

Gestion des effluents d'huilerie de palme à PT SMART, Indonésie

Qualification du système de traitement par lagunage

Jean-Luc FARINET*, Laurent CORCODEL*, Fahri Aries SIREGAR**, Ety TESTIATI**,
Jean-Pierre CALIMAN***, Jean Marc NOEL***

*Cirad Ca, avenue d'Agropolis TA 74/09 F34398 Montpellier cedex 5 France

**PT SMART SMARTRI, Libo estate, Kandis – Siak Riau Indonesia

***Cirad Cp, Boulevard de la Lironde, TA 80/PS3, F34398 Montpellier cedex 5 France

Résumé — Lors des différentes opérations d'extraction puis de séparation de l'huile de palme, des rejets liquides sont générés et forment un effluent final appelé POME (Palm Oil Mill Effluent). Préalablement à son recyclage dans les palmeraies, le POME subit un traitement par lagunage qui vise à diminuer sa charge organique. Une campagne d'échantillonnage et analyse des effluents en entrée/sortie du dispositif de lagunage sur deux huileries de PT Smart en Indonésie a été réalisée. Elle a permis, sur une période d'un an, d'une part de caractériser le POME brut et traité et d'autre part de qualifier les performances du lagunage. Les temps de rétention hydraulique moyens des deux dispositifs sont de 201 et 411 jours en tenant compte d'un facteur de dilution par l'excédent pluviométrique. Les abattements élevés qui sont observés pour la demande chimique en oxygène (80 à 90 %) et la demande biologique en oxygène (95 %) se traduisent par l'émission de gaz à effet de serre. Des phénomènes d'agglomération et décantation des matières en suspension sont à l'origine d'une rétention des minéraux et métaux dans les dispositifs. La valeur agronomique du POME traité est améliorée sur le plan organique mais sa formulation en éléments fertilisants est déséquilibrée. Des améliorations des dispositifs de lagunage sont proposées afin de réduire les risques environnementaux.

Abstract — **Management of oil palm effluent in PT SMART plants, Indonesia. Qualification of the pond treatment system.** At the time of the various operations of extraction then of separation of oil, liquid effluents are generated and form a final effluent called POME (Palm Oil Mill Effluent). Before its recycling in the palm plantations, the POME undergoes a treatment by ponds which aims at decreasing its organic load. A sampling campaign and analysis of effluents in input/output of the pond system on 2 oil mills has been done. It allowed, on a one year period, on one hand to characterize the raw and treated POME and on the other hand to qualify the performances of the pond system. Mean HRT of the two systems are 201 and 411 days taking into account a dilution factor caused by excess rain. The high levels of DCO (80 to 90%) and DBO₅ (95%) reductions conduct to greenhouse gases emission. Suspended particles agglomeration and decantation cause minerals and metals retention inside the lagoons. The agronomic value of the treated POME is improved from the organic point of view but its formulation in nutrients is unbalanced. Improvements of the pond system are proposed to reduce environmental risks.

Introduction

La culture de palmier à huile occupe le deuxième rang mondial des cultures oléagineuses derrière le soja. Le groupe indonésien PT SMART est un des leaders mondiaux de la production d'huile de palme, avec 300 000 hectares de plantations, 23 huileries opérationnelles et une production de 1 million de tonnes d'huile en 2001. Le groupe est présent dans plusieurs provinces d'Indonésie et dispose d'un centre de recherche, le SMARTRI (Sinar Mas Agro Ressources Technology Research Institute) à Libo dans la région de Riau sur l'île de Sumatra. Dans le cadre d'un accord, le Cirad et le SMARTRI ont collaboré sur différents axes de recherche dont la caractérisation du traitement des effluents d'huilerie de palme par lagunage.

Le processus de fabrication d'huile de palme à partir des régimes de fruits récoltés dans les plantations se décline en 4 étapes principales : la stérilisation, l'égrappage, l'extraction de l'huile et sa clarification. Au cours de ces différentes opérations, des condensats et des rejets de clarification sont produits et évacués vers une fosse de collecte après une dernière récupération d'huile par décantation dans un florentin. Le décantât final constitue un effluent communément appelé le POME (Palm Oil Mill Effluent). D'autres eaux usées sont produites dans l'huilerie (eaux de lavage, de purges...) mais leurs débits et charges polluantes sont faibles et elles sont souvent rejetées dans le milieu naturel après un simple traitement par décantation. Le POME est par contre un effluent très chargé en matières organiques et minérales et il représente classiquement 60 à 70 % du tonnage de régimes traité ou 3 fois la quantité d'huile produite. Dans le cas des usines de PT SMART en Indonésie, près de 3 000 000 m³ de POME sont produits chaque année.

Historiquement, compte tenu de sa charge minérale, le POME était soit rejeté directement dans le milieu naturel, soit destiné à un épandage dans les plantations de palmiers à huile afin de couvrir les besoins en éléments nutritifs (Wood *et al.*, 1979 ; Ma et Ong, 1986). Suite à différentes initiatives, en provenance notamment de Malaisie dans les années 70 (Malaysian Environment Quality Act, 1974 ; Environmental Quality Regulations, 1977), un traitement préalable a été rendu obligatoire afin de diminuer la charge organique de l'effluent. Ainsi, en Malaisie et en Indonésie, la demande biologique en oxygène sur 5 jours (DbO₅) du POME ne doit pas excéder 5 000 mg.l⁻¹ pour qu'il puisse être épandu en plantation, alors qu'elle est de l'ordre de 25 000 mg.l⁻¹ en sortie d'usine. Cette réduction imposée de la charge organique peut sembler paradoxale compte tenu de l'usage final de l'effluent. En fait, il s'agit surtout d'un principe de précaution en liaison directe avec le mode d'épandage en vigueur. En effet, les dispositifs d'épandage les plus courants sont peu optimisés et consistent à épandre gravitairement le POME en utilisant des systèmes appelés *flat* ou *long beds* qui peuvent être sujets à des débordements lors des fortes pluies et, par suite, affecter les cours d'eau avoisinants.

Différentes techniques de traitement du POME ont été expérimentées. Elles sont pour l'essentiel de type biologique aérobie (Karim et Kamil, 1989) ou anaérobie (Cail et Barford, 1985 ; Borja *et al.*, 1996), avec quelques tentatives en matière de séparation liquide/solide poussée par des membranes (Fakhru'l-Razi et Noor, 1999 ; Ahmad *et al.*, 2003) ou par coagulation et flottation (Ng *et al.*, 1987). Le lagunage reste cependant la technique la plus souvent mise en œuvre en aval des usines et ce type de traitement a été retenu dès le départ par PT SMART. Etant donné la profondeur importante des lagunes (plus de 4 mètres) et l'absence de dispositif d'aération, il s'agit en fait d'un lagunage anaérobie où se combinent différents processus de biodégradation, volatilisation et décantation. Compte tenu des conditions climatiques qui prévalent en Indonésie, le lagunage induit par ailleurs une dilution de l'effluent par les eaux de pluie.

Compte tenu de cette situation, il semblait intéressant de vérifier l'influence du pré-traitement par lagunage sur la valeur agronomique du POME. A cet effet, nos travaux ont consisté à mener une campagne d'échantillonnage et d'analyse en entrée/sortie de deux dispositifs de lagunage sur une durée d'un an.

Description générale des dispositifs de lagunage

Dans la plupart des usines du groupe PT SMART, le dispositif de traitement par lagunage est constitué de 3 à 10 lagunes fonctionnant en parallèle. Elles sont alimentées alternativement pendant quelques heures par une pompe qui puise le POME dans la fosse de collecte de l'huilerie. L'alimentation est étagée en 3 points sur la longueur de chaque lagune. L'effluent traité est pompé à débit égal dans chaque lagune par l'intermédiaire d'un puisard et d'une pompe qui le distribue directement dans les parcelles de palmiers. Ce schéma hydraulique particulier du système de lagunage lui confère théoriquement un caractère « infiniment mélangé ». Par ailleurs, les pompes d'alimentation et d'évacuation étant

indépendantes, les lagunes peuvent parfois jouer un rôle de stockage tampon même si les opérateurs s'évertuent à maintenir un niveau constant dans les lagunes.

Les dispositifs de lagunage sont normalement dimensionnés pour obtenir un temps de rétention hydraulique (Trh) de l'ordre de 120 jours sur la base du débit maximal de POME en provenance des huileries. Ces dernières ne fonctionnant pas à leur capacité maximale toute l'année, les Trh effectifs sont généralement beaucoup plus longs. Lors de leur démarrage, les lagunes sont inoculées avec des boues en provenance d'autres lagunes déjà en fonctionnement. Ensuite, le contrôle de leur fonctionnement est réalisé via des prélèvements quotidiens dans chaque lagune, avec mesures du pH et du titre alcalimétrique et dosage des acides gras volatils totaux. Théoriquement, le curage des lagunes est prévu tous les 3 ans mais, dans la pratique, il n'est effectué que tous les 5 à 6 ans. Les boues extraites ne sont pas valorisées mais déposées en bordure des lagunes pour augmenter la hauteur des berges et les stabiliser.

L'épandage du POME traité en plantation est réalisé sur la base d'une dose de $750 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$, fractionné en 3 apports de $250 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. L'épandage est opéré chaque jour en alternant l'apport sur les différentes parcelles équipées, à raison de 8 à 12 heures de pompage.

Matériels et méthode

Localisation et caractéristiques des dispositifs de lagunage

Les travaux ont été réalisés dans les huileries de Libo et Rama Rama proches du SMARTRI. Ces deux huileries ont une même capacité de production installée de $60 \text{ T} \cdot \text{heure}^{-1}$ de régimes. Les huileries fonctionnent toute l'année et le cycle de production est hebdomadaire avec un jour d'arrêt.

A Libo, le dispositif de lagunage est constitué de 2 tranches A et B construites respectivement en 1988 et 1991. La tranche A a été exclue de l'étude car son fonctionnement hydraulique est très particulier et lui confère un caractère hybride « série/parallèle ». La tranche B, qui a fait l'objet de l'étude, est constituée de 4 lagunes d'un volume unitaire de $20\,400 \text{ m}^3$ qui traitent les deux tiers de la production de POME en provenance de l'huilerie. La profondeur des lagunes est de 4 m et le temps de rétention hydraulique (Trh) est de 150 jours à la capacité maximum de production de l'huilerie.

A Rama Rama, le dispositif construit en 1994 est constitué de 8 lagunes d'un volume unitaire de $26\,250 \text{ m}^3$ et d'une profondeur de 6 m. Ce dispositif est très surdimensionné avec un Trh de plus de 250 jours à la capacité maximum de production de l'huilerie.

Mesures de débit et échantillonnages

Le débit de POME envoyé vers les lagunes a été mesuré chaque jour par l'intermédiaire de compteurs horaires disposés sur les pompes d'alimentation dont le débit a été préalablement étalonné. Le débit de POME traité extrait des lagunes vers l'épandage n'a pas été mesuré mais un bilan entre la pluviométrie et l'évaporation (type bac classe A) est effectué au pas de temps hebdomadaire. Le déficit ou l'excédent d'eau est rapporté à la surface des lagunes et au débit d'alimentation en POME afin de déterminer le taux de dilution moyen sur la période. Les données climatiques proviennent, pour Libo, de la station météorologique du SMARTRI et pour Rama Rama, d'une station météorologique proche du dispositif de lagunage.

Le POME en sortie d'huilerie est prélevé dans la fosse de collecte tandis que le POME traité par lagunage est prélevé dans le puisard de pompage vers l'épandage. Préalablement à la campagne d'échantillonnage sur un an, des mesures régulières de pH, conductivité électrique et matière sèche totale ont été réalisées au niveau de tous les points de prélèvement afin d'apprécier la variabilité de la composition des effluents à l'échelle de la journée et de la semaine. L'analyse factorielle des résultats de mesure a permis de déterminer la fréquence et les horaires de prélèvement les mieux à même de tenir compte de cette variabilité observée. Pour le POME, des prélèvements sont réalisés toutes les 2 à 3 heures dans la fosse de collecte afin de constituer un échantillon composite journalier. Pour le POME traité, l'échantillon journalier est basé sur un simple prélèvement dans le puisard de pompage réalisé en début d'après midi. En fin de semaine, les échantillons journaliers, conservés au réfrigérateur à 4°C , sont assemblés pour donner l'échantillon composite hebdomadaire destiné à l'analyse qui est faite dans les plus brefs délais.

La campagne d'échantillonnage s'est déroulée sur 52 semaines à compter du 10 juin 2002 à Libo et sur 50 semaines à compter du 24 juin 2002 à Rama Rama. Les lagunes étant déjà en fonction depuis plusieurs années, on considèrera qu'elles sont en régime permanent au moment de la campagne d'échantillonnage et analyse.

Analyses

Toutes les analyses ont été réalisées selon les procédures en vigueur dans les laboratoires du SMARTRI. La matière sèche totale (Mst) est mesurée par pesée différentielle après séchage de l'échantillon à 105°C. Les matières en suspension (Mes) sont mesurées de la même façon sur le culot d'une centrifugation. La DbO_5 est déterminée par titration acide après cinq jours d'incubation à 20°C. La demande chimique en oxygène (Dco) est analysée suivant une méthode conforme à la norme NFT 90-101. La teneur en acides gras volatils (Agv) est mesurée par titration et exprimée en équivalent acide acétique. Les éléments N, P et Cl sont analysés par colorimétrie et les éléments K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn par spectrophotométrie à absorption atomique.

Résultats

Charges hydraulique et organique

A Libo, la quantité de régimes traitée par l'huilerie est restée sensiblement constante au cours de la campagne, de l'ordre de 1 000 tonnes par jour travaillé, avec un ratio de production de POME moyen de 61 %. A Rama Rama par contre, la capacité de traitement a varié au cours de la campagne ; de l'ordre de 600 $T.j^{-1}$ de juin à août 2002, elle a ensuite augmenté régulièrement à partir de septembre 2002 pour atteindre 1 300 $T.j^{-1}$ fin décembre 2002 puis a chuté régulièrement à partir de janvier 2003 pour se stabiliser à 800 $T.j^{-1}$ d'avril à mai 2003. Le ratio de production de POME moyen est de 62 % pour l'ensemble de la période. Malgré ces variations de charge, on considèrera que le régime permanent du dispositif de lagunage de Rama Rama a été maintenu étant donné son surdimensionnement par rapport à la capacité de l'usine.

Les concentrations en Dco et DbO_5 du POME en sortie d'huilerie sont peu variables (figure 1 et tableau II) et en moyenne de respectivement 68 216 et 24 252 $mg O_2.l^{-1}$ à Libo et 58 994 et 20 200 $mg O_2.l^{-1}$ à Rama Rama. La concentration en matières organiques est plus élevée à Libo qu'à Rama Rama, ce qui peut être attribué à des différences dans la technique de clarification de l'huile et dans la gestion de la fosse de collecte du POME.

Les caractéristiques moyennes d'alimentation des dispositifs de lagunage au cours de la campagne d'échantillonnage sont données tableau I. Le Trh est calculé en tenant compte du taux de dilution. La teneur en chlore de l'effluent peut être utilisée comme traceur et les bilans entrée-sortie pour cet élément sont bouclés à respectivement 3 et 6 % près pour Libo et Rama Rama.

Tableau I. Caractéristiques moyennes d'alimentation des lagunes.

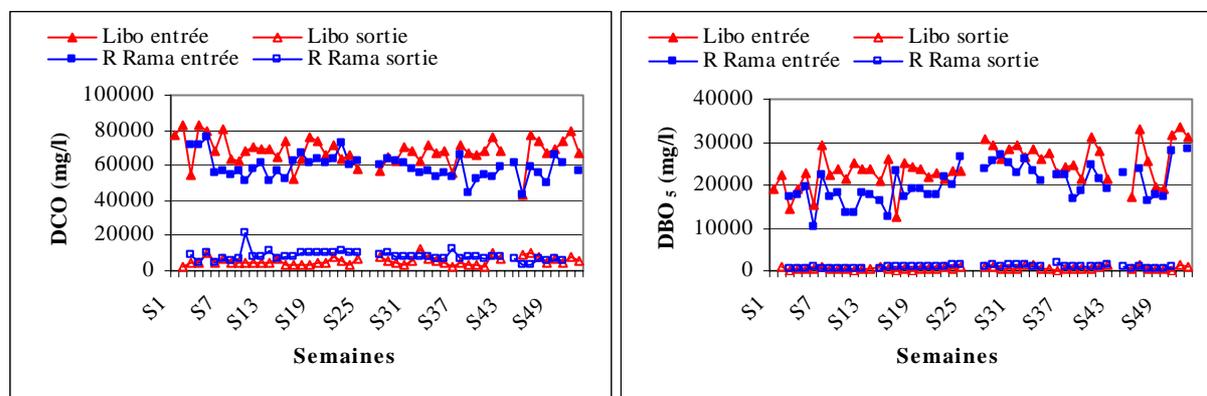
Sites	Libo	Rama Rama
Volume total du lagunage (m^3)	81 600	208 000
Débit de POME ($m^3.j^{-1}$)	342	413
Taux de dilution	1,19	1,23
Trh (j)	201	411
Charge organique appliquée ($kg Dco.m^{-3}.j^{-1}$)	0,29	0,12

L'excédent pluviométrique rapporté à la surface des dispositifs de lagunage et au débit de POME est similaire sur les deux sites, de l'ordre de 20 %. On constate le surdimensionnement du dispositif de lagunage de Rama Rama : pour un débit d'alimentation et un taux de dilution similaires, le Trh est deux fois plus élevé qu'à Libo tandis que la charge organique est deux fois moindre.

Performances d'épuration

Abattement des matières organiques

Les variations de concentration en Dco et DbO_5 entre l'entrée et la sortie du dispositif de lagunage, données figures 1 et 2, rendent compte de l'efficacité des processus biologiques de dégradation des matières organiques. Les résultats moyens corrigés par le taux de dilution sont présentés tableau II avec pour chaque valeur moyenne, l'écart type entre parenthèses.



Figures 1 et 2. Evolution des concentrations entrée-sortie en Dco et DbO_5 à Libo et Rama Rama au cours de la campagne.

Tableau II. Efficacité d'abattement des matières organiques à Libo et Rama Rama.

Paramètres	Libo			Rama Rama		
	POME	POME traité	Efficacité corrigée	POME	POME traité	Efficacité corrigée
Dco ($\text{mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$)	68 216 (7 930)	5 537 (2 364)	90 %	58 994 (6 715)	8 246 (2 834)	83 %
DbO_5 ($\text{mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$)	24 252 (4 697)	567 (332)	97 %	20 200 (4 213)	844 (346)	95 %
Agv ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	1839 (365)	394 (157)	75 %	1 740 (360)	532 (234)	63 %
pH	4,04 (0,20)	7,34 (0,19)	+ 3,3	4,58 (0,28)	7,18 (0,23)	+2,6

Les résultats montrent une forte variabilité des concentrations en sortie des dispositifs de lagunage et l'examen des résultats hebdomadaires ne montre pas de relation de cette variabilité avec le taux de dilution. Par contre, des phénomènes de mise en suspension et relargage de boues sont souvent constatés dans certaines lagunes et peuvent expliquer cette variabilité. Bien que la charge hydraulique et organique soit supérieure à Libo, l'efficacité de l'épuration y est légèrement supérieure à celle constatée à Rama Rama. Pour les 2 sites, la concentration en DbO_5 est très inférieure à la limite légale exigée pour l'épandage en plantation ($5\,000 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$) et le rapport Dco/DbO_5 passe de 3 à 10 au cours du traitement par lagunage. Le pH, très acide au départ, gagne environ 3 unités lors du traitement, ce qui confère au POME traité un pH légèrement supérieur à la neutralité. La diminution de la teneur en Agv est en relation avec cette augmentation du pH.

Bilan sur les éléments minéraux et les métaux

Seul l'azote est susceptible d'être éliminé par voie biologique au cours du processus de lagunage, soit directement par volatilisation, soit par nitrification puis dénitrification de l'ammoniaque issu de la minéralisation de l'azote organique. Les autres minéraux et les métaux peuvent soit s'accumuler au fond des lagunes, soit s'infiltrer dans le sol en cas d'étanchéité déficiente. Les résultats moyens des bilans entrée-sortie corrigés par le taux de dilution sont donnés tableau III.

Tableau III. Bilans entrée-sortie sur les minéraux et métaux à Libo et Rama Rama.

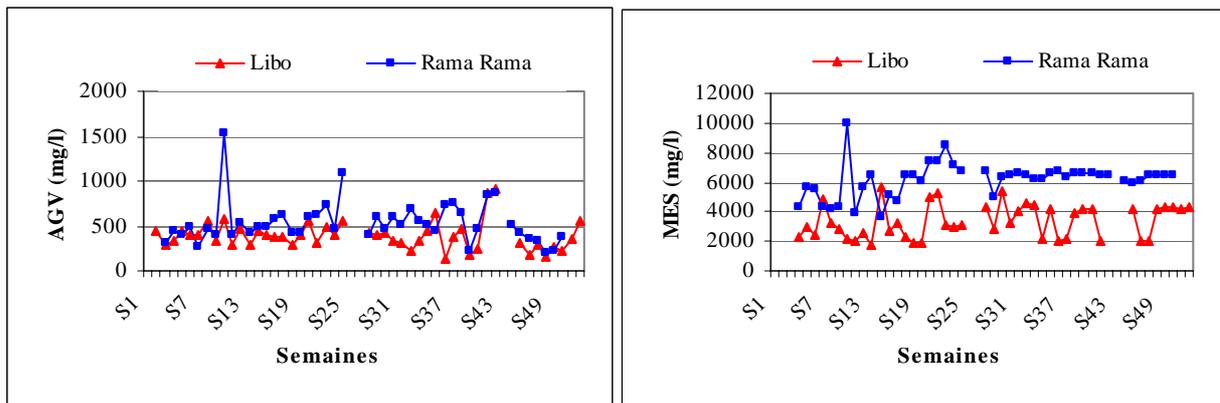
Eléments minéraux et métaux	Libo			Rama Rama		
	POME	POME traité	Bilan corrigé	POME	POME traité	Bilan corrigé
N (mg.l ⁻¹)	830 (171)	400 (136)	-43%	858 (152)	549 (146)	-22%
P (mg.l ⁻¹)	140 (16)	82 (18)	-30%	142 (17)	99 (15)	-14%
K (mg.l ⁻¹)	1758 (241)	1519 (202)	+3%	1754 (366)	1614 (199)	+13%
Mg (mg.l ⁻¹)	335 (41)	274 (31)	-3%	358 (39)	312 (48)	+7%
Ca (mg.l ⁻¹)	253 (87)	142 (61)	-33%	278 (79)	183 (63)	-19%
Fe (mg.l ⁻¹)	63 (9)	17 (14)	-68%	60 (8)	24 (7)	-51%
Cu + Zn + Mn (mg.l ⁻¹)	4,1 (0,6)	1,6 (0,9)	-55%	5,1 (0,7)	2,7 (0,8)	-34%

Pour les deux sites en sortie de lagune, la variabilité des teneurs en azote, potassium et magnésium est inférieure ou égale à 20 %, tandis qu'elle est supérieure à 30 % pour tous les autres éléments. Les bilans en potassium et magnésium sont assez bien bouclés, surtout à Libo. Ces éléments sont très solubles et ce résultat conforte nos hypothèses quant à la dilution du contenu des lagunes par l'excédent pluviométrique par rapport à l'évaporation. Les pertes d'azote, de phosphore et de calcium sont plus élevées à Libo qu'à Rama Rama et il en est de même pour les pertes d'éléments métalliques.

Discussion

Dans les conditions climatiques de la région de Riau sur l'île de Sumatra, les dispositifs de lagunage de PT Smart entraînent une dilution du POME de l'ordre de 20 %. Ce facteur doit être pris en compte dans les calculs d'efficacité de ces dispositifs.

Le dispositif de Libo apparaît plus performant que celui de Rama Rama pour ce qui concerne l'élimination de la matière organique et cela bien que le Trh moyen y soit près de deux fois moins élevé. Comme le montrent les figures 3 et 4, la dégradation de la pollution soluble est assez similaire sur les deux sites, avec un taux d'Agv semblable dans l'effluent traité et les performances supérieures à Libo seraient plutôt attribuables à une meilleure rétention des Mes dans les lagunes. Leur concentration moyenne dans l'effluent traité est de $3\,357 \pm 1\,123$ mg/l alors qu'elle est de $6\,146 \pm 1\,169$ mg/l à Rama Rama. Les observations ont montré que l'effluent traité décante très rapidement à Libo et beaucoup plus lentement à Rama Rama. Des phénomènes de floculation et/ou de granulation sont certainement à l'origine de ce comportement différencié des Mes. La granulation des boues en anaérobiose est un processus dynamique mal connu (Borja *et al.*, 1996) qui est influencé par la nature de l'effluent traité et les conditions d'opération. On notera cependant que ces phénomènes d'agglomération des Mes sont majoritairement observés dans les réacteurs dont le régime d'écoulement est de type « infiniment mélangé ». En lagunage, ce régime est rarement atteint car le Trh est trop faible.



Figures 3 et 4. Evolution de la concentration en Agv et Mes de l'effluent traité à Libo et Rama Rama au cours de la campagne.

Sur le plan strictement minéral, la valeur agronomique du POME n'est pas améliorée par le traitement puisque la valeur fertilisante N-P-K pour 100 m³ passe de 83-14-176 à 40-8-152 à Libo et de 86-14-175 à 55-10-161 à Rama Rama. Les pertes d'azote sont notables et le déséquilibre entre le potassium et les autres cations est par ailleurs aggravé. Au niveau organique, le POME traité est cependant plus stable avec un pH voisin de la neutralité, un rapport Dco/DbO₅ qui passe de 3 à 10 et un rapport Dco/N qui passe de 70-80 à 15. Cette stabilité permet d'envisager des apports massifs sur les cultures sans engendrer de toxicité ou de compétition pour la mobilisation de l'azote.

Le traitement par lagunage engendre certains risques environnementaux liés à l'émission de gaz à effet de serre et à une pollution ponctuelle par les boues de curage. Si l'on considère que la dégradation anaérobie d'un kilogramme de Dco engendre la production de 0,25 kg de méthane et 0,50 kg de dioxyde de carbone (Van Haandel et Lettinga, 1994), la production de gaz à effet de serre représenterait chaque jour de l'ordre de 5 tonnes de méthane et 10 tonnes de dioxyde de carbone pour chacun des sites. La pratique de dépôt des boues de curage en bordure des lagunes tous les cinq ans engendre à chaque fois l'accumulation de 15 à 25 tonnes de phosphore et 1,5 tonne de métaux lourds (Cu+Zn+Mn). Ces composés accumulés sont susceptibles d'engendrer une pollution par le ruissellement sur les talus lors des fortes pluies.

Conclusions

La campagne d'échantillonnage et d'analyse du POME en entrée-sortie des dispositifs de lagunage de Libo et Rama Rama a permis une première qualification de ce mode de traitement en rendant compte de son impact sur la valeur agronomique de l'effluent traité et sur les risques environnementaux.

La composition du POME en sortie d'huilerie apparaît comme assez constante dans le temps et d'un site à l'autre. L'excédent pluviométrique par rapport à l'évaporation doit nécessairement être pris en compte dans les calculs de Trh et d'abattement des facteurs de pollution. Le facteur de dilution correspondant est de l'ordre de 1,2. Les performances du lagunage en terme d'élimination des matières organiques sont élevées avec un abattement de 80 à 90 % de la Dco et 95 % de la DbO₅. On notera que la teneur en DbO₅ de l'effluent traité est de l'ordre de 600 à 800 mg.l⁻¹, très inférieure à la limite requise par la réglementation en matière d'épandage dans les plantations. Il apparaît qu'un Trh deux fois plus long à Rama Rama qu'à Libo se traduit par des performances moyennes légèrement inférieures, tant sur le plan de l'élimination des matières organiques que sur celui de la rétention des minéraux et des métaux. En première approche, il semblerait que la rétention des Mes soit en cause avec des phénomènes d'agglomération des particules plus performants lorsque le Trh est faible. Des recherches complémentaires seraient nécessaires pour préciser cet aspect. Il nous semble cependant qu'une réduction du Trh serait profitable et pourrait être testée en court-circuitant une partie des lagunes.

La valeur agronomique du POME traité est améliorée sur le plan organique car il est stabilisé et peu susceptible d'engendrer une toxicité ou une compétition pour l'azote. Sur le plan minéral, le lagunage se traduit par une perte nette d'azote allant de 20 à 40% et par un déséquilibre plus prononcé de la formule N-P-K-Ca-Mg.

Les risques environnementaux ont d'abord trait aux émissions de méthane et de dioxyde de carbone qui sont des gaz à effet de serre. Les quantités émises, calculées sur la base du taux de dégradation de la Dco, ne sont pas négligeables et le principe d'une récupération de ces gaz par un système de bache flottante mériterait d'être étudié sur le plan économique. D'autres risques sont liés à l'accumulation de phosphore et de métaux lourds en bordure des lagunes lors des opérations de curage. Là encore, les bilans montrent que les quantités en jeu ne sont pas négligeables et il conviendrait d'envisager une valorisation agronomique des boues de curage sur les plantations de palmiers pour répartir cette charge sur la plus grande surface possible.

Références bibliographiques

AHMAD A.L., ISMAIL S., BHATIA S., 2003. Water recycling from palm oil mill effluent (POME) using membrane technology. *Desalination*, 157, 1-3 : 87-95.

BORJA R., BANKS C.J., SANCHEZ E., 1996. Anaerobic treatment of palm oil mill effluent in a two-stage up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) system. *Journal of Biotechnology*, 45 : 125-135.

CAIL R.G., BARFORD J.P., 1985. Mesophilic semi-continuous anaerobic digestion of palm oil mill effluent. *Biomass*, 7, 4 : 287-295.

FAKHRU'L-RAZI A., NOOR M.J.M.M., 1999. Treatment of palm oil mill effluent (POME) with the membrane anaerobic system (MAS). *Water Science and Technology*, 39, 10-11 : 159-163.

KARIM M.I.A., KAMIL A.Q.A., 1989. Biological treatment of palm oil mill effluent using *trichoderma viride*. *Biological Wastes*, 27, 2 : 143-152.

MA A.N., ONG A.S.H., 1986. Palm oil processing-new development in effluent treatment. *Water Science and Technology*, 18 : 35-40.

NG W.J., GOH A.C.C., TAY J.H., 1987. Palm oil mill effluent (POME) treatment - An assessment of coagulants used to aid liquid-solid separation. *Biological Wastes*, 21, 4 : 237-248.

VAN HAANDEL A.C., LETTINGA G., 1994. Anaerobic sewage treatment. A practical guide for regions with a hot climate. John Wiley and Sons editions, England, 226 p.

WOOD B.J., PILLAI K.R., RAJARATNAM J.A., 1979. Palm oil mill effluent disposal on land. *Agricultural Wastes*, 1, 2 : 103-127.