

Biotransformation de déchets halieutiques au Maroc

Essais de production d'un fertilisant biologique

■ T. TAIK¹, N. BOUTALEB^{1,2}, B. BAHLAOUAN^{1,3}, A. EL JAÂFARI¹, V. LE TILLY⁴, O. SIRE⁴, S. EL ANTRI¹

Mots-clés : valorisation de déchet, déchets de poisson, mélasse, levain, engrais

Keywords: wastes valorization, fish wastes, molasses, sourdough, fertilizer

Introduction

Le développement des activités industrielles au Maroc (agroalimentaire, papeterie, industries chimiques, industries de transformation...) entraîne de plus en plus des déchets résiduels hétérogènes et variables. Composés de substances, chimiques, minérales et organiques, ces déchets sont, dans la plupart des cas, déversés dans la décharge publique, ce qui engendre un impact négatif sur le milieu récepteur [1-3].

C'est le cas du secteur de la pêche au Maroc, qui est considéré comme faisant partie des secteurs stratégiques participant au développement économique du pays. La sardine représente 60 % de la pêche soit 670 129 tonnes, engendrant environ 300 000 tonnes de déchets par an [4].

Le compostage constitue une alternative qui présente l'avantage de diminuer le volume des déchets, de réduire les micro-organismes pathogènes et de produire un amendement pour l'agriculture [5].

Il est défini comme étant un processus de décomposition et de synthèse et il en résulte une matière riche en acides humiques, sels minéraux et micro-organismes [6]. Pour qu'il soit applicable sur une surface

agricole, le compost doit être stabilisé. Cet état s'apprécie par différents paramètres physico-chimiques et biologiques définis dans de nombreuses études [7-8]. En général, un compost mature d'intérêt agricole est caractérisé par un pH stable, une humidité inférieure à 30 %, une température ambiante et ne présentant aucun effet phytotoxique (indice de germination $G > 80$ %) ni pathogénicité [1-8].

Le présent travail consiste à mettre au point un procédé simple et peu coûteux permettant la biotransformation optimale de déchets de sardines (*Sardina pilchardus*) combinés à un sous-produit de la raffinerie sucrière : la mélasse (source de carbone), et en utilisant un levain spécifique préparé naturellement au laboratoire. L'originalité dans son utilisation comme agent de biotransformation est justifiée par le fait qu'il possède un pouvoir fermentatif et acidifiant prouvé [9], permettant vraisemblablement un meilleur compostage et la production d'un fertilisant avec des qualités nutritives et organoleptiques optimales.

L'objectif est de réduire l'impact environnemental des rejets industriels, de diminuer les coûts de traitement de ces déchets et d'améliorer les rendements agricoles en proposant un fertilisant biologique, propre et durable.

1. Matériel et méthodes

1.1. Préparation du mélange de fermentation

Les déchets de poisson de l'espèce *Sardina pilchardus* ont subi un broyage dans un broyeur à glace et ont été additionnés de mélasse selon des fractions variables allant de 5 % à 25 %. L'ensemble est mis dans

¹ Université Hassan II Mohammedia-Casablanca – Laboratoire de biochimie, environnement & agroalimentaire, URAC 36 – Faculté des sciences et techniques – Université Hassan II Mohammedia-Casablanca – BP 146 – 20800 Mohammedia – Maroc.

² École nationale supérieure d'arts et métiers – 150, avenue Nile – Casablanca – Maroc. Courriel : boutalebensam@gmail.com

³ Institut supérieur des professions infirmières et des techniques de santé de Casablanca – Rue Mohamed El Faidouzi – Casablanca – Maroc.

⁴ Université de Bretagne-Sud – Laboratoire d'ingénierie des matériaux de Bretagne – BP 573 – 56017 Vannes – France.

des boîtes en plastique (L x l x h : 17,5 x 11,5 x 7 cm) de 1 litre. Afin d'assurer une aération relative, l'agitation du contenu est effectuée par brassage avec une spatule deux fois par jour, pendant une minute.

L'agent de biotransformation est un levain préparé naturellement à partir d'une culture symbiotique entre la levure *Aspergillus niger* et la bactérie *Enterococcus faecium*, l'inoculation est réalisée avec une proportion de 1 %. Les mélanges ainsi préparés ont été incubés à température ambiante pendant 15 jours. Le *tableau I* représente les compositions initiales ainsi préparées, huit formules sont testées.

Le suivi de la biotransformation des composts est effectué à l'aide des analyses physico-chimiques et microbiologiques.

1.2. Analyses physico-chimiques

Le pH de chaque compost est mesuré directement par un pH-mètre (Fisher Scientific, Basic AB15) en immergeant l'électrode dans la boîte et en commençant par les boîtes sans levain pour éviter les contaminations. Les mesures sont effectuées quotidiennement. La matière sèche (MS) a été déterminée par étuvage, aux 1^{er}, 8^e et 15^e jours. 3 g de chaque essai sont étalés dans une boîte de Petri préalablement séchée et placée à l'étuve (60 °C/24 heures). La valeur de la matière sèche constitue une moyenne de trois essais. La conductivité et la température sont mesurées par un conductimètre (Hanna Instruments, EC215). L'azote total est déterminé suivant la méthode Kjeldahl [10].

Le dosage de la triméthylamine (TMA) se fait par distillation selon le règlement CE n° 2074/2005 pour le dosage des amines basiques volatiles totales (ABVT) avec une étape supplémentaire entre la déprotéinisation de l'échantillon par l'acide perchlorique et sa distillation, il s'agit de rajout du formaldéhyde à pH basique pour bloquer les amines primaires et secondaires ; donc ce qui reste à doser comme forme amine c'est la TMA [11].

Quant au taux de phosphore, il est déterminé par dosage spectrophotométrique selon la norme française NF V18-106 [12].

1.3. Analyses microbiologiques

L'analyse microbiologique est effectuée au premier et au 15^e jour. Un milieu columbia au sang est préparé pour déterminer la présence de streptocoques reflétant les effets protéolytiques [13]. La présence de staphylocoques (marqueur lipolytique) est déterminée sur une gélose Chapman [14]. Un milieu MacConkey est utilisé pour visualiser la présence d'*Escherichia coli* (indicateur d'hygiène) [15].

Afin de vérifier l'effet phytothérapeutique du produit sur une maladie spécifique : la jambe noire de la pomme de terre (répandue dans les régions tempérées du Maroc), un antibiogramme de chaque compost est réalisé selon la méthode Kirby Bauer recommandée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), pour tester l'activité bactéricide sur l'espèce *Pectobacterium atrosepticum* responsable des symptômes associés à cette maladie [16].

Composition	Masse de déchets (g)	Masse de mélasse (g) (fraction en %)	Présence de levain (oui/non)
C ₁ (témoin)	500	0 (0 %)	Non
C ₂	375	125 (25 %)	Non
C ₃	375	125 (25 %)	Oui
C ₄	400	100 (20 %)	Oui
C ₅	425	75 (15 %)	Non
C ₆	425	75 (15 %)	Oui
C ₇	450	50 (10 %)	Oui
C ₈	475	25 (5 %)	Oui

Tableau I. Composition initiale des essais testés

techfina



Notre eau mérite d'être bien traitée



**Epuration des eaux usées
communales et industrielles**

Lavage et désodorisation des gaz

Traitement des boues

Traitement des déchets industriels et toxiques

Stations de pompage

Plus de 50 ans d'expérience au service de l'environnement

+ **Siège social**

8 avenue des Grandes-Communes
1213 Petit-Lancy / Genève
SUISSE
Tél. : +41 22 879 80 00
Fax : +41 22 879 80 01
info@techfina.ch

FR **Filiale France**

Immeuble WTC - Tour A - Etage 4
2 rue Augustin Fresnel - BP8202
57082 METZ Cedex 3
FRANCE
Tél. : +33 3 87 78 61 00
Fax : +33 3 87 57 82 95
techfina-france@techfina.ch

+ **Filiale Suisse alémanique**

Schützenstr. 32
8400 Winterthur
SUISSE
Tél. : +41 52 269 18 80
Fax : +41 52 269 18 88
winterthur@techfina.ch

www.techfina.ch

Le meilleur pour l'eau ...

1.4. Test de toxicité et de fertilisation

L'étude de la toxicité du compost sur la germination des plantes est réalisée sur l'espèce d'orge *Hordeum vulgare*, originaire du Maroc, région : Douar Igar Tazimamt (fourni par l'INRA). L'orge est cultivée dans des étuis d'une profondeur de 6 cm et les graines sont déposées à une profondeur de 3 cm, elles sont ensuite recouvertes de terre. Le sol est mélangé à une fraction de 0,005 % de compost C6 et irrigué par 2 mL d'eau/jour par étui (figure 1).



Figure 1. Photographie de la culture d'orge au premier jour du test

Chaque test a été reproduit huit fois. Les huit étuis des colonnes I et II contiennent le sol témoin avec aucun ajout de fertilisant. Les huit étuis des colonnes III et IV contiennent le compost C6 élaboré durant la présente étude. Les étuis des colonnes V et VI contiennent un fertilisant commercial disponible dans le marché marocain.

2. Résultats

2.1. Évolution de l'aspect physique

Initialement, toutes les compositions formaient une pâte épaisse très hétérogène. Au cours de la biotransformation, une liquéfaction est observée ramenant à des produits plus ou moins liquides d'une manière ascendante selon l'ordre C1, C8, C7, C5, C6, C4, C2, C3. Une odeur de pourriture s'est développée dans C1 et C7 alors que C2, C3, C4, C5 présentaient des odeurs beaucoup moins fortes. Il y a eu une présence de vers au bout de 8 jours pour C1, au bout de 16 jours pour C7 et au bout de 19 jours pour C8.



Figure 2. Photographie des produits C2 et C3 au premier jour de la biotransformation



Figure 3. Photographie du composé C4 après 19 jours de la biotransformation

2.2. pH et conductivité

D'après les résultats de suivi du pH pendant 15 jours présentés sur la figure 4, on observe que le pH des différents composts est initialement légèrement acide (pH = 6,5). Comparé aux autres composts, C6 subit une diminution de pH qui est due à une fermentation acidifiante. Le pH se stabilise vers la valeur de 4 à partir du 8^e jour.

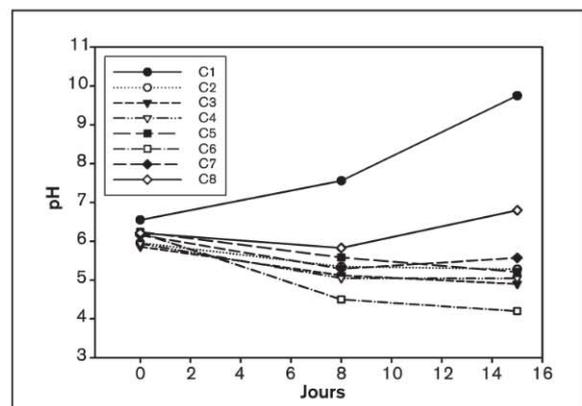


Figure 4. Évolution temporelle du pH

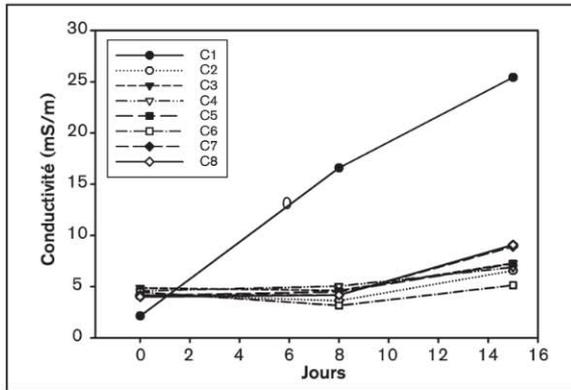


Figure 5. Évolution temporelle de la conductivité

Pour le compost témoin (C1), son acidité semble évoluer en sens inverse ; en effet, le pH augmente pour atteindre une valeur de 10.

Quant à la conductivité, on remarque qu'elle augmente légèrement pour l'ensemble des composts pendant les 15 premiers jours, à partir d'une valeur de 5 mS/m (figure 5), alors que seul C1 atteint une valeur de 25 mS/m au 15^e jour.

2.3. Température et matière sèche

La variabilité de la température des différents composts est au maximum de 3 °C (figure 6). Cette variation est peu significative. Elle est due vraisemblablement à l'épaisseur faible du compost manipulé et à l'agitation régulière appliquée durant le procédé.

La matière sèche (MS) des composts reste sensiblement stable à l'exception de C1 et C8 qui subissent une diminution pendant ces 15 jours. Ainsi, le témoin C1 passe d'un pourcentage initial d'environ 53 % pour s'abaisser jusqu'à environ 25 %. Par contraste, on notera la stabilité de C6 (figure 7).

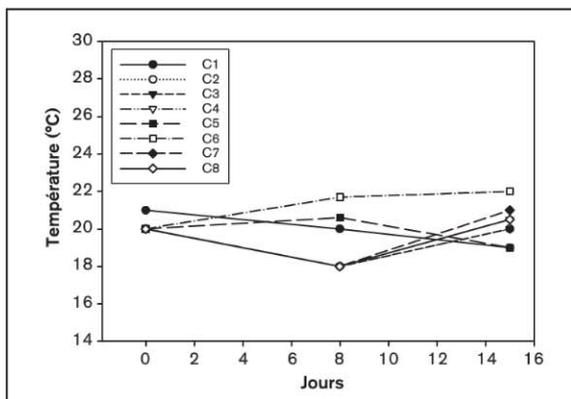


Figure 6. Évolution de la température

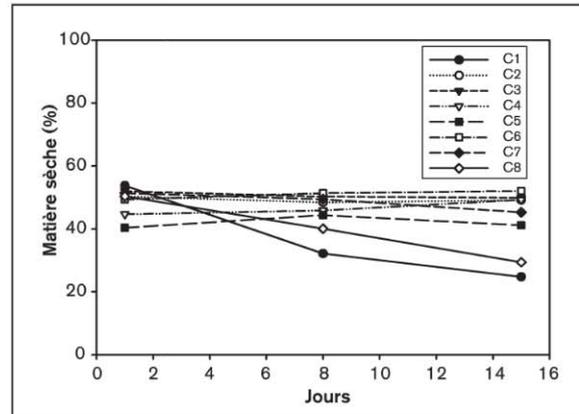


Figure 7. Évolution temporelle du taux de matière sèche au cours de la biotransformation

Comme le montrent les paramètres précédents (pH, conductivité, matière sèche et température), C6, qui contient 15 % de mélasse et a été inoculé par le levain, présente les meilleurs résultats. Cela nous a poussés à compléter l'étude par d'autres analyses qui ont pour objectifs d'établir une meilleure formulation qui permettra de valoriser les déchets de poisson pour une application dans le domaine de l'agriculture via le compostage.

Cette étude repose sur le choix de trois formules : C6 présentant les meilleurs résultats, C1 toujours utilisé ici comme témoin et C5 présentant la même formule que C6 mais dépourvu de levain.

2.4. Phosphore, azote total et triméthylamine

Le taux de phosphore pour C6, initialement d'une valeur de 23,6 mg/100 g, augmente jusqu'à 100 mg/100 g, valeur qui double celle observée en l'absence de levain (C5) (figure 8). C1 (témoin) voit lui son taux de phosphore chuter à J8 pour atteindre une baisse de 70 %.

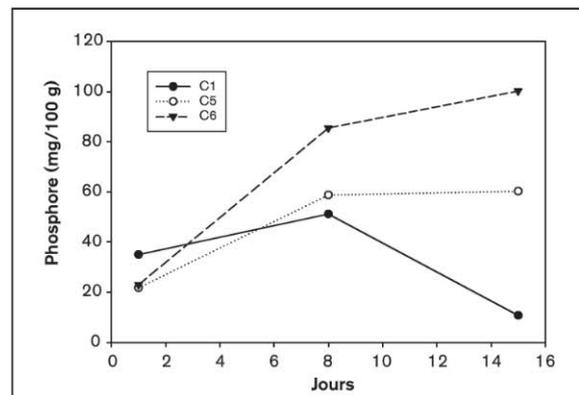


Figure 8. Évolution temporelle du taux de phosphore minéral

Spanc Info

Le magazine de l'assainissement non collectif

Créé en 2007, *Spanc Info* est le seul magazine consacré à l'assainissement non collectif (ANC) en France. Il est destiné aux services publics d'assainissement non collectif (Spanc), à leurs partenaires et aux autres acteurs publics et privés de l'ANC : les élus, les autorités nationales et locales, les agences de l'eau, les bureaux d'études, les fabricants d'équipements, les installateurs, les entreprises de vidange ou de maintenance, les associations de spanqueurs, les associations d'usagers de l'ANC, les syndicats professionnels, etc.



Tous les trois mois, *Spanc Info* informe ses lecteurs sur l'actualité du secteur. Il donne la parole aux différents intervenants, en publiant leurs points de vue et en organisant des débats thématiques. Il réalise des reportages sur la vie des Spanc et sur les activités des autres parties prenantes. Il aborde des sujets économiques et techniques. Il suit l'actualité réglementaire et normative, et en particulier les agréments nouveaux ou modifiés qui sont attribués à certains dispositifs de traitement. Il publie les formations proposées aux Spanc et aux autres acteurs publics et privés. Il signale les manifestations et les nouveaux produits et services. ■

Vous pouvez obtenir sans engagement un exemplaire gratuit de *Spanc Info* en le demandant par mél à agence.ramses@wanadoo.fr ou en écrivant à Spanc Info, 12, rue Traversière, 93100 Montreuil.

Efficacité

En automatisant et en simplifiant les analyses et les contrôles qualité pour **les laboratoires d'oenologie, environnemental et agroalimentaire**, les analyseurs Gallery et Gallery Plus permettent un gain de temps technique, une utilisation simplifiée et une maîtrise des coûts. Disposant de multiples fonctionnalités, comme l'analyse simultanée de plusieurs paramètres à partir d'un même échantillon et le suivi des réactifs en temps réel. Les dilutions automatiques permettent de couvrir une large plage de concentrations sans intervention de l'utilisateur. Les réactifs prêts à l'emploi associés à une large gamme d'applications apportent des performances d'analyses exceptionnelles et de haute qualité pour les mesures colorimétriques et enzymatiques.

Performances exceptionnelles

- Pour obtenir de plus amples informations sur ce produit, veuillez nous contacter :
Centre d'Affaires Objectif II, 2 rue Louis Armand 92600 Asnières sur Seine
Tél : 01 40 86 65 06



Gallery™, l'analyseur photométrique automatisé et discret
Cadence : jusqu'à 200 tests/heure



Gallery™ Plus, l'analyseur photométrique automatisé et discret
Cadence : jusqu'à 350 tests/heure



Réactifs prêts à l'emploi pour systèmes Thermo Scientific™
Plus de 40 applications dans les domaines de l'agro-alimentaire et de l'analyse des eaux et sols



Quant à la teneur en azote, elle a subi une augmentation au cours de la biotransformation pour C6 et C5. Par contre, pour C1, elle a diminué (figure 9).

En ce qui concerne la triméthylamine (TMA), on remarque sur la figure 10 que son taux ne varie sur la période d'étude que pour le témoin qui voit ce taux augmenter fortement.

C6 évolue de manière plus favorable que C5 pour ces trois paramètres, TMA, azote total et phosphore. Ces résultats permettent de conclure sur l'effet favorable du levain sur le rendement et l'optimisation de la biotransformation.

2.5. Tests microbiologiques

Le tableau II présente les résultats des tests bactériologiques conduits le premier et le dernier jour (J0 et J15) pour identifier la présence de souches indicatrices d'hygiène et d'altération. Selon la norme, le produit doit respecter un taux de staphylocoques et

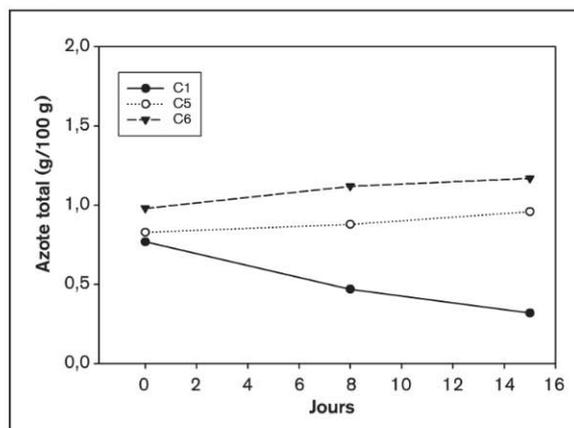


Figure 9. Évolution temporelle du taux d'azote minéral total

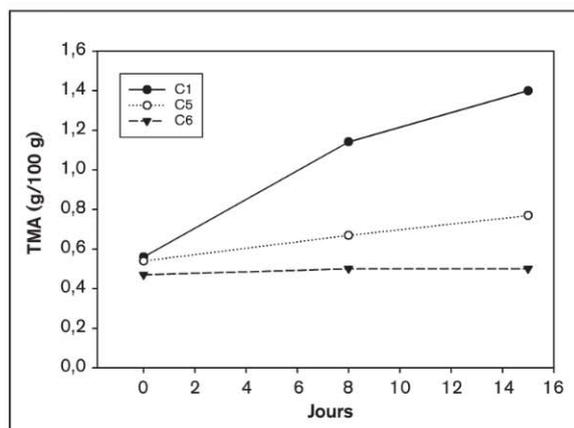


Figure 10. Évolution du taux de la triméthylamine (TMA)

Jours	C1		C5		C6	
	J0	J15	J0	J15	J0	J15
<i>Escherichia coli</i> (UFC)	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	ND
<i>Staphylocoque</i> (UFC)	> 10	> 10	> 10	ND	> 10	ND
<i>Streptocoque</i> (UFC)	> 10	> 10	> 10	ND	> 10	ND

> : dépasse les seuils autorisés selon la norme ; ND : non détecté ; UFC : unités formant colonie.

Tableau II. Analyse microbiologique

streptocoques qui ne dépasse pas dix unités formant colonie par gramme de compost (< 10 UFC/g), et ayant moins de cent unités formant colonie par gramme (< 100 UFC/g) pour *Escherichia coli* [17].

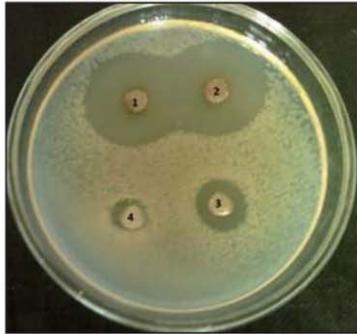
Ici encore, on constate que les conditions qui prévalent dans le compost C6 excluent la prolifération de bactéries pathogènes. L'effet du levain est noté pour la prévention de développement des staphylocoques et de streptocoques.

2.6. Activité bactériostatique

Pectobacterium atrosepticum est la nouvelle appellation d'*Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica*. Répertorié dorénavant en espèce, *P. atrosepticum*, il est généralement associé au symptôme de la jambe noire de la pomme de terre dans les régions tempérées comme le Maroc [18]. Il se développe préférentiellement entre 15 et 25 °C, entraînant des pourritures des tubercules et des tiges [19]. En climat tempéré, la bactérie a pour hôte principal la pomme de terre [18]. L'association préférentielle de *P. atrosepticum* à la pomme de terre peut être expliquée en matière de concordance entre les exigences écologiques de la bactérie et celles de cette culture [19].

L'antibiogramme réalisé sur le *Pectobacterium atrosepticum*, un halo d'inhibition de la prolifération bactérienne apparaît autour des disques imbibés par la fraction liquide du compost C6. Le diamètre de la zone d'inhibition est positivement corrélé avec la concentration (figure 11 et tableau III).

Selon l'office national de sécurité sanitaire des produits alimentaires (ONSSA), la dose des pesticides utilisés contre les différentes bactérioses est de 0,05 g/L [20], ce qui nous a amenés à tester l'effet bactériostatique du compost 6 à une concentration de 0,05 g/L.



Les numéros représentent la concentration de la fraction liquide appliquée (en g/L) ; 1 : 0,06 ; 2 : 0,05 ; 3 : 0,04 ; 4 : 0,03.

Figure 11. Diminution de la prolifération de la bactérie *Pectobacterium atrosepticum* par le compost C6

Disque n°	Concentration (g/L)	Diamètre de la zone d'inhibition (cm)
1	0,06	1,4
2	0,05	1,4
3	0,04	0,5
4	0,03	< 0,5

Tableau III. Diamètre de la zone d'inhibition de la prolifération bactérienne autour des disques imbibés par la fraction liquide du compost C6 à une concentration de 0,05 g/L

2.7. Test de toxicité et de fertilisation

Le cycle de développement de l'orge répond à un déroulement bien précis [21]. Le suivi de la culture de cette plante durant cette étude permet d'offrir l'opportunité d'observer l'évolution de différentes étapes de la poussée de l'orge durant 4 semaines. Il s'agit essentiellement du développement morphologique des coléoptiles qui sortent des graines pour se diriger vers la surface du sol et de la longueur des racines.

Le *tableau IV* présente les résultats des tests sur la germination et de la croissance de l'orge sur 22 jours, huit tests sont réalisés. À la concentration ajoutée

	Germination (+/-)	Longueur moyenne des tiges	Longueur moyenne des racines
Témoin	+	10 cm	12 cm
Engrais commercial	+	16 cm	18 cm
C6	+	18 cm	25 cm

Tableau IV. Résultat du test de fertilisation sur la culture d'orge

correspondant à un taux d'épandage de 0,009 g par 200 g (6 cm² de sol) équivalent à 150 kg/hectare (dose minimale recommandée par la FAO concernant l'utilisation des engrais pour les cultures céréalières au Maroc) [22].

Les résultats montrent bien que C6 n'a pas d'effet inhibiteur sur la germination. On constate que ce compost a permis une meilleure croissance de l'orge comparativement au témoin et à l'engrais commercial pendant les 22 jours de culture. C6 permet bien une amélioration au niveau des longueurs des tiges et celle des racines.

3. Discussion

La diminution du pH les 8 premiers jours, puis la stabilisation vers pH de 5 dans les composts possédant de la mélasse aux taux de 15 à 25 % indiquent une bonne fermentation et une maturation des composts au bout de 6 jours, contrairement aux déchets de poissons seuls et aux autres composts à taux de mélasse plus faible (10 et 5 %) qui s'alcalinisent. Cela est dû à l'activité des bactéries lactiques présentes [23] stimulées par l'apport de carbone d'au moins 15 % de mélasse. Ces valeurs sont idéales puisque les levures et bactéries intervenantes ont un pH optimal compris entre 4,5 et 8,5 [23]. Cependant, C6 présentant un pH initial d'environ 6,2, comme les autres composts voit ce paramètre chuter plus rapidement vers 4. Les bactéries contenues dans le poisson permettent donc une biotransformation bénéfique, mais l'apport de levain améliore le processus conformément à ce qui a été rapporté par les travaux de Zahar [15]. Les bactéries lactiques sont donc plus efficaces pour les composts C3, C4, C6, car elles contribuent à une acidification stable au bout de 6 jours ; cela est un élément déterminant pour le pouvoir bactériostatique des composts correspondants après ce délai [6]. Initialement, la conductivité est environ deux fois plus élevée pour les composts possédant de la mélasse par rapport aux déchets de poisson en raison de sa richesse en sels minéraux [24]. Globalement l'évolution est corrélée au pH, plus le pH s'éloigne de la neutralité plus la conductivité est élevée, probablement en raison de l'augmentation des composés ioniques. La conductivité augmente dans tous les composts d'environ 50 % pour ceux possédant au

TMR vous propose des solutions complètes :

Capteurs, transmetteurs-régulateurs, organes réglants, pompes doseuses, coffrets électriques pour pH/Redox, chlore actif ou libre, conductivité à électrodes et toroïdale, oxygène dissous, turbidité, analyseurs de cuivre et nickel, coagulomètre (SCD), groupes de préparation de floculants en poudre ou émulsions, agitateurs statiques et électriques, pour vos applications industrielles.



Désinfection des eaux usées par régulation de pH et chlore, par batch avec agitation



Mesure en continu du pH/Redox, de la vitesse de corrosion et picking, de la conductivité toroïdale et du chlore résiduel et dosages en ligne



Mélangeur statique DN15 à DN3000 en tuyauteries ou canaux ouverts



Skid de dosage HP 100 bars avec rétention pour eaux de chaudière



Version High Tech



Pilotage à distance et contrôle du procédé par ordinateur, quel que soit le lieu dans le monde avec une simple connexion Internet.

Pilotage pour :

- Tours AéroRéfrigérantes
- Eaux de chaudière
- Tous procédés en traitement des eaux et autres applications industrielles

Raccordements directs pour :

- Mesure de conductivités à électrodes ou toroïdales.
- Mesures de pH/Redox.
- Désinfection
- Chlore/brome libre
- Ozone
- Acide peracétique

Nouvelle version low cost



Avec les algorithmes les plus récents pour :

- Eaux de chaudière et TAR
- Programmables en pH/Redox, conductivité (à électrodes ou toroïdale), ou désinfection (chlore/ brome libre, peroxyde d'hydrogène, acide peracétique, ozone)
- Affichage large multilingues.
- 3 sorties configurables (TOR, impulsionnelle, timer, alarmes...) pour relais ou opto-coupleurs

moins 15 % de mélasse avant de se stabiliser vers 7 mS/m, alors que pour C1, C7 et C8 les valeurs atteignent respectivement 25,44, 8,93 et 9,08 mS/m, ce qui s'accompagne d'une plus grande liquéfaction et dégradation de la matière dans ces composts. Il en résulte un aspect final liquide et plutôt homogène de ces composts par rapport à la texture plus hétérogène et pâteuse des autres. L'extraction des ions est alors plus importante et pourrait ainsi être bénéfique pour les plantes, mais une conductivité trop élevée diminue la survie des micro-organismes et réduit alors la qualité des composts [25].

Les tests microbiologiques sont également positifs, puisque la disparition d'*E. coli*, des staphylocoques et des streptocoques dans le compost C6 est observée à J15 contrairement aux autres composts ; il y a donc eu une hygiénisation et une inhibition des protéolyses et des lipolyses dans les composts composés de levain et d'au moins 15 % de mélasse en raison de la production d'acide lactique et de bactériocines [3]. Ces tests montrent donc l'importance du levain et confirment que l'ajout de levain et de mélasse d'au moins 15 % aux déchets de sardines favorise une meilleure transformation, et une inhibition des bactéries pathogènes et de dégradation. Ainsi le compost conserve ces qualités nutritives et demeure non toxique.

De plus, les résultats de l'antibiogramme montrent que la bactérie *Pectobacterium atrosepticum* responsable de la jambe noire de la pomme de terre est inhibée par la fraction liquide du compost C6, ce qui nous permet de conclure à l'effet bactériostatique de notre produit à un niveau similaire à celui obtenu avec les pesticides couramment utilisés.

En ce qui concerne le phosphore minéral dosé en solution : C1 (témoin) a initialement un taux deux fois plus élevé que les autres composts (30,9 mg/100 g), sûrement du fait qu'il possède plus de déchets de sardines (tableau I : composition initiale des composts) et que ce poisson est riche en phosphore (27 mg/100 g) [25]. Tous les composts ont un taux de phosphore minéral qui augmente pendant les 8 premiers jours. Cela est dû à la minéralisation réalisée par les micro-organismes qui transforment le phosphore protéique en phosphore minéral [6]. L'augmentation est plus importante (400 %) pour le

compost C6 possédant de la mélasse et du levain. L'ajout de levain et de mélasse au compost favorise donc la conversion du phosphore, ce qui constitue un atout important pour une utilisation comme fertilisant agricole.

La matière sèche finale est comprise entre 25 et 52 % pour tous les composts dans l'ordre décroissant C1 > C8 > C5 > C7 > C2 > C4 > C3 > C6 en lien avec leur degré de liquéfaction. Les pertes par rapport aux MS initiales varient alors de 54 % pour C1 à 5 % pour C6. La diminution est due à la dégradation totale des glucides par les levures et bactéries et le dégagement des substances volatiles [26]. Cependant, une diminution importante de la matière sèche est apparue après 8 jours pour le compost C8, alors qu'elle n'était que de 20 % avant la stabilisation. Cette perte de matière pourrait être empêchée par un traitement de séchage juste après maturation.

Le compostage est normalement marqué par une élévation de la température liée à l'activité métabolique des micro-organismes [6, 23]. Ce n'est pas le cas dans notre étude, cela peut s'expliquer par la faible épaisseur de nos composts (rapport surface/volume élevé) et par l'homogénéisation régulièrement appliquée [23].

Au cours de la fermentation, la teneur en azote total augmente de 19 % pour le compost C6 et diminue de 45 % pour le témoin. Cela est lié à l'activité des micro-organismes et à la perte de la fraction volatile et liquide.

Pour ce qui concerne la triméthylamine, elle était de 0,47 % pour la matière première et 0,5 % pour le produit fini dans C6. Cette variation est non significative et prouve la stabilité de notre compost et la maîtrise du procédé de fermentation, car une teneur élevée en triméthylamine est considérée comme un signe d'altération du procédé [27, 28].

Conclusion

Cette étude montre qu'il est possible de réaliser facilement, dans un temps optimal et à faible coût, un fertilisant riche en phosphore et en azote à base de déchets de sardines, additionné de seulement 15 % de mélasse et de 1 % de levain. Ce fertilisant présente également de bonnes qualités hygiéniques et phytopathologiques.

Bibliographie

- [1] Direction de l'Élevage, ministère de l'Agriculture, du Développement rural et des Pêches maritimes – Rabat (1999) : « Secteur avicole au Maroc : Situation et perspectives ». *Rev. Écol. Terre et Vie* ; 161 : 34-35.
- [2] ELJALIL M.H., FAID M., ELYACHIOUI M. (2000) : *Procédé biotechnologique pour le traitement et le recyclage des fientes de volaille et essai de valorisation dans l'alimentation de la poule pondeuse*. Thèse de doctorat, faculté des sciences, université Ibn Tofaïl, Kénitra, Maroc.
- [3] FAID M., ACHKARI-BEGDOURI A., ELMARRAKCHI A. (1995) : « Transformation des déchets de poisson par voie biotechnologique ». *Cahiers Agricultures* ; n° 4 : 109-112.
- [4] OFFICE NATIONAL DES PÊCHES (2012) : *La pêche côtière artisanale du Maroc*. Rapport statistique.
- [5] ÉCOLE NATIONALE DE LA SANTÉ PUBLIQUE (2002) : Rapport d'étude : *Éléments pour la prise en compte des effets des unités de compostage de déchets sur la santé des populations riveraines*, p. 1-34.
- [6] ALBRECHT R. (2007) : *Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique*. Thèse de doctorat, université Paul Cézanne, faculté des sciences et techniques, Aix-Marseille.
- [7] RAJ D., ANTIL R.S. (2011) : « Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from agro-industrial wastes ». *Bioresource Technology* ; 102 : 2868-2873.
- [8] ZHANG L., SUN X., TIAN Y., GONG X. (2013) : « Effect of brown sugar and calcium superphosphate on the secondary fermentation of green waste ». *Bioresource Technology* ; 131 : 68-75.
- [9] ZAHAR M., BENKERROUM N., GUEROUALI A., BAOU S., ALAHIANE L. (2002) : « Biological ensiling of sardine wastes in sugarcane molasse for their valorisation in animal feeding: microbiological study ». *Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management*, Tunis (EPCOWM'2002), p. 304-311.
- [10] BRADSTREET R.B. (1965) : *The Kjeldahl Method for Organic Nitrogen*. New York, NY : Academic Press Incorporated, p. 39-88.
- [11] RÈGLEMENT CE N° 2074/2005. *Journal officiel de l'Union européenne*, 5 décembre 2005, L 338/27
- [12] AFNOR (1980) : *Aliments et produits animaux : Dosage du phosphore total, méthode spectrophotométrique*. Norme française NF V18-106, Afnor, Paris, juin 1980.
- [13] LEYRAL G., VIERLING E. (2007) : *Microbiologie et toxicologie des aliments : hygiène et sécurité alimentaire*. Collection Biosciences et techniques : sciences des aliments, 4^e édition, Rueil-Malmaison, CRDP d'Aquitaine, 290 p.
- [14] BRANGER A., RICHER M.M., ROUSTEL S. (2007) : *Microbiochimie et alimentation*. Educagri éditions, 343 p.
- [15] ZAHAR M., BENKERROUM N., GUEROUALI A., BAOU S., ALAHIANE L. (2002) : « Biological ensiling of sardine wastes in sugarcane molasse for their valorisation in animal feeding: microbiological study ». *Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management*, Tunis (EPCOWM'2002), p. 304-311.
- [16] PÉROMBELON M.C.M., KELMAN A. (1980) : « Ecology of the soft rot erwinias ». *Annu. Rev. Phytopathol.* ; 18 : 361-87.
- [17] AFNOR – Association française de normalisation : *Analyses à effectuer et principaux critères microbiologiques pour l'homologation des matières fertilisantes et des supports de culture contenant des matières organiques d'origine animale ou végétale*, NF V08-053 (1993), NF V08-057-1/2 (1994) LV 02-9801.
- [18] PEROMBELON M.C.M., KELMAN A. (1987) : « Blackleg and other potato diseases caused by soft rot erwinias; proposal for revision of terminology ». *Plant Dis* ; 71 : 283-285.
- [19] PEROMBELON M.C.M. (1992) : « Diversity in erwinias as plant pathogens ». In : INRA, ed. *Plant Pathogenic Bacteria*, Versailles, p. 113-28.
- [20] ONSSA – Office national de sécurité sanitaire des produits alimentaires (2012) : *Liste des pesticides à usage agricole homologués au Maroc*, p. 32-134.
- [21] PAGEAU D., LAFOND J., LAJEUNESSE J., SAVARD M.E. (2008) : « Impact du précédent cultural et de la fertilisation azotée sur la teneur en désoxynivalénol chez l'orge ». *Canadian Journal of Plant Pathology* ; 30 : 397-403.
- [22] *Utilisation des engrais par culture au Maroc*. Première édition, publiée par la FAO, Rome, 2006.
- [23] ZNAÏDI I. (2002) : *Étude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et les effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes*. Master of science degree, CIHEAM Méditerranéen Agronomic Institute of Bari.
- [24] MCCANCE R., WIDDOWSON'S E.M. (2002) : *The Composition of Foods*. Sixth Summary Edition. Food, Food Standard Agency, Cambridge, 537 p.
- [25] LOURHZAL W., TAHRI E., FAID M. (2003) : « Ensilage des déchets de poisson et essai d'alimentation sur les rats ». *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires* ; 23 : 15-20.
- [26] SHERSTHA K., SHERSTHA P., WALSH K.B., HARROWER K.M., MIDMORE D.J. (2011) : « Microbial enhancement of compost extracts based on cattle rumen content compost characterisation of a system ». *Bioresource Technology* ; 17 : 8027-8034.
- [27] KHERRATI B., FAÏD M., EL YACHIOUI M., WAHMANE A. (1998) : « Process for recycling slaughter houses wastes and by-products by fermentation ». *Bioresource Technology* ; 63 : 75-79.
- [28] PEROMBELON M.C.M., KELMAN A. (1980) : « Ecology of the soft rot erwinias ». *Annual Review of Phytopathology* ; 18 : 361-87.

TrojanUV vous présente le Trojan UV Telos, moins de lampes, moins d'énergie, moins d'entretien, plus d'efficacité pour la désinfection de l'eau potable.

London, Ontario Canada – Le 7 Octobre, 2014 – Aujourd'hui, Trojan UV lance le TrojanUVTelos™ (τέλος), un système UV avec de nouvelles normes pour la désinfection UV des petites communes. Le système allie les nouvelles lampes TrojanUV Solo Lamp™ et la technologie révolutionnaire FIN™ (TrojanUV Flow Integration) afin de proposer le système UV ayant le moins de lampes, demandant le moins d'énergie, et le plus simple possible d'utilisation.

Aucun compromis nécessaire avec le compact et efficace TrojanUVTelos.

« À travers le monde, fournir de l'eau potable de bonne qualité sans une surutilisation de produits chimiques et sans créer de sous-produits de réaction, est un challenge perpétuel », déclare Marv DeVries, président de Trojan Technologies.

« Notre objectif avec TrojanUVTelos est de rendre la désinfection UV plus simple et moins coûteuse. »

Ces économies sont dues à FIN, une nouvelle technologie d'optimisation hydraulique développée par TrojanUV. FIN rassemble les sciences de mélange et de distribution de la lumière à l'intérieur d'une chambre fermée d'un système UV pour des niveaux et des résultats jamais encore atteints. À l'intérieur du Telos, FIN utilise un modificateur d'écoulement breveté, positionné tout le long de la chambre UV, afin d'assurer les meilleures performances de désinfection possible, de réduire le nombre de lampe et les coûts généraux d'opération.

« Nos clients demandent une consommation d'énergie plus faible et moins de lampes. Nous avons créé TrojanUVTelos pour répondre aux besoins des acheteurs en termes d'énergie et de maintenance », déclare Adam Festger, Responsable du Marché Eau potable chez Trojan UV. « Les avancées de conception des Solo Lampes et du système UV nous permettent d'obtenir un design hautement efficace et une maintenance allégée, comme jamais vu auparavant. »

Même dans les pays développés, l'eau peut être un vecteur de maladie. Les rapports USEPA rapportent qu'aux États-Unis, la majorité des dizaines de milliers de réseaux d'eau potable d'origine souterraine fournissent de l'eau sans désinfection. Un récent rapport sur l'eau potable en Europe, identifie qu'environ 12 % de l'eau potable Européenne n'est pas désinfectée. Le TrojanUVTelos est conçu pour simplifier l'implémentation de la désinfection en eau potable et protéger les communautés d'une large gamme de pathogènes, incluant les bactéries, les virus et les protozoaires résistant au chlore, tels que Cryptosporidium et Giardia.

Avec le TrojanUVTelos, la connection SCADA est proposée en standard, permettant le suivi en ligne à distance et le report d'informations. Les ballasts et système de contrôle sont préassemblés et montés sur la chambre UV, ce qui élimine le besoin d'un coffret électrique distant. Cette configuration simplifie énormément l'installation et réduit l'emprise au sol. La certification DVGW est en cours, elle sera complétée début 2015 et permettra au Trojan UVTelos d'être conforme aux dernières réglementations en eau potable.

Telos, ou Τελος, est un mot grec signifiant un résultat ou un objectif. Avec le TrojanUVTelos, nous sommes convaincus d'avoir franchi une étape importante de la désinfection de l'eau potable.

À propos de la lampe UV Solo de Trojan Technologies

En mai 2010, après 5 ans de développement et de tests, Trojan a introduit leur nouvelle technologie Trojan UV Solo Lamp. En réunissant les meilleures caractéristiques à la fois des lampes basses et moyenne pression, cette technologie permet à Trojan de lancer une nouvelle plateforme de systèmes UV perfectionnés. Cette ligne de produit inclut TrojanUV-Torrent™, TrojanUVSigna™, TrojanUVSonus™, et maintenant TrojanUVTelos. Ces systèmes ne fournissent pas seulement des performances de désinfection maximum, mais à travers leur nouveau design, ils sont maintenant plus faciles à installer et à entretenir.

Quelques mots sur TrojanUV

TrojanUV conçoit, fabrique et vend des systèmes de désinfection UV pressurisés ou à canaux ouverts pour les eaux usées et les eaux potables municipales ainsi que des systèmes UV-oxydation des applications comme le traitement des contaminants environnementaux (micro polluants). Trojan UV joue un rôle important dans la technologie avancée de désinfection, et s'engage à fournir des solutions de traitement d'eau plus efficaces et écologiques. Il existe plus de 8500 installations Trojan UV dans 102 pays, traitant 2 Milliards de mètres cubes d'eau par jour.

A propos de Trojan Technologies

Le groupe Trojan Technologies offre des produits à travers différentes marques Aquafine, OpenCEL, Salsnes Filter, Trojan Marinex, TrojanUV, US Peroxide et VIQUA. Les applications et les marchés desservis incluent les eaux usées et eau potable municipales, les micro polluants, les eaux de ballast, le résidentiel, les eaux ultra pures pour l'industrie agroalimentaire, les industries pharmaceutiques et les semi-conducteurs, la filtration et séparation de solides. ■

Pour plus d'information, veuillez contacter :

Adam Festger

Market Manager, Drinking Water and Environmental Contaminant Treatment
519-457-3400
afestger@trojanuv.com

Tania Testa

Director, Marketing Communications
519-457-3400
ttesta@trojanuv.com

Résumé

T. TAIEK, N. BOUTALEB, B. BAHLAOUAN, A. EL JAËFARI, V. LE TILLY, O. SIRE, S. EL ANTRI

Biotransformation de déchets halieutiques au Maroc : essais de production d'un fertilisant biologique

Le Maroc a l'avantage de posséder une multitude de sources de matière organique grâce à la présence de plusieurs industries agroalimentaires, engendrant des déchets et des sous-produits disponibles continuellement sur l'année avec des quantités variables. La transformation de ces déchets, notamment par des procédés de compostage, génère généralement une nouvelle source économique en créant un produit éventuellement utilisable comme amendement pour les sols agricoles.

La présente étude cherche à valoriser les déchets de sardines (secteur économique stratégique au Maroc) en les associant à un sous-produit de l'industrie sucrière : la mélasse, son adjonction a été optimisée par l'utilisation d'un levain comme agent de transformation.

Le compost a été suivi pendant 15 jours pour différents paramètres (pH, température, conductivité, matière sèche, taux d'azote, phosphore et microbiologie). Les résultats montrent qu'un compost de déchets de *Sardina pilchardus*, de levain et de mélasse est mature au bout de 8 jours. Il est sans odeur, a un pH stable, présente des qualités hygiéniques favorables, et ce, par l'absence de bactéries d'altérations, et il est riche en phosphore et en azote. Le compost présente également un effet bactériostatique intermédiaire sur la bactérie *Pectobacterium atrosepticum* et permet d'améliorer la culture d'orge testée. Cela en fait un engrais utilisable comme fertilisant agricole plus intéressant que certains engrais disponibles dans le commerce et permet de s'affranchir de certains pesticides.

Abstract

T. TAIEK, N. BOUTALEB, B. BAHLAOUAN, A. EL JAËFARI, V. LE TILLY, O. SIRE, S. EL ANTRI

Biotransformation of waste from the fish farm in Morocco: production testing of a biological fertilizer

Morocco has the advantage of a wealth of resources of organic matter due to the presence of active food industries which generate wastes and by-products available over seasons in varying amounts. The transformation of these wastes, including composting processes, usually generates a new economic source in creating a product that may be used as a soil amendment for agriculture.

This study aims at recovering wastes from the fish industry (a strategic economic sector in Morocco) by combining it with a by-product of the sugar industry: molasses. Due to the fermentation potential of added yeasts, only low molasses fractions were required.

The compost was monitored for 15 days by measuring different parameters: pH, temperature, conductivity, solids, rate of nitrogen and phosphorus, microbiology. The results show that, composted wastes of *Sardina pilchardus*, yeast and only 15% of molasses are mature after 8 days. They are odorless, they have a stable pH with favorable hygienic properties and they lack phosphorus and nitrogen alterations otherwise present as a result of bacterial activities. Compost also exerts an intermediate bacteriostatic effect on *Pectobacterium atrosepticum* bacteria and facilitates the growth of a test barley crop. This allows the product to be used as a fertilizer, which is more interesting than purchasing commercial fertilizers.



L'eau est vitale pour l'homme...

Et l'action de l'homme est vitale pour l'eau. Animée par cette double certitude, la Société des Eaux de Marseille investit et s'investit dans la recherche et le développement pour que chaque jour qui passe soit porteur d'une avancée et pour que chaque homme sur la planète ait accès à l'eau et à l'hygiène.

Pour l'eau, pour la vie, pour la terre,
nous avons choisi d'agir sans attendre
plutôt que d'attendre sans agir.

