière organique passe principalement par la création d'une zone de rhizomes servant comme support pour le biofilm pouvant dégrader. Cet effet est cependant minimisé par la diminution de la ré-aération de la colonne d'eau. Par contre, l'ombrage de l'eau dû à la présence des macrophytes diminue fortement la quantité de rayonnements UV qui atteignent l'eau et l'efficacité épuratoire vis à vis des espèces pathogènes indicatrices (coliformes et streptocoques) [4]. De plus, l'utilisation des macrophytes entraîne une augmentation des coûts de fonctionnement du fait d'un entretien plus lourd (faucardage et arrachage) [3].



Les macrophytes lentilles d'eau (*Lemna minor*)
<http://guillaume.doucet.fr/oe.fr>

ETANGS AÉROBIES

Les étangs aérobies servent à accélérer la décomposition des matières organiques par les bactéries aérobies et facultatives, et favoriser la croissance des algues pour éventuellement produire des protéines. Ces étangs présentent l'avantage d'être simple à construire (creusés en terre avec une couche d'argile au fond pour l'imperméabilisation et des rip-rap pour protéger les talus) [10]. L'aération est réalisée naturellement, par brassage par le vent à la surface et par photosynthèse. Dans ce type de bassins, la profondeur (0,2 à 0,5 m) est très faible [2, 10] afin de permettre à la lumière du soleil de pénétrer dans toute la profondeur et d'avoir de l'oxygène dissous dans toute la colonne d'eau [6]. Ainsi, la conception des étangs aérobies doit être basée sur les conditions de l'hiver (température et lumière minimum) [10]. L'utilisation des étangs aérobies se limite généralement aux régions ensoleillées et chaudes, là où il n'y a aucun risque de couverture glacée [6]. Le mauvais fonctionnement des étangs, c'est-à-dire une insuffisance d'oxygénation, génère des problèmes d'odeur. Le temps de séjour varie de 15 à 20 jours [2]. Il faut entretenir (enlever les boues et les algues) les étangs pour réduire les odeurs et éviter la prolifération des moustiques [10].

ETANGS AÉRÉS

Ces étangs comportent un mode d'aération mécanique, tel que des turbines flottantes ou fixes (profondeur 2 à 3 m) ou des systèmes d'insufflation d'air (profondeur 3 à 5 m) [2, 11], qui augmente l'alimentation en oxygène provenant de moyens naturels [6]. Les étangs aérés sont généralement suivis d'un bassin de lagunage à microphytes dans lequel les particules en suspension, qui n'ont pas décanté dans l'étang aéré, brassé ou partiellement brassé, se déposent et se dégradent par voie anaérobie [6]. Il existe deux types de bassins aérés : l'étang aéré aérobie dans lequel l'oxygène et les matières en suspension (MES) sont uniformément répartis dans tout le bassin, et l'étang aéré aérobie-anaérobie ou aéré facultatif dans lequel l'oxygène n'est présent que dans les couches supérieures et dans lequel, seule une partie des matières solides est maintenue en suspension. Dans un étang aérobie, les solides sont maintenus partiellement en suspension. Dans un étang facultatif, une partie des MES décante au fond du bassin où elle entre en fermentation anaérobie. Les métabolites de cette digestion sont ensuite oxydés dans les couches supérieures aérobies [2].

LES MACROPHYTES, EXEMPLE DES LENTILLES D'EAU [4] :

Contrairement aux macrophytes enracinés, les lentilles d'eau peuvent proliférer naturellement dans les lagunes et conduire au recouvrement de l'ensemble du bassin par une épaisse couche végétale, entraînant des dysfonctionnements plus ou moins graves. Ces végétaux semblent coloniser préférentiellement les bassins aval, de petite taille et abrités du vent [13, 14]. Toutefois, leur présence n'est pas incompatible avec le fonctionnement des lagunes [14]. En effet, la lentille d'eau contient beaucoup d'éléments nutritifs, comme des protéines et des vitamines, et contrairement à beaucoup d'autres plantes aquatiques, elle possède l'avantage de ne contenir que très peu de fibres et peut, grâce à sa petite taille, être facilement récoltée. La matière sèche des Lemnacées peut contenir 20-35% de protéines. Plus la teneur en azote dans l'eau est élevée, plus la biomasse contiendra de protéines. La lentille d'eau peut être trouvée naturellement dans le monde entier et se compose de quatre genres *Lemna*, *Spirodela*, *Wolffia* et *Wolffiella*. Ils ont tous une structure très simple des feuilles ovales de quelques millimètres, disposées sur le plan d'eau avec un système de racines de la même taille sans tronc distinct. Les lentilles ont une production de biomasse élevée, qui peut être améliorée par la technique de culture et éventuellement par l'addition des fertilisants. C'est probablement *Lemna* qui convertit le mieux les nutriments. La biomasse produite peut constituer un excellent aliment pour les poissons, la volaille ou le bétail. La culture de lemnaées peut ainsi constituer une incitation financière pour le développement d'activités de traitement des eaux usées.

SITE D'IMPLANTATION

Le choix du site d'implantation de la lagune est très important. En effet, les sols en place doivent être suffisamment étanches et faciles à compacter [15]. Lorsque l'étanchéité des bassins de lagunage est mal réalisée, deux problèmes peuvent se poser : (i) mauvais remplissage et donc mauvais fonctionnement de la lagune ; (ii) contamination de la nappe phréatique par entrainement des polluants [15, 16]. Pour obtenir un fonctionnement correct de l'ouvrage, il convient de s'assurer que les débits des apports (eaux usées + pluviométrie) sont supérieurs à ceux des pertes (infiltration + évaporation) ou au moins égaux en période la plus défavorable (la plus sèche et/ou la plus chaude) [16]. Si la perméabilité du terrain est trop forte, des travaux d'étanchéité doivent être réalisés [15]. Les méthodes possibles sont [16] :

- Compactage (solution la plus économique quand le sol en place le permet) ;
- Traitement des sols (bentonite) ;
- Pose d'une géomembrane. Son emploi augmente le coût de façon importante.



Bassin de la station de Bouarfa-Maroc, de type anaérobie, étanché par une géomembrane.

DYSFONCTIONNEMENT DU LAGUNAGE NATUREL

Les crises se traduisent par la disparition des algues, l'absence d'oxygénation et les nuisances olfactives qui en découlent. Des phénomènes « d'eaux rouges » apparaissent avec le développement de bactéries photosynthétiques du soufre, qui utilisent comme substrat l'H₂S du milieu. Ces dysfonctionnements apparaissent majoritairement en période automne-hiver. Par exemple, en automne, avec la réduction de la durée de l'éclairement et la réduction de température, une disparition plus ou moins brutale de la biomasse algale peut intervenir. Les dysfonctionnements proviennent soit de carences dans la conception, soit de défauts d'exploitation. Par exemple, il faut éviter une profondeur excessive des bassins, en particulier du 1^{er} ; il faut favoriser une forme allongée des bassins ; le raccordement d'effluents industriels est à proscrire ; etc. [9].

Profondeurs rapportées dans la littérature scientifique et technique concernant les différents types de lagune.

Type de lagune	Profondeur (m)	Référence
Facultatif	<2	[1]
	1–2	[2]
	1,5–3	[11]
Maturation	1–1,5	[1]
	1–5	[10]
Anaérobie	2–5	[1]
	2,5–5	[2]
Aérobie	0,2–0,5	[2, 10]
Aéré*	2,4–4,8	[2]
	2–5	[11]

*Selon le système d'aération

AVANTAGES DU LAGUNAGE

Le principe de lagunage présente quatre avantages particuliers : en termes d'économie, d'écologie, d'aménagement du territoire et de pédagogie. D'un point de vue économique, l'entretien d'une station de lagunage est moins coûteux et moins long qu'une station classique ; une station de lagunage ne présente aucun raccordement électrique et ne demande pas de personnel qualifié. Écologiquement parlant, les bassins de lagunage développent tout un écosystème, où les végétaux aquatiques servent ainsi de support et de nourriture à une faune nombreuse (telle que les oiseaux, les amphibiens, les insectes), qui contribue à accroître la biodiversité du secteur. Alors que les communes rurales sont de plus en plus attentives à l'aménagement de leur territoire, ce type d'assainissement assure une intégration parfaite dans le contexte paysager (champs, étang communal, etc.). Enfin, un bassin de lagunage peut servir de support à des sujets de pédagogie très diversifiés, tels que l'eau, l'assainissement, la faune et la flore aquatique [5].

Par ailleurs, il existe quelques autres avantages du procédé par lagunage, tels que l'absence de consommation d'énergie et de produits chimiques et la possibilité de valoriser des sous-produits (biomasse planctonique, plantes d'eau, poissons d'élevage) et d'utiliser l'eau épurée pour la fertilisation et l'irrigation en agriculture [12]. Une autre caractéristique importante est son grand pouvoir tampon face aux variations de charges organiques ou hydrauliques, en raison du temps de rétention hydraulique qui est beaucoup plus élevé que dans les autres procédés [6].

INCONVÉNIENTS DU LAGUNAGE

Ce procédé de traitement présente les principaux inconvénients suivants :

- Une emprise au sol importante [5] ;
- Des contraintes de nature de sol et d'étanchéité [5] ;
- Une variation saisonnière de la qualité de l'eau traitée [5] ;
- Une élimination de l'azote et du phosphore incomplète [5] ;
- Des difficultés d'extraction des boues [5] ;
- L'impossibilité d'effectuer des réglages en exploitation [5], impliquant donc que la conception des installations intègre au maximum les contraintes attendues (telles que les pointes hydrauliques et organiques, les températures minimales) [13].

Par ailleurs, le mauvais fonctionnement et/ou entretien d'un bassin de lagunage peut produire des odeurs et entraîner le rejet d'un effluent mal épuré qui pourra avoir un effet nocif sur la vie aquatique dans le cours d'eau récepteur. De plus, au fur et à mesure de la croissance d'une collectivité desservie par un système d'épuration des eaux usées par lagunage ou de l'imposition d'exigences plus strictes relativement à l'effluent par les organismes de réglementation, il se peut que l'installation doive être améliorée en optimisant le fonctionnement ou en agrandissant l'installation. Cela entraînera d'importantes immobilisations et des coûts de fonctionnement plus élevés pour la collectivité [6].

MINIMISATION DES ODEURS

En cas de mauvais fonctionnement d'une lagune, il y a un risque d'odeurs, généralement dû à une installation surchargée ou sous-dimensionnée, une mauvaise circulation de l'eau, un affleurement de zones de dépôt en surface, des conditions météorologiques particulières [14].

Ces phénomènes sont principalement observés en fin d'automne et en hiver [13]. Cette nuisance olfactive, qui peut, dans certains cas, être accompagnée d'une dégradation de la qualité du traitement [14], peut être minimisée en envisageant d'autres dispositions de conception et d'exploitation :

- Améliorer la circulation et la répartition des eaux usées dans le bassin de tête [14] ;
- Mettre en place de l'aération mécanique dans le premier bassin pour augmenter le transfert d'oxygène [6] ;
- Quand les boues accumulées contribuent à la production d'odeurs, enlever les boues du bassin de lagunage [6] ;
- Quand des tapis flottants de boues, d'algues ou de végétation sont visibles, enlever les tapis ou les briser avec une embarcation motorisée et les laisser s'enfoncer dans la couche de boues [6] ;
- Passer au fonctionnement en parallèle pour répartir la charge organique sur un volume supplémentaire de bassin de lagunage [6] ;
- Recirculer dans le bassin sujet à être surchargé l'effluent de bassin de lagunage qui contient une concentration élevée d'oxygène dissous [6] ;
- Ajouter un produit chimique, tel que du nitrate de sodium ou du peroxyde d'hydrogène, comme source d'oxygène pour augmenter l'oxygène dissous [6].

DÉPHOSPHATATION

Pour rencontrer les critères de déphosphatation dans un traitement des eaux usées par lagunage, il est possible d'utiliser un sel métallique, tel que de l'alun et du chlorure ferrique, pour un enlèvement chimique du phosphore [2]. Dans les systèmes à bassins multiples, le produit chimique peut être rajouté à l'entrée du dernier bassin. Cette façon de procéder permet de réduire la quantité du produit chimique utilisé et la production de boues [6]. Il est également possible d'avoir recours aux plantes aquatiques flottantes, principalement les jacinthes d'eau (*Eichhornia crassipes*) et les lentilles d'eau (*Lemnaceae*) dans les étangs aérés facultatifs et non aérés [2].

MAINTENANCE

Le procédé de traitement des eaux usées par lagunage présente l'intérêt d'un coût d'exploitation réduit. Il est cependant impératif de réaliser un nombre minimal de travaux réguliers de maintenance, sous peine de voir se dégrader à la fois l'aspect des bassins et les performances d'épuration. La plupart des opérations de maintenance peuvent être réalisées par des opérateurs sans formation spécialisée sur l'épuration des eaux. Les tâches régulières d'exploitation comprennent l'entretien des ouvrages de prétraitement, l'entretien des abords des lagunes, la surveillance générale (incluant l'écoulement de l'eau, la présence de flottants, la couleur de l'eau, l'état des digues et l'apparition d'odeurs), le faucardage des macrophytes et les opérations de curage [14].

CURAGE DES BOUES

La vitesse d'accumulation des boues dépend de la conception du bassin de lagunage, de la concentration des eaux usées et des conditions climatiques. Dans les régions froides, les boues s'accumulent plus rapidement, parce que la vitesse de dégradation de la matière organique décantée diminue de façon importante [6]. En général, une fraction importante des boues se dépose au voisinage du point d'arrivée des eaux usées, où elle forme un cône de sédimentation ; l'autre fraction sédimente uniformément au fond de la lagune [14]. La vidange des boues est une opération d'entretien essentielle, qui consiste à évacuer les boues décantées, ayant subi une dégradation anaérobie en fond des différents bassins [9].

Le critère principal qui déclenche une opération de curage est tout d'abord l'âge de l'ouvrage, étayé par des critères visuels (tels que la remontée de boues sporadiques, la couleur laiteuse du bassin de tête) ou olfactifs temporaires. Pour des petites installations, les mesures physico-chimiques de la qualité du rejet sont trop rares pour démontrer une dégradation de qualité liée par exemple à un taux de boue excessif [9].

La procédure habituelle avant un curage est de réaliser une bathymétrie afin d'évaluer la hauteur de boue et de localiser les lieux d'accumulation. Si la hauteur de boues moyenne dépasse 25 cm, la nécessité du curage est systématiquement confirmée [9].

Le curage peut être réalisé selon les méthodes suivantes [9] :

- Pompage direct sans vidange du surnageant. Cette technique est désormais considérée comme désuète car elle ne permet pas de visualiser la bonne réalisation du travail réalisé ;
- Evacuation partielle du surnageant sur une hauteur de 20 cm environ et utilisation d'un radeau flottant pour maintenir le dispositif de pompage que l'on guide et déplace en fonction de la texture des boues évacuées. Des canalisations permettent le déversement direct des boues dans des citernes qui assurent le transport vers la zone d'épandage choisie. Ce mode d'extraction est utilisée dans 35% des cas, même s'il montre une souplesse limitée pour accéder aux bords des bassins, lieux clairement identifiés comme zones de dépôts privilégiés ;
- Evacuation totale du surnageant jusqu'à ce que les boues soient affleurantes. Un engin de chantier, muni d'une lame et se déplaçant sur de larges chenilles (bulldozer des marais, dameuse de neige...) pénètre à l'intérieur des bassins et pousse les boues vers un poste de pompage. Ce mode de curage est souvent privilégié du fait de la visibilité du travail effectué ;
- Evacuation totale du surnageant et séchage des boues sur place pendant une période suffisante, de l'ordre du mois, afin de réduire leur volume. Cette méthode qui modifie longtemps le fonctionnement de la lagune reste d'usage très limité.

DÉVELOPPEMENTS FUTURS

Les recherches se concentrent actuellement sur l'utilisation de filtres à sable à alimentation intermittente (FSI) à la sortie des lagunes. Ce système présente l'avantage de conserver les capacités hydrauliques des lagunes et d'améliorer l'élimination de la matière organique et la nitrification complémentaire [6, 9].

QUELQUES DONNÉES DE L'OFFICE NATIONAL DE L'EAU POTABLE (ONEP) DU MAROC [17]



En sus de ses principales missions de planificateur et de producteur de l'eau potable à l'échelle nationale, l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) du Maroc a vu ses statuts étendus par l'Etat en 2000 pour lui permettre de prendre en charge également le service d'assainissement pour le compte des communes, qui le souhaitent.

Pour faire face à cette nouvelle prérogative, l'ONEP a fait de l'assainissement liquide une de ses missions stratégiques. Un programme de développement ambitieux de plus de 15 milliards de dirhams a ainsi été élaboré visant à couvrir à l'horizon 2017, l'ensemble des centres où l'ONEP assure la distribution de l'eau potable pour le compte des communes [17].

A fin 2006, l'ONEP est intervenu dans la gestion de 41 petites et moyennes villes pour le compte des communes, au profit d'une population totale de 1,7 millions d'habitants [17].

Le programme d'investissement 2006-2009 (environ 4 milliards de dirhams) intègre systématiquement la collecte, le transport et surtout l'épuration des eaux usées avant leur restitution vers le milieu naturel [17].

Sous le contexte climatique et socio-économique du Royaume du Maroc, le lagunage, moins coûteux et plus simple à exploiter que les systèmes d'épuration par boues activées ou par traitement physico-chimique, a été adopté et recommandé pour les petites et moyennes villes marocaines. En effet, tenant compte de la capacité contributive des citoyens, le traitement par lagunage est un traitement efficace et une solution rentable et durable pour le traitement des eaux usées des petites et moyennes communes [18].

Les eaux usées traitées par lagunage sont des eaux à caractère principalement domestique, dont la DBO5 moyenne est d'environ 350 mg O₂/L, ne dépassant pas 600 mg O₂/L, issues des petites et moyennes villes, correspondant aux petites collectivités françaises [18].

Généralement, une station marocaine de traitement par lagunage comprend un ou plusieurs bassins anaérobies en tête de station, suivis de bassins facultatifs. L'utilisation des bassins anaérobies correspond d'une part à un choix économique, diminution de 40% des coûts de traitement et de la superficie utilisée que pour des bassins aérés, et d'autre part à un choix de priorité de traitement, qui vise l'enlèvement du carbone, vu que les normes sur l'azote et le phosphore n'existent pas encore au Maroc et que l'eau traitée peut être réutilisée pour l'irrigation agricole, en tant qu'engrais [18].

Les tableaux suivants résument les différentes stations en fonctionnement ou dont la mise en service est prévue en 2008 [19].

Pour les filières de type anaérobies, le temps de séjour varie entre 3 et 5 jours et la profondeur varie entre 3 et 5 m. En ce qui concerne les bassins facultatifs, le temps de séjour varie entre 15 et 30 jours et la profondeur varie entre 1,2 et 2 m [19].

Jusqu'à présent, aucune opération de curage de boue n'a encore été réalisée dans aucune des stations présentées ici [18].

Stations d'épuration ONEP de type lagunage à mettre en eau en 2008.

Lieu	Procédé	Date de mise en service prévue	Débit dimensionné (m ³ /j)
Berrechid	Lagunage naturel (A+F)	2008	16006
Bouznika	Lagunage naturel (A+F)	2008	4000
Foum Zguid	Lagunage naturel (A)	2008	210
Essaouira	Lagunage naturel (A+F)	2008	9250
Oulad Teima	Lagunage naturel (A+F)	2008	3992
Sidi Taibi	Lagunage naturel (A+F+M)	2008	1376
Tarfaya	Lagunage naturel (A)	2008	800
Targuist	Lagunage naturel (A+F)	2008	1200

Stations d'épuration ONEP de type lagunage, dont la mise en eau est en cours.

Lieu	Procédé	Date de mise en service prévue	Débit dimensionné (m ³ /j)
El Gara	Lagunage naturel (A+F)	2008	1239
Foum El Hissn	Lagunage naturel (A+F)	2008	376
Tata	Lagunage naturel (A+F)	2008	980

Stations d'épuration ONEP de type lagunage en service.

Lieu	Procédé	Date de mise en service	Débit dimensionné (m3/j)
Mrirt	Lagunage naturel (A+F)	Juin 2003	1800
Sidi Abderrezak	Lagunage naturel (A+F)	2004	87
Kalaat Mgouna	Lagunage naturel (A+F)	Août 2004	613
Ain Taoujdate	Lagunage naturel (A+F)	Septembre 2004	1500
Ben Ahmed	Lagunage naturel (A+F)	Septembre 2004	1830
Bouarfa	Lagunage naturel (A)	Septembre 2004	1422
Rissani	Lagunage naturel (A+F)	Novembre 2004	1180
Al Aaroui	Lagunage naturel (A+F)	Décembre 2004	2360
Ouarzazate et Tarnigte	Lagunage naturel (A+F)	Mai 2005	9011
Guelmim	Lagunage naturel (A+F)	Février 2006	5560
Errachidia	Lagunage naturel (A)	Mars 2006	6000
Berkane	Lagunage naturel (A+F)	Juin 2006	13000
Outat El Haj	Lagunage naturel (A+F)	Décembre 2006	877
Sidi El Mokhtar	Lagunage naturel (A+F)	Décembre 2006	481
Tafraout	Lagunage naturel (A)	Décembre 2006	432
Taurirt	Lagunage naturel (A+F+M)	Décembre 2006	5400
Tiznit	Lagunage naturel (A+F+M)	Décembre 2006	4900
Bni Bouayach Imzouren	Lagunage naturel (A+F)	Avril 2007	5415
Biougra	Lagunage naturel (A+F) + Infiltration-Percolation	Mai 2007	1156
Dar El Gueddari	Lagunage naturel (A+F)	Juillet 2007	706

A : anaérobie ; F : facultatif ; M : maturation

STATION D'ÉPURATION DES EAUX USÉES DE LA VILLE DE BENSLIMANE [20]

Le projet d'épuration et de réutilisation des eaux usées de Benslimane a été réalisé grâce à un partenariat public-privé entre la Municipalité de Benslimane, un opérateur public (ONEP) et un opérateur privé (Société Maroc Ingénierie Loisirs et Développement – MILD). Les objectifs d'un tel projet étaient l'économie de l'eau, la protection de l'environnement et de la santé publique et le développement des potentialités touristiques de la région. Ce projet, dont le coût était d'environ 93 millions de dirhams, a pu voir le jour grâce à une contribution financière appréciable du Gouvernement du Canada (Don de 3,75 millions de dollars canadiens, soit environ 30% du coût total). Le procédé de traitement mis en place combinait des techniques de lagunage naturel et de lagunage aéré associées à un système d'affinage de l'épuration par réservoirs profonds : 5 bassins de traitement anaérobie de 3500 m³ chacun ; 4 bassins aérés de 5000 m³ chacun ; 4 bassins de traitement facultatif (secondaire) d'un volume moyen de 17000 m³ chacun et 4 réservoirs profonds pour le traitement tertiaire et le stockage d'un volume moyen de 75000 m³ chacun. La station a été conçue pour un débit de 5600 m³/j, permettant de satisfaire les besoins de la ville de Benslimane au-delà de 2010. La réutilisation des eaux épurées sert notamment à l'arrosage des parcours du golf. La réalisation de cette station d'épuration par l'ONEP s'inscrit dans le cadre des actions menées par l'Office pour la protection des ressources en eau et de l'assistance technique à la commune de Benslimane [19]. La gestion d'une telle station d'épuration est actuellement exploitée par le gestionnaire du Golf Royal de Benslimane [19].

REMERCIEMENTS

Le Bureau Multipays de l'UNESCO à Rabat tient à remercier vivement d'une part Monsieur Khattabi de l'École Nationale Forestière d'Ingénieurs pour son aide logistique à l'élaboration de cette fiche technique sur le traitement des eaux usées par lagunage, et d'autre part l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) du Maroc pour sa participation active à la réalisation de cette fiche, en particulier Messieurs Segten et Mahi, de la Direction Assainissement et Environnement, et Monsieur Ouald El Haj, de la Division Patrimoine d'Assainissement, ainsi que Madame Lagrani, de la Direction Régionale de l'Oriental, et Madame El Hamzaoui, de la Division technique d'assainissement, qui nous ont gracieusement transmis les photographies illustrant cette fiche technique.

RÉFÉRENCES

- [1] Chaib A., 2004. Bioépuration par lagunage naturel. Bulletin des Energies Renouvelables, N°5.
- [2] Blais J.-F., 2006. Assainissement des eaux usées. Institut National de la Recherche Scientifique Eau, Terre et Environnement, Cours Eau 454.
- [3] ARDAM, 2007. L'épuration des eaux usées : le lagunage naturel - Cas de la station de Mèze-Loupian / Ecosite du Pays de Thau. [pagesperso-orange.fr/ardam/images/pdf/DLagunage%20\(ad\).pdf](http://pagesperso-orange.fr/ardam/images/pdf/DLagunage%20(ad).pdf).
- [4] Seidl M. et Mouchel J.M., 2003. Valorisation des eaux usées par lagunage dans les pays en voie de développement. Centre d'enseignement et de recherche Eau Ville Environnement, centre conjoint de l'ENGREF, de l'ENPC et de l'UPVM.
- [5] Eau En Couleurs, 2006. Introduction au lagunage naturel. www.eauencouleurs.org/IMG/pdf/Introduction_au_lagunage_naturel.pdf.
- [6] CNRC, 2004. Optimisation du lagunage - Une règle de l'art du guide national pour des infrastructures municipales durables. ISBN 1-897094-67-1.
- [7] U.S.EPA, 1977. Operations Manual Stabilization Pond. EPA-430/9-77-012.
- [8] Racault Y., 1997. Le lagunage naturel : les leçons tirées de 15 ans de pratique en France. ISBN 2-85362-453-6.
- [9] Racault Y. et Boutin C., 2004. Le lagunage naturel en France – Etat de l'art et tendances. Ingénierie N° spécial, 77-86.
- [10] Ndabigengesere A., 1997. Traitement des eaux usées industrielles. Université de Sherbrooke, Cours GCH 545.
- [11] ENGEES, 2002. Traitement des eaux usées urbaines – Chapitre 12 : Le lagunage. 237-254.
- [12] Globenet, 2000. Le lagunage écologique. www.globenet.org/preceup/fr/docsfr/michelguy.rtf.
- [13] FNDAE, 2005. Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : origines et solutions.
- [14] FNDAE, 1985. L'exploitation des lagunages naturels – Guide technique à l'usage des petites collectivités.
- [15] FNDAE, 1990. Le génie civil des bassins de lagunage naturel.
- [16] FNDAE, 1998. Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités.
- [17] ONEP, 2007. Le droit à l'eau pour tous - Notre devise.
- [18] Ouald El Haj O., 2008. Division Patrimoine d'Assainissement de l'ONEP. Communications personnelles.
- [19] Segten A. et Mahi M., 2008. Direction Assainissement et Environnement de l'ONEP. Communications personnelles.
- [20] ONEP, 1997. Station d'épuration des eaux usées de la ville de Benslimane.

ABRÉVIATIONS

ARDAM	Association de Recherche et de Développement des Activités et Métiers de l'environnement
CNRC	Conseil National de Recherches du Canada
DBO	Demande Biochimique en Oxygène
DBO5	Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours
ENGEES	Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg
FNDAE	Fonds National pour le Développement des Adduction d'Eau Rurales
FSI	Filtre à sable à alimentation intermittente
MES	Matières en suspension
ONEP	Office National de l'Eau Potable
U.S.EPA	US Environmental Protection Agency

L'élaboration de la fiche technique UNESCO sur le traitement des eaux usées par lagunage a été réalisée et menée à bien par la société GEB-Environnement, bureau d'études, de conseils et d'expertises en génie environnemental.
www.GEB-Environnement.com