

# Biotransformation des déchets de l'industrie agroalimentaire et génération d'un fertilisant pour les cultures agricoles

## Biotransformation of agro-food industry waste and generation of a fertilizer for agricultural crops

■ D. LAKHAL<sup>1</sup>, B. BAHLAOUAN<sup>1,2</sup>, N. BOUTALEB<sup>1\*</sup>, A. FATHI<sup>1</sup>, S. LAZAR<sup>1</sup>, S. EL ANTRI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de biochimie, environnement et agroalimentaire – URAC36 – Faculté des sciences et techniques – Mohammedia – Maroc

<sup>2</sup> Institut supérieur des professions infirmières et des techniques de santé – Casablanca – Maroc

### Mots-clés :

Biotransformation  
Industries agroalimentaires  
Diagramme ternaire  
Fertilisant  
Gestion des déchets

### RÉSUMÉ

Les procédés agro-industriels génèrent des quantités importantes de déchets, qui constituent une menace environnementale pour le milieu naturel récepteur, et aussi un gaspillage de matière organique encore valorisable. Ce travail vise la valorisation de trois déchets de l'industrie agroalimentaire : les déchets de poissons, la mélasse et les pelures de pomme de terre. Un mélange ternaire équilibré à base de ces trois composantes a été élaboré, plusieurs proportions sont étudiées, et ont subi une biotransformation naturelle pendant 2 semaines en vue de produire un fertilisant de bonne qualité nutritionnelle et microbiologique. Les paramètres de contrôle qualité (pH, température, conductivité, matière sèche, phosphore, azote, carbone total...) ont été suivis durant la durée préconisée pour l'étude. Les résultats montrent que le fertilisant généré est mature à partir du 8<sup>e</sup> jour, il est de bonne qualité hygiénique, de par l'absence des micro-organismes d'altération, riche en azote, phosphore, et potassium. Des tests sur une culture d'orge ont confirmé son effet. La modélisation mathématique, sous forme d'un diagramme ternaire, de la qualité du produit final en fonction de la composition du mélange initial est établie pour construire en pratique un modèle opérationnel prédictif utilisable par les industriels de la gestion des déchets, afin d'identifier les formulations pertinentes aboutissant à un produit d'intérêt spécifique.

### Keywords:

Biotransformation  
Agro-food industries  
Ternary diagram  
Fertilizer,  
Waste management

### ABSTRACT

Agro-industrial processes generate significant quantities of waste, which pose an environmental threat to the receiving natural environment, and also a wastage of organic matter that can be re-used. This work aims at valorization of three waste products from the agri-food industry: fish waste, molasses and potato peels. A balanced ternary mixture based on these three components was developed ; several proportions are studied, and underwent a natural biotransformation for two weeks in order to produce a fertilizer of good nutritional and microbiological quality. The quality control parameters (pH, temperature, conductivity, dry matter, phosphorus, nitrogen, total carbon, etc.) were monitored for the duration of the study. The results show that the fertilizer generated is mature from the 8th day, it is of good hygienic quality, by the absence of the microorganisms of deterioration, rich in nitrogen, phosphorus, and potassium. Tests on a barley crop confirmed its effect. The mathematical modeling, and a ternary diagram, of the quality of the final product according to the composition of the initial mixture is established to build in practice a predictive operational model serving the waste management industry, in order to identify the relevant formulations resulting in a product of specific interest.

## Introduction

Dans le domaine de l'industrie agroalimentaire, les procédés de fabrication industriels sont accompagnés généralement par la génération de déchets et sous-produits. Ces derniers peuvent être d'origine végétale ou animale. S'ils ne sont pas correctement gérés, ces déchets présenteront un impact environnemental négatif sur le milieu naturel récepteur. Néanmoins, il existe des procédés tels que la biotransformation, qui peuvent être exploités pour générer à partir de ces déchets un produit économiquement intéressant, plus spécialement un fertilisant stable et équilibré, riche en nutriments pour la plante [TAIEK *et al.*, 2014a].

Par ailleurs, les déchets résultant de la transformation des poissons (composés de têtes, viscères, arêtes, queues, nageoires et peaux) sont considérés comme une source de gêne environnementale qui oblige les industriels concernés à appliquer des mesures correctives [TAIEK *et al.*, 2014b]. Le cas échéant, des surcoûts économiques et environnementaux de plus en plus lourds peuvent en résulter, à la charge des industriels ainsi que des communes et des régions.

D'autre part, la pomme de terre connaît une utilisation industrielle intensive, et cette utilisation est accompagnée par la génération de grandes quantités de déchets [LIANG et MCDONALD, 2014 ; CARDOEN *et al.*, 2015]. Plus particulièrement, le processus de pelage engendre 6 à 10% de déchets de pelures de pomme de terre. Il a été démontré que ces épiluchures sont riches en com-

\*Auteur correspondant – Courriel : boutalebftsm@gmail.com

posés bioactifs, antioxydants, fibres alimentaires, pigments, vitamines et minéraux [AMADO *et al.*, 2014]. Traditionnellement, elles sont utilisées pour produire des aliments pour le bétail et des engrais biologiques [WU, 2016]. Ces déchets représentent un enjeu biotechnologique et leur valorisation peut permettre de compenser, en partie, la problématique de raréfaction des ressources, et de limiter les frais de traitement des déchets [TAIEK *et al.*, 2014b ; LAKHAL *et al.*, 2017]. Leur recyclage pourra procurer des engrais biologiques qui pourront remplacer efficacement leurs analogues chimiques.

Dans la théorie de la biotransformation technologique, on indique qu'il faut, pour obtenir un produit intéressant, équilibrer la composition élémentaire des mélanges de départ. On dispose pour cela d'un indicateur qui est le ratio carbone/azote (C/N) qui doit se situer entre 15 et 30 [TAIEK *et al.*, 2014a]. Les déchets de poissons constituent une source importante d'azote et de phosphore (C/N = 1,90), les pelures de pomme de terre sont surtout riches en potassium (C/N = 3,75), mais ces deux déchets disposent d'un ratio C/N faible, il est donc essentiel d'assurer une source supplémentaire de carbone afin de se situer dans la zone d'optimalité [AYSSIWEDE *et al.*, 2010 ; AIT SAADA *et al.*, 2016].

Cette étude a donc pour objectif la valorisation par biotransformation des déchets de poisson et des pelures de pomme de terre associés à un troisième déchet riche en carbohydrates, utilisé ici comme source de carbone pour équilibrer le mélange de biotransformation : pour cela nous avons incorporé de la mélasse sucrière (C/N = 12,06) [TAIEK *et al.*, 2014a ; LAKHAL *et al.*, 2017]. Il nous semble intéressant d'organiser les essais et d'optimiser l'acquisition de l'information en utilisant la stratégie des plans de mélanges selon un simplexe centroïde<sup>3</sup> pour étudier les zones d'intérêts, car cet outil est bien adapté pour étudier les mélanges ternaires.

## 1. Matériel et méthodes

### 1.1. Préparation des mélanges

Pour la présente étude, sept formules ont été préparées (en utilisant des proportions variables) à base de trois composants (*figure 1*) :

- déchets de poissons : les déchets industriels de poisson de l'espèce *Sardina pilchardus* contenant essentiellement les arêtes, les viscères et les têtes sont broyés dans un broyeur à glace ;
- pelures de pomme de terre : les pelures de pomme

de terre (*Solanum tuberosum*) obtenues après épluchage à la vapeur sous pression sont récupérées auprès de l'industrie des chips, elles sont séchées et broyées afin d'obtenir une fine poudre ;

- mélasse sucrière : ce sous-produit résultant du raffinage du sucre est récupéré auprès de l'industrie de raffinage du sucre. La mélasse est connue pour sa richesse en minéraux (calcium, potassium, fer, cuivre...), dans la présente étude elle est utilisée comme source de carbone.

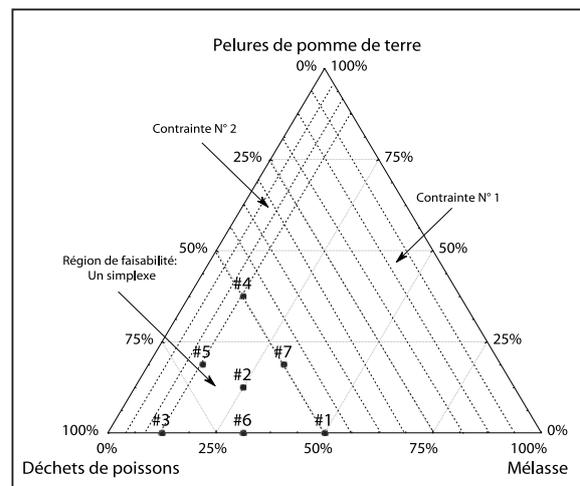


Figure 1. Plans de mélange selon un simplexe centroïde avec contraintes supérieures 1 et 2, les essais sont conduits aux sommets, milieux d'arêtes et centre du simplexe (essais de #1 à #7)

Pour des raisons économiques et compte tenu de leur disponibilité, les déchets de poisson constituent au minimum 50% du mélange (contrainte n° 1) ; la mélasse (source importante de carbone) est ajoutée à hauteur d'au moins 12,5% (contrainte n° 2), car, selon nos essais préliminaires, ce pourcentage constitue la limite minimale pour obtenir une biotransformation favorable [TAIEK *et al.*, 2014a ; LAKHAL *et al.*, 2017].

Une quantité stable de 10 g de la levure *Saccharomyces cerevisiae* a été utilisée comme agent de biotransformation dans tous les mélanges. L'ensemble est mis dans des boîtes en plastique (L x l x h : 16,5 x 10,5 x 8 cm) de capacité d'un litre environ. Afin d'assurer l'aération, une agitation du contenu est effectuée à l'aide d'un agitateur de paille à 100 rpm (rotations par minute).

Le tableau I présente les différents mélanges ainsi étudiés.

### 1.2. Contrôle de la qualité des mélanges et de la qualité de la biotransformation

#### 1.2.1. Analyses physico-chimiques

Le pH, la température, la matière sèche et la conductivité de chaque mélange sont contrôlés quotidiennement.

<sup>3</sup> Un type de conception et de planification des essais dans l'objectif de déterminer l'effet de facteurs sur une réponse d'une manière très précise. Nous avons utilisé une conception avec sept points expérimentaux (ici les mélanges) positionnés au sein d'un triangle (les sommets, les milieux d'arêtes et le barycentre du triangle).

Composition	Déchets de poisson (%)	Mélasse (%)	Pelures de pomme de terre (%)
#1 (M1)	50,00	50,00	0,00
#2 (M2)	62,50	25,00	12,50
#3 (M3)	87,50	12,50	0,00
#4 (M4)	50,00	12,50	37,50
#5 (M5)	68,75	12,50	18,75
#6 (M6)	68,75	31,25	0,00
#7 (M7)	50,00	31,25	18,75

Tableau I. Compositions initiales des mélanges

ment. Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre (Fisher Scientific, Basic AB15). La matière sèche (MS) a été déterminée par étuvage (120 °C/5 h). La température a été mesurée par un thermomètre électronique immergé dans l'échantillon (Hanna instruments, EC215). La conductivité est classiquement déterminée conformément à la norme ISO11265 (1994).

### 1.2.2. Analyses nutritionnelles et qualité de la biotransformation

Les teneurs en azote total, phosphore, triméthylamine, carbone organique total sont contrôlées au début, au milieu et à la fin du processus de biotransformation.

La teneur en azote total est déterminée par la méthode de Kjeldahl [AIT SAADA *et al.*, 2016]. Le phosphore est déterminé par dosage spectrophotométrique conformément à la norme française NF V18-106 [AYSSIWEDE *et al.*, 2010].

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 donc du rajout de gouttes de formaldéhyde à pH basique pour bloquer les amines primaires et secondaires : donc ce qui reste à doser, comme forme amine, c'est la TMA [AIT SAADA *et al.*, 2016].

Le taux de carbone organique total est déterminé par la méthode de Walkley-Black, basée sur l'oxydation de la matière organique par le mélange de dichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ) et de l'acide sulfurique, suivi d'un titrage par le sulfate d'ammonium ferreux [SCHUMACHER, 2002]. Le taux de potassium (K) a été déterminé par spectrophotométrie d'émission à flamme (photomètre numérique PFP7/C, Jenway) [BALAKRISHNAN *et al.*, 2002; AYSSIWEDE *et al.*, 2010].

### 1.2.3. Analyses microbiologiques

L'analyse microbiologique est réalisée au premier et au 15<sup>e</sup> jour conformément aux normes NFV08-053, NFV08-057-1/2, LV02-9801 [CHADWICK *et al.*, 2013]. Un milieu Columbia au sang est préparé pour déterminer la présence de streptocoques (indicateur de bactéries protéolytiques). La présence de staphylocoques (indicateur de bactéries lipolytiques) est déterminée sur une gélose Chapman. Un milieu MacConkey est utilisé pour visualiser la présence d'*Escherichia coli* (*E. coli* – indicateur d'hygiène) et une gélose Salmonella-Shigella (SS) pour déterminer la présence des salmonelles [BALAKRISHNAN *et al.*, 2002; SMYTH et KAHLMETER, 2005].

### 1.3. Analyses statistiques des données

Nous avons étudié l'influence de la présence respective des trois composants, à savoir : déchets de poisson, mélasse et pelures de pomme de terre, sur le taux du phosphore, azote total, potassium et carbone organique total au cours de la biotransformation par les plans de mélanges. Les surfaces d'isoréponses sont générées en utilisant le logiciel Statistica10.

### 1.4. Test de germination des semences

Le test de germination des graines a été effectué selon KIM *et al.* [2010]. 5 mL du filtrat sont introduits sur un papier-filtre Whatman doublé dans une boîte de Pétri stérile. Dix grains d'orge (*Hordeum vulgare*) sont déposés de manière similaire dans chaque boîte (trois répliques pour chaque échantillon), l'ensemble est placé dans une étuve obscure à 25 °C et à 75 % d'humidité.

Le taux moyen de germination relative des graines (RSG) (équation 1), la croissance relative des racines (RRG) (équation 2) et de l'indice de germination (GI) (équation 3) sont mesurés après 72 heures en utilisant les formules suivantes [EL FASSI et IDAOMAR, 2014] :

$$RSG (\%) = \frac{\text{Nombre de graines germées dans l'extrait}}{\text{Nombre de graines germées dans l'eau distillée}} \times 100 \quad [\text{Équation 1}]$$

$$RRG (\%) = \frac{\text{Longueur moyenne de la racine dans l'extrait}}{\text{Longueur moyenne de la racine dans l'eau distillée}} \times 100 \quad [\text{Équation 2}]$$

$$GI (\%) = \frac{RSG \times RRG}{100} \quad [\text{Équation 3}]$$

### 1.5. Préparation et caractérisation du sol

Afin de maîtriser la granulométrie du sol, un prètami-sage (< 2 mm) est réalisé ; il est suivi d'un étuvage et stockage du sol avant utilisation. Le pH, la conductivité, le carbone organique total, le taux d'azote, le taux de phosphore et le potassium du sol sont déterminés par les mêmes méthodes décrites précédemment (§1.2.1. et §1.2.2.).

### 1.6. Test de toxicité et fertilisation

Ce test est réalisé sur l'espèce *Hordeum vulgare* d'orge, en utilisant la référence d'orge commerciale Amira du Maroc, fournie par l'Institut national de recherche agricole (INRA). Des plateaux de 3 x 4 étuis de 36 cm<sup>2</sup> ont été utilisés pour les cultures d'orge. Les étuis sont remplis avec l'échantillon de sol sur une hauteur de 6 cm, et les graines sont déposées à la profondeur de 3 cm. La colonne 1 du plateau contient le sol témoin sans rajout de fertilisant, les colonnes 2 et 3 contiennent le sol avec respectivement l'engrais commercial Miracte Gros et le biofertilisant de meilleure formulation généré par l'étude. Leurs préparations consistent en un mélange de sol avec 0,054 g de biofertilisant (équivalent à 150 kg/hectare ; dose minimale recommandée par la FAO<sup>4</sup> pour les cultures céréalières au Maroc) [FAO, 2006].

## 2. Résultats et discussion

### 2.1. Aspect visuel des mélanges

Au début de la biotransformation, toutes les compositions formaient une pâte épaisse très hétérogène. Une odeur de pourriture s'est développée dans le mélange M5 alors que M3 et M4 présentaient des odeurs beaucoup moins exprimées. La composition M5 a révélé des signes d'altération (croissance de vers) au 7<sup>e</sup> jour.

### 2.2. Paramètres physico-chimiques

#### 2.2.1. pH et conductivité

La figure 2 présente les résultats du pH durant 15 jours de biotransformation des mélanges.

D'après les résultats du suivi du pH pendant 15 jours présentés dans la figure 2, on observe que le pH des différents mélanges est légèrement acide au départ (entre 5 et 6). Après 15 jours de biotransformation, ces mélanges ont montré des valeurs de pH comprises entre 5,2 et 8,16.

Les essais M1, M6 et M7 avaient des valeurs de pH qui sont restées comprises entre 5,02 et 5,88 durant le procédé de biotransformation, par contre le pH des mélanges M2, M3, M4, M5 a subi une augmentation. D'après les travaux de COMPAORÉ et NANÉMA [2010], l'augmentation du pH est due à la dégradation des acides gras à chaînes courtes et à la libération d'ammoniac dans le processus d'ammonification du fait de la dégradation des acides organiques contenus dans les déchets de poisson à la suite de l'activité de la flore basophile. Les valeurs obtenues sont idéales puisque les levures et les bactéries intervenant dans la biotransformation ont un pH optimum compris entre 5 et 8,5 [EUNJONG et al., 2016]. Les valeurs du pH de tous les essais ont connu une stabilisation à partir du 12<sup>e</sup> jour, cette stabilisation témoigne d'une bonne maîtrise de la biotransformation puisque l'intervalle de la fluctuation ne franchit pas une valeur de pH de 8,5.

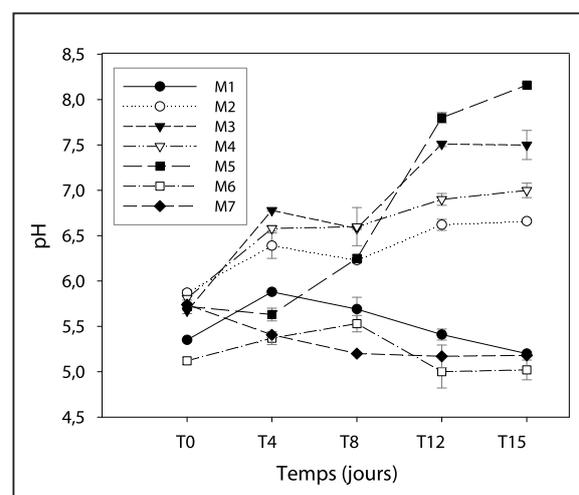


Figure 2. Évolution du pH au début, 4<sup>e</sup>, 8<sup>e</sup>, 12<sup>e</sup> et 15<sup>e</sup> jour de biotransformation des mélanges

<sup>4</sup> Food and Agriculture Organization

Quant à la conductivité, elle est initialement d'une valeur deux fois plus élevée pour les compositions M1, M6 et M7 qui possèdent plus de mélasse, en raison de leur richesse en sels minéraux [MCCANCE et WIDDOWSON, 2002]. Le taux de la conductivité a augmenté dans tous les mélanges et a fini par se stabiliser à 12 mS/cm au 15<sup>e</sup> jour à l'exception de la composition M3, qui est la seule à avoir présenté une conductivité s'élevant considérablement de 4,16 mS/cm à 15,63 mS/cm. Cela est sans doute dû à l'accroissement de la présence des formes ioniques par la transformation de la matière organique [RODRÍGUEZ-JÉREZ *et al.*, 2000]. Selon des études menées par SHRESTHA *et al.* [2011], les formes ioniques sont bénéfiques pour les différentes cultures des plantes en raison de l'augmentation de la capacité de rétention en eau du sol agricole. En revanche, une conductivité excessive pourra entraîner des dégâts irréversibles pour la survie de la végétation et réduira alors la qualité des engrais issus de ce procédé de biotransformation des déchets.

### 2.2.2. Température et matière sèche

D'après le contrôle continu de la température, sa variation dans les différents mélanges est jugée non significative (au maximum de  $\pm 1$  °C) : cela est dû à l'opération régulière de brassage appliquée selon le processus décrit au § 1.1 et aussi à la profondeur réduite des mélanges dans les récipients de biotransformation. La matière sèche finale de la totalité des mélanges au cours du procédé de la biotransformation est comprise entre 27,51 % et 52,55 % dans l'ordre croissant M3 < M4 < M5 < M7 < M6 < M2 < M1 (figure 3). Pour tous les essais, aucune liquéfaction n'a été observée, vu que la matière sèche a légèrement augmenté de T0 à T15. Cette augmentation est due à la perte d'eau par évaporation

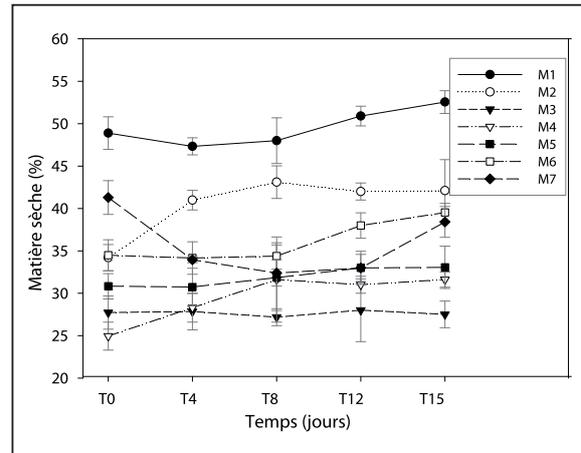


Figure 3. Évolution de la matière sèche au début, 4<sup>e</sup>, 8<sup>e</sup>, 12<sup>e</sup> et 15<sup>e</sup> jour de biotransformation des mélanges

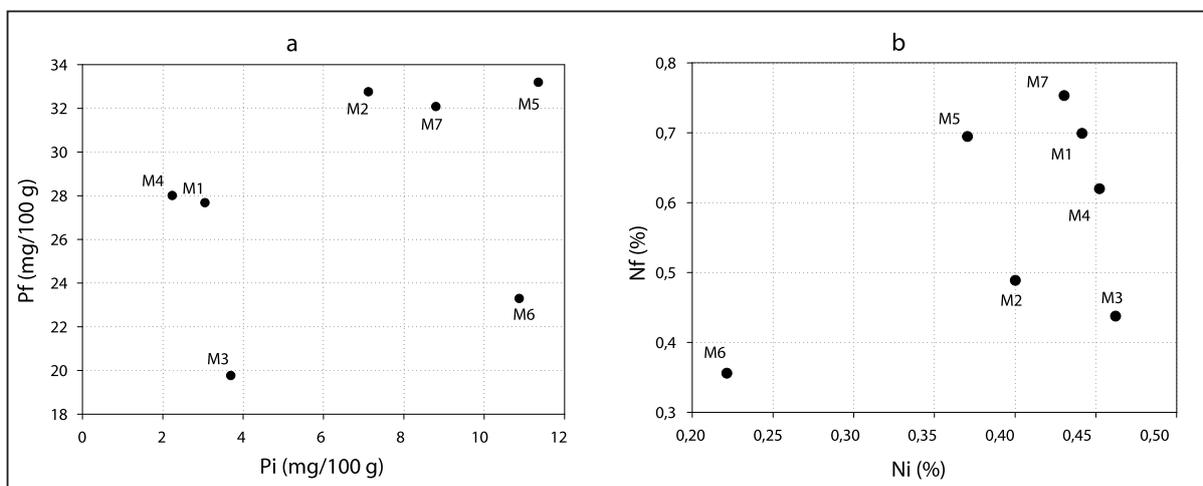
ou par la perte de dioxyde de carbone et d'éthanol (par évaporation) lors de la fermentation [LAKHAL *et al.*, 2017]. Ces résultats apportent des preuves expérimentales sur le rôle que jouent les *Saccharomyces cerevisiae* pour orienter favorablement la biotransformation et pour éviter éventuellement les réactions qui tendraient à libérer et à perdre une partie de la matière par conversion en substances volatiles.

Comme le montrent les paramètres précédents (pH, conductivité, température et matière sèche), tous les essais ont présenté une biotransformation favorable dans un temps optimal.

## 2.3. Paramètres nutritionnels

### 2.3.1. Phosphore minéral (P) et azote total (NT)

La figure 4 présente les résultats de l'évolution du phosphore et de l'azote total au début et à la fin du procédé de biotransformation des mélanges.



Pi et Ni : quantités du phosphore et d'azote initiales (à T<sub>0</sub>) ; Pf et Nf : quantités du phosphore et d'azote à 15 j (à T<sub>15</sub>).

Figure 4. Évolution du phosphore (a) et de l'azote (b), au début et au 15<sup>e</sup> jour de biotransformation des mélanges

Les mélanges M1, M4 et M7 ont exprimé une bonne évolution de la matière nutritive phosphorée, toutefois la composition M4 a montré une meilleure expression du phosphore minéral. Celle-ci a été au départ faible ( $P_i = 2,23$ ), mais elle a augmenté jusqu'à atteindre une valeur de  $P_f = 28,04$ . Les deux valeurs notées pour les mélanges M4 et M7 augmentent jusqu'à doubler celles observées en l'absence des pelures de pomme de terre, donc une formule plus riche en pelures de pomme de terre permet d'améliorer le taux de phosphore.

L'azote total suit presque la même évolution que le phosphore, on note que les quantités initiales d'azote ( $N_i$ ) des mélanges M1, M4 et M5, qui étaient élevées par rapport aux autres mélanges, ont augmenté significativement et ont atteint une quantité finale ( $N_f$ ) élevée, contrairement aux autres mélanges.

### 2.3.2. Potassium et rapport carbone/azote

Les graphiques (a) et (b) de la figure 5 présentent les résultats de l'évolution du potassium et du carbone total au début et à la fin de la biotransformation des mélanges.

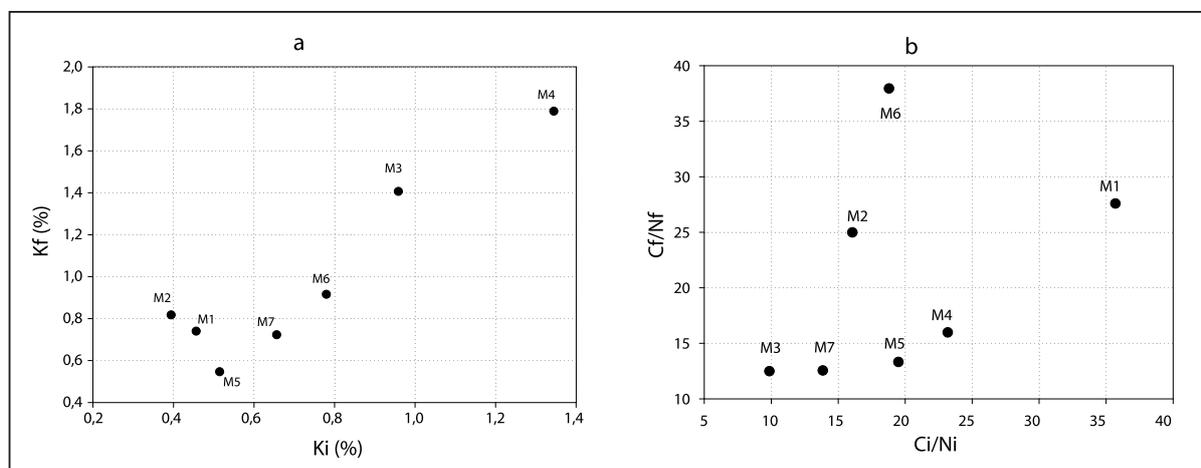
Les ions potassium  $K^+$  sont libérés vraisemblablement à partir de la décomposition des tissus organiques des micro-organismes. Le potassium est considéré en agriculture comme étant un cation basique très important pour certaines cultures [SCHWARTZ *et al.*, 1968]. Ce cation est présent en concentrations variables dans les différents mélanges étudiés. M3 et M4 ont abouti à des concentrations finales ( $K_f$ ) relativement élevées de 1,4% et 1,89% respectivement. Les autres mélanges sont marqués par un  $K_f$  faible qui au démarrage ( $K_i$ ) était déjà relativement faible. Il est à noter qu'une concentration élevée en sels solubles peut empêcher la germination des semences et endommager les cultures, elle nuit

aussi à l'absorption de l'eau par les plantes [DIALLO *et al.*, 2015].

Le rapport massique carbone sur azote C/N d'un mélange est un indicateur qui permet de juger son aptitude à se biotransformer plus ou moins favorablement, il est nécessaire que ce rapport soit entre 15 et 20 au départ pour un bon déroulement de ce processus naturel [DEBRIL *et al.*, 2005; BOUAJILA *et al.*, 2015]. Selon la figure 5b, M4 et M5 sont les seules formules qui ont ce ratio dans l'intervalle entre 15 et 20 et qui se voyaient s'enrichir en azote en fin de processus. En revanche, M5 présente un taux relativement faible en potassium. C'est en définitive l'échantillon M4 qui présente la formule la plus pertinente pour le résultat recherché.

### 2.3.3. Triméthylamine

Le taux de la triméthylamine (TMA) ( $CH_3)_3N$  (produits de putréfaction de la chair des poissons) a subi une augmentation peu significative dans tous les mélanges (entre 0,01% et 0,075%), M5 a présenté une élévation considérable de TMA (0,582%). Cela est vraisemblablement en lien avec le grand taux d'azote total dosé ( $N_f$ ). Un tel taux de TMA est considéré comme signe d'altération [KHERRATI *et al.*, 1998; HOWGATE, 2010]. Des facteurs entraînant la baisse du pH dans les mélanges M1, M6, M7 jouent un rôle dans l'inhibition des bactéries d'altérations qui dégradent la triméthylamine-N-oxyde (OTMA) par la production d'acides organiques [BALAKRISHNAN *et al.*, 2002]. En outre, des enzymes produites par les bactéries alcalophiles contribuent à la réduction de l'OTMA contenu dans les déchets de poissons [DOS SANTOS *et al.*, 1998]. Ces enzymes sont détruites ou désactivées par l'activité probiotique de la *Saccharomyces cerevisiae* [DOMINGUEZ-BELLO et BLASER, 2008].



$K_i$  : quantité de potassium initiale (à  $T_0$ );  $C_i/N_i$  : rapport C/N initial;  $K_f$  et  $C_f/N_f$  : quantité de potassium et rapport C/N à 15 j (à  $T_1$ ).

Figure 5. Évolution du potassium (a) et du rapport carbone/azote (b), au début et au 15<sup>e</sup> jour de biotransformation des mélanges

## 2.4. Tests microbiologiques

Le tableau II présente les résultats du contrôle microbiologique effectué au début et à la fin de la biotransformation. Le test microbiologique ne révèle aucune présence de bactéries après 15 jours pour l'ensemble des mélanges sauf pour M5, on remarque pour celui-ci la présence de souches indicatrices d'hygiène (*E. coli*) et de bactéries protéolytiques (streptocoques et staphylocoques). Ces résultats concordent avec l'évolution dé-

favorable du pH pour M5 (pH alcalin) et aussi avec une conductivité élevée.

## 2.5. Surfaces d'isoréponses et qualité finale du produit

Les résultats obtenus ont permis l'établissement des surfaces d'isoréponse présentées dans les diagrammes ternaires (figure 6).

Jours	M1		M2		M3		M4		M5		M6		M7	
	T0	T15												
<i>Escherichia coli</i>	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-
<i>Staphylococcus</i>	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
<i>Streptococcus</i>	+	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-
<i>Salmonella</i>	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-

(+) : présence ; (-) : absence.

Tableau II. Contrôle microbiologique des mélanges

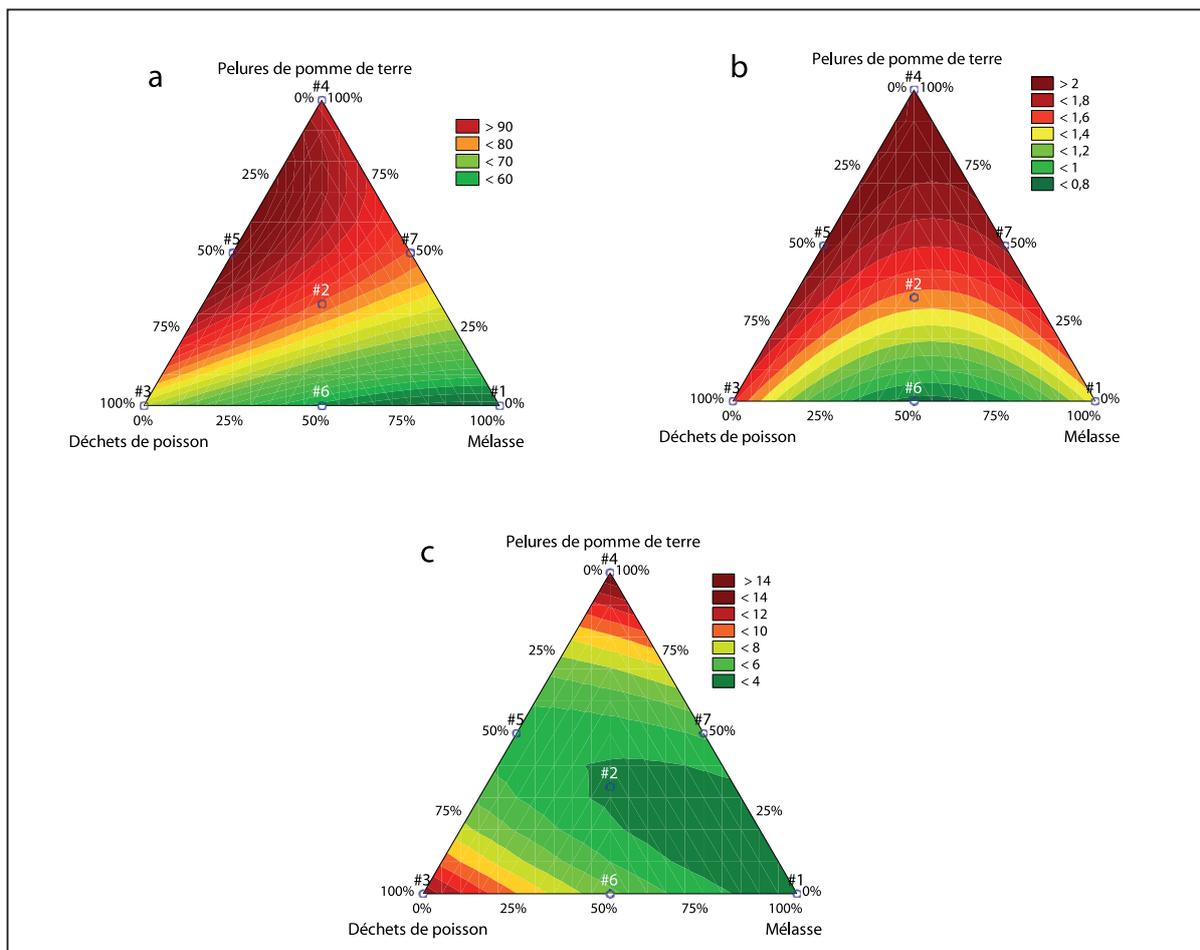


Figure 6. Surfaces d'isoréponses au sein du simplexe étudié, estimation par modélisation des différents paramètres dans la zone étudiée ; (a) phosphore,  $R^2 = 0,9847$  ; (b) azote total,  $R^2 = 0,8772$  ; (c) potassium,  $R^2 = 0,9841$

La zone du côté M4 est la plus favorable pour les trois paramètres azote, phosphore et potassium. (coloration rouge pour ces trois paramètres).

## 2.6. Résultats des tests sur la culture d'orge

### 2.6.1. Test de germination des semences

La phytotoxicité a été testée pendant 72 h. Les résultats montrent que M4 n'a pas d'effet inhibiteur sur la germination et la valeur de l'indice de germination (IG) a atteint environ 62 % pour l'engrais biologique M4 et 52 % pour l'engrais commercial. L'engrais Miracte Gros est utilisé à titre comparatif, certaines de ses propriétés physico-chimiques ont été contrôlées au laboratoire, les résultats se présentent comme suit : pH : 6,7 ; azote : 12 % ; phosphore : 6 % ; potassium : 8 %.

### 2.6.2. Test de fertilisation

Les tests sur la culture d'orge ont duré 21 jours (quatre répétitions). Les résultats sont résumés dans le *tableau III*. Ces résultats montrent que M4 permet une croissance optimale de l'orge.

Il est à remarquer que les tests avec le sol sans apport nutritif (tests témoins) ont montré un développement de la longueur des tiges et des racines. Ces résultats

s'expliquent par la nature du sol, dont l'analyse a révélé les propriétés suivantes : pH :  $6,54 \pm 0,20$  ; conductivité (mS/cm) :  $1,61 \pm 0,55$  ; NT (%) :  $0,74 \pm 0,06$  ; P (%) :  $0,14 \pm 0,41$  ; COT (%) :  $5,56 \pm 0,03$  ; K (%) :  $0,61 \pm 0,92$  ; Na (%) :  $0,2 \pm 0,03$ .

## Conclusion

Cette étude montre qu'il est possible de réaliser facilement, dans un temps ne dépassant pas 15 jours et pour un faible coût, un fertilisant bio, stable, nutritivement riche pour les cultures agricoles, et qui présente de bonnes qualités hygiéniques, à partir d'un mélange ternaire de déchets provenant de l'industrie agroalimentaire. Le simplexe étudié par les plans de mélange permet de déterminer les mixtures qui mènent vers un produit riche en éléments de base pour la croissance des plantes : azote, phosphore et potassium. L'efficacité de cette stratégie est confirmée par les tests de germination et de fertilisation sur l'orge. La grande quantité disponible de déchets qui accompagnent l'utilisation intensive de la pomme de terre, associée aux déchets de poissons et à la mélasse pourrait alors servir pour produire un biofertilisant.

	Longueur moyenne des tiges (cm)	Longueur moyenne des racines (cm)
Sol témoin	12,10 ± 0,03	16,90 ± 0,01
Sol + fertilisant commercial	17,60 ± 0,97	19,60 ± 0,18
Sol + composition M4	22,00 ± 0,72	25,10 ± 0,79

Tableau III. Résultats du test de fertilisation sur la culture d'orge (21 jours de culture)

## Bibliographie

AMADO I.R., FRANCO D., SANCHEZ M., ZAPATA C., VÁZQUEZ J.A. (2014) : « Optimisation of antioxidant extraction from *Solanum tuberosum* potato peel waste by surface response methodology ». *Food Chemistry*; 165 : 290-9.

AIT SAADA D., AIT CHABANE O., BEKADA A., BOUDEROUA K., KEDDAM R., LAALA B., MOUROT J., SELSELET-ATTOU G. (2016) : « Valorization essay of arthrospiraplatensis in alimentation of broilers ». *Global Veterinaria*; 16(1) : 71-85.

AYSSIWEDE S.B., DIENG A., CHRYSOSTOME C., OSSEBI W., HORNICK J.L., MISSOHOU A. (2010) : « Digestibility and metabolic utilization and nutritional value of *Leucaena leucocephala* (Lam.) leaves meal incorporated in the diets of indigenous Senegal chickens ». *International Journal of Poultry Science*; 9(8) : 767-76.

BALAKRISHNAN M., SIMMONDS R.S., KILIAN M., TAGG J.R. (2002) : « Different bacteriocin activities of *Streptococcus mu-*

*tans* reflect distinct phylogenetic lineages ». *Journal of Medical Microbiology*; 51(11) : 941-8.

BOUJILA K., BEN JEDDI F., TAAMALLAH H., JEDDIDI N., SANAA M. (2015) : « Rôle de la composition chimique et biochimique des résidus des cultures et de fumier de ferme dans la décomposition des sols dégradés sous climat aride tunisien ». *Algerian Journal of Arid Environment*; 5(2) : 50-70.

CARDOEN D., JOSHI P., DIELS L., SARMA P.M., PANT D. (2015) : « Agriculture biomass in India. Part 1: Estimation and characterization ». *Resources Conservation and Recycling*; 102 : 39-48.

CHADWICK S.G., PRASAD A., SMITH W.L., MORDECHAI E., ADELSON M.E., GYGAX S.E. (2013) : « Detection of epidemic usa300 community-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* strains by use of a single allele-specific PCR assay targeting a novel polymorphism of *Staphylococcus aureus* pbp3 ». *Journal of Clinical Microbiology*; 51(8) : 2541-50.

- COMPAORÉ E., NANÉMA L.S. (2010) : « Compostage et qualité du compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso ». *Tropicultura*; 28(4) : 232-7.
- DEBRIL J., MATRAT R., HAURY J. (2005) : *Gestion des déchets de Jussie par compostage*. Dires des Pays de la Loire, UMR INRA, Agrocampus EQHC, 37 p.
- DIALLO M.D., NDIAYE O., MAHAMAT SALEH M., TINE A., DIOP A., GUISSÉ A. (2015) : « Étude comparative de la salinité de l'eau et des sols dans la zone nord des Niayes (Sénégal) ». *African Crop Science Journal*; 23 : 101-11.
- DOMINGUEZ-BELLO M.G., BLASER M.J. (2008) : « Do you have a probiotic in your future? ». *Microbes and infections*; 10(9) : 1072-6.
- DOS SANTOS J.P., LOBBI-NIVOL C., COUILLAULT C., GIOR-DANO G., MÉJEAN V. (1998) : « Molecular analysis of the trimethylamine N-oxide (TMAO) reductase respiratory system from a *Shewanella* species ». *Journal of Molecular Biology*; 284(2) : 421-33.
- EL FASSI B., IDAOMAR M. (2014) : « Elimination of phytotoxicity during cocomposting of animal casing waste and sawdust ». *International Journal of Research in Earth & Environmental Sciences*; 1(5) : 9-11.
- EUNJONG K., DONG-HYUN L., SEUNGGUN W., HEEKWON A. (2016) : « Evaluation of optimum moisture content for composting of beef manure and bedding material mixtures using oxygen uptake measurement ». *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*; 29(5) : 753-8.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION) (2006) : *Utilisation des engrais par culture au Maroc*. Première édition. Rome (Italie) : FAO, 73 p.
- HOWGATE P. (2010) : « A critical review of total volatile bases and trimethylamine as indices of freshness of fish ». *Electronic journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*; 9(1) : 29-57.
- KHERRATI B., FAÏD M., EL YACHIOUI M., WAHMANE A. (1998) : « Process for recycling slaughterhouses wastes and by-products by fermentation ». *Bioresource Technology*; 63(1) : 75-9.
- KIM J.K., DAO V.T., KONG I.S., LEE H.H. (2010) : « Identification and characterization of microorganisms from earth worm viscera ». *Bioresource Technology*; 101(14) : 5131-6.
- LAKHAL D., BOUTALEB N., BAHLAOUAN B., ABOUAKIL N., MEKOUAR M., FATHI A., LAZAR S., EL ANTRI S. (2017) : « Mixture experimental design in the development of a bio fertilizer from fish waste, molasses and scum ». *International Journal of Engineering Research and Technology*; 6(6) : 588-94.
- LIANG S., MCDONALD A.G. (2014) : « Chemical and thermal characterization of potato peel waste and its fermentation residue as potential resources for biofuel and bioproducts production ». *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; 62(33) : 8421-9.
- MCCANCE R., WIDDOWSON E.M. (2002) : *The Composition of Foods*. Sixth Summary Edition. The Royal Society of Chemistry : Cambridge, 537 p.
- RODRÍGUEZ-JÉREZ J.J., HERNÁNDEZ-HERRERO M.M., ROIG-SAGUÉS A.X. (2000) : « New methods to determine fish freshness in research and industry ». In : Global quality assessment in Mediterranean aquaculture. Zaragoza : CIHEAM, 2000 (*Cahiers Options méditerranéennes*; n. 51), p. 63-9.
- SCHUMACHER B.A. (2002) : *Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments*. United States Environmental Protection Agency (US EPA), Ecological Risk Assessment Support Center, ERASC-001, 26 p.
- SCHWARTZ W.B., VAN YPERSELE DE STRIJOU C., KASSIRER J.P. (1968) : « Role of anions in metabolic alkalosis and potassium deficiency ». *The New England Journal of Medicine*; 279(12) : 630-9.
- SHRESTHA K., SHRESTHA 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*; 102(17) : 8027-34.
- SMYTH R.W., KAHLMETER G. (2005) : « Mannitol salt agar-cefoxitin combination as a screening medium for methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* ». *Journal of Clinical Microbiology*; 43(8) : 3797-9.
- TAIEK T., BOUTALEB B., BAHLAOUAN B., EL JAAFARI A., LETILLY V., SIRE O., EL ANTRI S. (2014a) : « Biotransformation de déchets halieutiques au Maroc – Essais de production d'un fertilisant biologique ». *Techniques Sciences Méthodes*; 11 : 158-71.
- TAIEK T., BOUTALEB B., BAHLAOUAN B., EL JAAFARI A., KHROUZ H., SAFI A., EL ANTRI S. (2014b) : « Valorisation de déchets de poisson alliés à des rejets brassicoles en vue d'obtenir un biofertilisant ». *Déchets Sciences et Techniques*; 68 : 24-30.
- WU D. (2016) : « Recycle technology for potato peel waste processing: A review ». *Procedia Environmental Sciences*; 31 : 103-7.

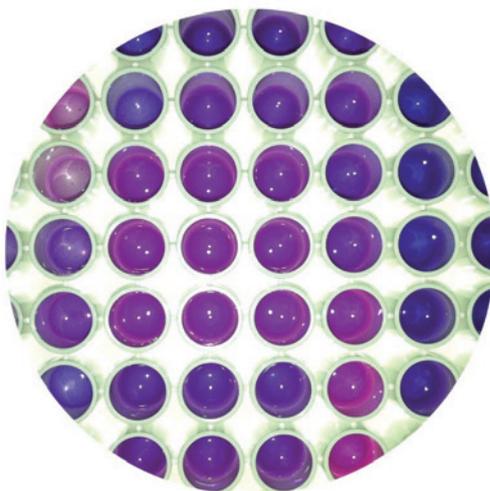


Journée Astee Île-de-France

« Épuration des eaux : innover  
sur les pratiques de monitoring  
et d'exploitation »

**4 décembre 2018**

Venez partager  
les enseignements et les perspectives  
du programme Mocopée



Cité de l'Eau et de l'Assainissement  
à Colombes

En partenariat avec