

## Des réservoirs opérationnels pour la valorisation des eaux d'épuration urbaines

EL HAITE Hakima <sup>(1)</sup>, Laforest Valérie <sup>(2)</sup> et BOURGOIS Jacques <sup>(2)</sup>

(1) Sté EauGlobe

19, angle rue Fès et rue Meknès, 10000 Rabat, Maroc

(2) Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne (Centre : Sciences, Information et technologies pour l'Environnement – SITE)

158 cours Fauriel, 42023 Saint-Etienne Cedex2, France

### Résumé

La pénurie de la ressource en eau et les difficultés de sa mobilisation d'une part et les coûts importants de l'eau potable d'autre part, ont poussé les autorités locales de la ville de Benslimane (Maroc) et les gestionnaires du golf à s'orienter vers une ressource alternative: la réutilisation des effluents épurés pour l'arrosage du golf.

La STEP de Benslimane comporte un système de lagunage aéré classique suivi de quatre réservoirs opérationnels, d'un volume total de 300000 m<sup>3</sup>, prévus pour le stockage et le finissage de l'eau. La profondeur de ces réservoirs est de 5 m et le temps de séjour de 35 jours. Une nappe d'eau de 1 m est prévue de demeurer toujours au fond des réservoirs en tant que volume non - opérationnel. (Tahal, 1994)

Les abattements moyens des concentrations des polluants dans la filière de traitement, restent classiques pour les différentes étapes du traitement et assez exceptionnels pour les coliformes fécaux (abattements moyens de 60% pour la DBO<sub>5</sub>, 58% pour la DCO, 86% pour les MES et 81% pour les coliformes). Les abattements pour les coliformes fécaux ont atteint 100% pour 40% des échantillons.

L'évolution des valeurs des différents paramètres de pollution sous le même régime hydraulique est synchrone et montre que les réservoirs ont les mêmes performances avec, cependant, un léger décalage dû aux différences des temps de séjour et aux conditions climatologiques différentes.

L'analyse des corrélations des différents paramètres dans les réservoirs opérationnels font ressortir :

- (i) une corrélation négative entre la température et les MES témoignant de meilleures performance l'été que l'hiver ;
- (ii) avec un temps de séjour plus long, le pH dans le réservoir opérationnel a tendance à baisser. Cette baisse s'accompagne d'une diminution de la DCO. L'acidification peut être en relation avec la libération du CO<sub>2</sub> lié à la photosynthèse ;
- (ii) l'augmentation de l'oxygène dissous provoque une activité bactérienne plus élevée se traduisant par un accroissement de la DBO<sub>5</sub>. Avec un temps de séjour plus long, les teneurs en coliformes fécaux et en DBO<sub>5</sub> diminuent. La diminution des coliformes avec le temps peut s'expliquer par la baisse de leur multiplication et/ou leur mortalité ;
- (iv) une très forte corrélation entre les MES et la DBO<sub>5</sub> est également observée et explicable par le fait qu'une grande partie des MES présentes dans le réservoir sont essentiellement des bactéries et donc est essentiellement biodégradable, ce qui explique également la corrélation positive entre les MES et la DBO<sub>5</sub>.

L'analyse du fonctionnement des réservoirs opérationnels, montre que ces derniers présentent de meilleures performances épuratoires en termes d'abattement des bactéries et de parasites que les filières de finissage conventionnelles. De plus ils constituent des réservoirs de stockage de l'eau épurée prête à être réutilisée en agriculture. Ces réservoirs constituent une solution pour les pays arides et semi-arides

## Introduction

Conçu en 1994, avec comme objectif ultime, la réutilisation des eaux usées épurées (Groupement Mildes Tahal, 1994) pour l'arrosage des golfs, la STEP de Benslimane fut implantée à plus de 2 km, en ligne directe, au Nord-Ouest de la ville et de l'enceinte du golf sur la rive droite de l'oued Ben Soltane.

La technologie de traitement des eaux usées proposée pour cette ville comportait en plus d'un lagunage aéré classique, des réservoirs opérationnels (Shelef, 1994)(M.Juanico 94, Tahal, 1995). Cette technologie a été adoptée pour trois raisons principales : (1) toutes les boues produites sont directement injectées dans le procédé et minéralisées ;(2) Les eaux une fois épurées contiendraient 0 coliformes fécaux /100ml et 0 œufs d'helminthes et ne représenteraient aucun risque sanitaire en cas d'arrosage et d'irrigation et enfin (3) la technologie reposerait essentiellement sur un système combinant stockage et finissage des eaux usées et apporterait de ce fait, une solution double au problème de l'arrosage

Après une dizaine d'années d'opération, La station d'épuration, continue à être exploitée sans aucun problème de qualité et les golfs de Benslimane reçoivent toujours les effluents épurés pour leur arrosage.

## Résultats et discussion

La présente recherche se propose de clarifier le mode de fonctionnement des réservoirs opérationnels et d'évaluer si la STEP de Benslimane peut être classée comme une 'meilleures technologies disponibles' (MTD).

Dans l'objectif d'évaluer les performances des différentes composantes de la station, d'apprécier l'évolution des différents paramètres tout le long de la filière et d'identifier les corrélations existant entre eux, un protocole de mesure et d'analyse, a été mené durant l'année 1. Durant la deuxième année, le protocole expérimental a concerné les réservoirs opérationnels où des prélèvements et analyses ont été menés à différentes profondeurs en vue d'apprécier la dynamique épuratoire sur la hauteur de la colonne d'eau du réservoir, en comprendre le fonctionnement et en dégager les principes de dimensionnement.

L'échantillonnage (norme AFNOR NF EN 25667) a porté sur deux années. Les points d'échantillonnage ont été fixés en aval de toutes les composantes de la filière de traitement en général et au niveau des réservoirs opérationnels en particulier. Les points d'échantillonnage ont concernés : l'entrée du prétraitement, la sortie des bassins anaérobies, la sortie des lagunes aérées, la sortie des lagunes facultatives, les réservoirs opérationnels à des profondeurs de 50 cm par rapport à la surface de l'eau à différentes hauteurs d'eau et à différentes périodes de l'année et aléatoirement dans tous les réservoirs pleins.

Durant les années 1 et 2, la fréquence d'échantillonnage a été d'une fois par mois au niveau de toutes les étapes du traitement et d'une à deux fois par mois au niveau des réservoirs opérationnels. Pour les différentes composantes de la STEP, un échantillon moyen a été constitué à partir de 3 à 4 prélèvements ponctuels effectués lors de la vidange des bassins et à différents moments de la journée.

Les paramètres de suivi ont été les suivants pour toute la filière: la température, le pH, l'oxygène dissous, la conductivité électrique, la demande biochimique en oxygène (DBO5), la demande chimique en oxygène (DCO), les coliformes fécaux et les matières en suspension. Pour les réservoirs opérationnels des paramètres supplémentaires ont été réalisés : taux en chlorophylle a et en matière organique.

L'analyse des performances épuratoires de la filière de traitement a montré que la qualité des eaux à l'entrée de la STEP est similaire à celles des eaux usées marocaines établies par l'Office National de l'Eau Potable pour des villes de même taille. Ces eaux sont caractérisées par des températures variant entre 14 et 27 °C ; des pH autour de 7 unités (variabilité de 0,1 à 0.2) ; des concentrations en oxygène dissous pratiquement nulles voire imperceptibles ; des concentrations en DBO5 oscillant entre 150 et 500 mg/L, selon que l'on se situe en période pluviale ou non. Les concentrations en DBO5 des rejets de Benslimane ont varié entre 100 et 220 mg/L ; les concentrations en DCO ont varié

entre 200 et 550 mg/L ; celles des MES ont varié entre 130 et 230 mg/L et les teneurs en coliformes fécaux étaient de l'ordre de  $10^7$  u/100 mL. (Groupement Mildes Tahal , 1994)

L'analyse des performances épuratoires des lagunes anaérobies a relevé des abattements moyens en DBO<sub>5</sub>, DCO, MES et coliformes fécaux de 51%, 53%, 80%, respectivement. Le concepteur a adopté un abattement moyen de 50% pour la DBO<sub>5</sub> et la DCO à la sortie du bassin anaérobie pour le dimensionnement de la STEP de Benslimane.

Dans les bassins aérés des abattements moyens de 49%, 46% et 26% sont observés respectivement sur les concentrations en DBO<sub>5</sub>, DCO et MES provenant des bassins anaérobies. Les abattements les plus faibles de la DBO<sub>5</sub> et de la DCO sont observés lors du mois de janvier, soit le mois le plus froid de l'année. Les abattements varient entre 32% à 70% pour la DBO<sub>5</sub> (le concepteur a adopté un abattement moyen de 50%) et entre 33% à 57% pour la DCO. Les abattements en MES montrent des variations de fortes amplitudes parfois négatives traduisant une augmentation de la concentration en MES à la sortie du bassin probablement à cause d'une remise en suspension des composés insolubles. Pour ce qui est des coliformes fécaux, les bassins aérés permettent un abattement supplémentaire de 1 unité log.

Dans les bassins facultatifs, les concentrations en MES connaissent sur 50% des échantillons prélevés des augmentations. Cette augmentation est associée selon la littérature à la prolifération des algues dans le bassin du fait de l'accroissement de la concentration en oxygène et du phénomène de la photosynthèse. (PEARSON., 1987)

Les performances épuratoires dans les réservoirs opérationnels ont été appréciées en prenant en considération le temps de séjour.

Pour tous les échantillons, un abattement spectaculaire des coliformes fécaux à partir d'un temps de séjour supérieur à 18 jours (<100unités/100mL) a été observé. La teneur maximale des coliformes fécaux, observée a été enregistrée à un temps de séjour de 13 jours (8000 unités/mL)

Toutes les concentrations enregistrées ont été conformes aux objectifs de qualité fixés par le concepteur pour tous les échantillons prélevés à des temps de séjour supérieur à 29 jours. La qualité de l'eau a atteint plus rapidement la conformité (en objectifs de qualité) en ce qui concerne les teneurs en coliformes fécaux et la DBO<sub>5</sub> qu'en termes de DCO. L'élimination des coliformes fécaux dans les réservoirs opérationnels, semble être plus rapide que la dégradation de la DCO. (18 jours contre 28 jours)

L'analyse des abattements moyens des paramètres analysés dans les réservoirs, comparées à celles enregistrées à la sortie des bassins facultatifs, laisse a priori des abattements de 60% pour la DBO<sub>5</sub>, 40% pour la DCO et 48% pour les MES. Les abattements pour les coliformes fécaux ont été exceptionnels et ont varié entre 98% et 100% pour tous les prélèvements effectués pour des temps de séjour supérieurs à 13 jours.

Toutefois étant donné que les prélèvements dans les réservoirs ont été faits à 50 cm par rapport au niveau de l'eau, soit à hauteur de l'épilimnion qui représente la couche d'eau la plus oxygénée, où siège l'essentiel du phénomène de la photosynthèse (compte tenu des échanges intenses existant entre l'air et la surface du bassin, l'ensoleillement etc.), (Juanico, 1995) les abattements enregistrés n'ont de ce fait pas été attribués définitivement aux réservoirs opérationnels et le suivi analytique prévu à différentes profondeurs du réservoir a été exploité pour valider les abattements.

Le suivi de la qualité de l'eau à différentes profondeurs avait donc pour objectif de vérifier l'homogénéité des paramètres de qualité sur toute la colonne d'eau, de fixer la hauteur de la colonne d'eau à partir de laquelle la qualité de l'eau est non conforme aux usages prévus et donc à partir de laquelle aucun prélèvement n'est possible (cette hauteur représente le point à partir duquel on évacuera les eaux usées épurées), de valider le temps de séjour fixé par le concepteur pour le réservoir, soit celui de 35 jours et enfin valider le choix du point d'évacuation de l'eau qui a été prévu à partir de celui d'alimentation du réservoir à 50 cm au - dessus du volume non opérationnel. (Groupement Mildes Tahal , 1994)

L'examen des concentrations des différents paramètres le long de la colonne d'eau laisse ressortir trois strates d'eau :

Strate 1 : se caractérise par de très fortes concentrations en chlorophylle, de fortes concentrations en oxygène dissous et une élimination quasi totale des coliformes fécaux. Cette qualité de l'eau se situe entre 4 m et 2 m.

Strate 2 : se situant entre 70 cm et 2 m se caractérise par des concentrations moins grandes en chlorophylle et des teneurs en oxygène dissous inférieures à 7 mg/l.

Strate 3 : se caractérise par une diminution nette des concentrations en chlorophylle, et de l'oxygène dissous et une augmentation des MES, de la DBO<sub>5</sub> et des coliformes fécaux. Cette sous classe de qualité, se situe à des profondeurs inférieures à 40 cm.

L'examen des concentrations des paramètres analysés montre que la qualité de l'eau est conforme aux exigences de qualité fixée pour l'arrosage du golf et ce au niveau de toutes les strates et que sur toute la colonne comprise entre 40 cm et 400 cm, les teneurs en oxygène dissous sont supérieures à 2 mg/L. donc toutes les réactions qui se passent entre 40 cm et 400 cm se déroulent en milieu aérobie).

Les eaux de toute la colonne d'eau sont conformes aux limites fixées pour la réutilisation, il ressort que le réservoir garde une stratification même à la fin de l'écoulement du temps de séjour et qu'on n'atteint pas l'homogénéité absolue de l'eau sur toute la profondeur du réservoir.

Toutefois, cette stratification n'est pas suffisamment poussée pour remettre en cause la qualité des effluents requis pour l'arrosage des golfs sur une profondeur de 40 cm à 450 cm (où la qualité de l'eau est conforme aux objectifs de réutilisation pour l'arrosage du golf). La limite de la hauteur d'eau à partir de laquelle, il est donc possible d'envoyer l'eau vers le golf semble se situer autour de 40 cm.

Le réservoir a donc été considéré par le concepteur dans un état de mélange parfait après sa fermeture et l'écoulement du temps de séjour de 35 jours. Cette hypothèse justifie le choix d'un point unique d'alimentation et d'évacuation des eaux. En effet, l'entrée et la sortie de l'eau dans le réservoir de Benslimane a été placée à 50 cm au-dessus du volume non opérationnel.

L'analyse des corrélations laisse voir des corrélations positives s'approchant de 1 (sup à 0,9) entre la profondeur et la chlorophylle ; l'oxygène dissous et la chlorophylle, la DBO<sub>5</sub>, MES, Oxygène dissous, les coliformes fécaux et la profondeur.

L'augmentation de l'oxygène dissous provoque une activité bactérienne plus élevée se traduisant par leur multiplication et expliquant la corrélation positive de celui-ci avec les coliformes.

Les fortes corrélations positives observées avec la DBO<sub>5</sub> pour tout ce qui est des MES et des coliformes, signifient qu'une grande partie de ces composants sont essentiellement biodégradables et constituent une partie de la DBO<sub>5</sub>. Leur diminution entraîne de ce fait la diminution de la DBO<sub>5</sub>.

L'augmentation des coliformes suite à l'augmentation de l'oxygène dissous se traduit par un accroissement de la DBO<sub>5</sub> essentiellement due à la multiplication bactérienne. Toutefois, avec un temps de séjour plus long, les teneurs en coliformes fécaux et en DBO<sub>5</sub> diminuent.

En effet, l'analyse de l'évolution des coliformes fécaux et de la DBO<sub>5</sub> avec le temps de séjour, laisse voir des corrélations négatives entre le temps de séjour et ces deux paramètres.

La diminution des coliformes avec le temps peut s'expliquer par la baisse de leur multiplication et/ou leur mortalité.

Les conditions et l'environnement des réservoirs n'ayant pas subi de changement, le facteur éminent est celui de l'arrêt de l'alimentation des réservoirs par les eaux usées, soit l'arrêt de l'approvisionnement des bactéries en matière organique. Avec un temps de séjour plus long, le milieu nutritif devient un facteur limitant pour la prolifération bactérienne, les bactéries ayant épuisé les matières organiques présentes dans l'eau meurent et entraînent de ce fait la baisse consécutive de la DBO<sub>5</sub>.

La très forte corrélation positive entre les coliformes et les MES, signifie qu'une grande partie des MES dans le réservoir est essentiellement des bactéries ( $r=0,94$ ) et donc sont essentiellement biodégradables et expliquent la corrélation fortement positive entre les MES et la DBO<sub>5</sub> ( $r=0,9$ ).

Les abattements observés pour tous les paramètres de pollution en amont des réservoirs opérationnels sont classiques et comparables aux abattements usuellement rencontrés dans

différents procédés de traitement secondaires qu'ils soient intensifs, semi extensifs ou extensifs. (PEARSON., 1987)

Ce qui est peu commun est l'abattement moyen des coliformes fécaux qui reste exceptionnel et est de 100% entre l'entrée et la sortie de la STEP.

*Table 1 : Synthèse des abattements moyens des paramètres de pollution dans la filière de traitement (entre la sortie de chaque étape et l'entrée initiale)*

Abattement en %	Abattement en % DBO5	Abattement en % DCO	Abattement en % MES	Abattement en % des CF
Anaérobie	50,92	52,91	69,92	84,40
Aéré	49,01	45,73	25,90	47,18
Facultatif	30,32	13,88	0,21	91,54
Réservoirs opérationnels	61,09	42	49	97
Abbattement Global de la filière (entrée-sortie)	92,46	85	91	100

En vue de vérifier le fonctionnement des différents réservoirs, la deuxième année de cette recherche s'est attelée à faire des prélèvements et des analyses simultanés dans les quatre réservoirs. L'analyse des différents paramètres laisse voir :

Pour la température, deux périodes bien distinctes : la première se situe entre novembre et avril et est caractérisée par des températures inférieures à 20°C pouvant atteindre un minimum de 13°C (janvier-février) et la seconde entre mai et octobre caractérisée par des températures supérieures à 20°C et pouvant atteindre 27°C en août. L'évolution de la température est similaire dans les quatre réservoirs.

A l'image de ce qu'on a observé pour la température, la concentration en oxygène dissous varie dans le même sens pour les quatre réservoirs. On observe : (1) des concentrations en oxygène dissous toujours supérieures à 6 mg/L (sauf pour les valeurs du mois de mars où il y'a eu un événement de crue exceptionnel) ; (2) les concentrations en oxygène les plus élevées (dépassant 18 mg/L), ont été observées les mois de novembre, décembre, avril et mai, les plus faibles ont été enregistrées entre les mois de janvier et mars, période qui correspond également aux enregistrements des valeurs les plus faibles de températures et les plus élevés en biomasse. L'évolution de l'oxygène dissous en fonction des saisons n'est pas manifeste, toutefois sa confrontation avec les différents paramètres laisse montrer sa dépendance étroite de la teneur en biomasse. La concentration en oxygène dissous est inversement proportionnelle à celle de la teneur en coliforme fécaux. Quant au facteur pH, De janvier au mois de mars, le pH se stabilise pratiquement pour tous les réservoirs autour de 8 unités. Les variations de pH dans les réservoirs est de très faibles amplitudes. La synchronie de l'évolution des concentrations en DBO<sub>5</sub> est très nette pour les quatre réservoirs. On retrouve les mêmes ordres de grandeur d'abattement. Toutes les concentrations en DBO<sub>5</sub> sont inférieures à 25 mg/L à la sortie des réservoirs (sauf pour un échantillon du réservoir n°2 où la valeur enregistrée a été de 32 mg/L). Le comportement des réservoirs par rapport à la DBO<sub>5</sub> semble identique et peut facilement faire l'objet d'une modélisation.

Comme rapporté précédemment lors de l'analyse des performances de la filière, l'élimination des coliformes fécaux dans les réservoirs opérationnels est importante. Les teneurs les plus élevées en coliformes fécaux ne dépassent pas 25 unités par 100 mL. 25% des échantillons prélevés contenaient moins de 1 unité de coliformes fécaux par 100mL et 60% en contenaient moins de 10 unités. L'évolution des teneurs en coliformes fécaux montre des teneurs élevées pendant les mois les plus chauds (juin, juillet et août) et les teneurs les plus faibles sont enregistrées pendant les mois les plus froids.

## Conclusion

L'évolution des teneurs des différents paramètres dans les réservoirs est synchronique et montre qu'ils opèrent de la même manière avec un léger décalage en relation avec les différences des temps de séjour et des conditions climatologiques.

Le dernier chapitre de nos travaux a été consacré, à l'image de ce qui se passe en Europe à évaluer si le procédé d'épuration des eaux usées de Benslimane est une MTD (Meilleure Technique Disponible).

Le concept de Meilleure Technique Disponible (Best Available Techniques en anglais (BAT)) est apparu en 1996 avec la directive européenne IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control - Prévention et contrôle intégré de la pollution) n°96/61/EC. Il a récemment été repris dans la version codifiée de cette directive (directive IPPC n°2008/1/EC).

Le concept de meilleure technique disponible est définie par l'article 2 de l'I.P.P.C. « comme le stade de développement le plus efficace et avancé des activités et de leurs modes d'exploitation, démontrant l'aptitude pratique de techniques particulières à constituer, en principe, la base des valeurs limites d'émission visant à éviter et, lorsque cela s'avère impossible, à réduire de manière générale les émissions et l'impact sur l'environnement dans son ensemble".

Les MTD sont considérées comme les « meilleures » techniques, au sens où elles sont les plus efficaces pour atteindre un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble. Ces techniques sont « disponibles », ce qui signifie qu'elles sont testées à une échelle leur permettant de les appliquer dans le contexte du secteur industriel concerné, dans des conditions techniquement viables, en prenant en considération les coûts et les avantages.

Cette approche permet de fixer le choix de la variante d'épuration qui pourra ensuite sans problème faire l'objet de l'étude d'impact et avoir l'acceptabilité environnementale.

Rappelons que de nombreuses techniques de traitement des eaux usées sont disponibles et approuvées à travers le monde. Toutefois pour des objectifs d'arrosage des espaces verts ou d'irrigation de terrains de golf, ces techniques requièrent souvent la mise en place d'unités de traitement supplémentaires pour le finissage de l'eau pour éliminer les germes pathogènes et des unités de stockage pour répondre aux besoins des espaces à irriguer. Les réservoirs opérationnels implantés à Benslimane, répondent à ces critères car ils sont des unités de stockage et de finissage de l'eau qui ont été massivement implantés en Israël (Plus de 200 réservoirs) et exceptionnellement implantés au Maroc depuis 1995. (Shevah, 1996)

L'évaluation du procédé de Benslimane s'est faite tenant compte de l'objectif de conception, à savoir celui de la réutilisation des eaux épurées pour l'arrosage des golfs (ce qui requièrent une qualité microbiologique très haute) et la satisfaction des besoins des golfs en terme quantitatif (ce qui requiert un stockage de l'eau épurée).

La comparaison des procédés repose sur les quatre objectifs d'évaluation de la performance des techniques au regard des performances des MTD. La performance de la STEP de Benslimane est alors évaluée au travers quatre objectifs : (1) prévenir et limiter les impacts environnementaux, (2) prévenir les risques, (3) performance technique (mise en œuvre), et (4) faisabilité économique.

L'évaluation qualitative du procédé de la STEP de Benslimane laisse voir que le procédé de Benslimane pourrait être une MTD (Meilleure Technique Disponible (MTD) étant donné qu'il propose 83 % d'avantages en plus que les boues activées et les lits bactériens et 28 à 30% d'avantages en plus du lagunage naturel et du lagunage aéré.

## **Bibliographie**

- Groupement Mildes Tahal . (1994). *epuration des eaux usées de la ville de Ben slimane*. Benslimane.
- Juanico. (1995). Limnology of a warm hyper trphic wastewater reservoir in Isreal. II. Changes in water quality. . *Int Revues egs Hydrobiol* , pp. 415-428.
- Pearson., m. D. ( 1987). *Waste stabilization ponds : Design manual for Mediterranean Europe*. . Copenhag: World Health Organization - Regional Office for Europe.
- Shelef, J. a. (1994). Design operation and performance of stabilization reservoirs for wastewater irrigation in Israel. *Wat Res* 28 , pp. 175-186.
- Shevah. ( 1996). Israel national policy for wastewater treatment and reuse. *Proc. Int. Cont. on Water Resources Management under Scarcity. Tel-Aviv, Israel* , p. 9.