

ETUDE DE L'IMPACT DES PROCÉDES DE COMPOSTAGE ET DE METHANISATION SUR LE DEVELOPPEMENT DU SOUCHET COMESTIBLE



David PHILIPPART

Directeur de FREDON Normandie

✉ david.philippart@fredon-normandie.fr
☎ 06 77 06 70 39
☎ 02 31 46 96 57
📍 Sièges social - Caen
1, rue Léopold Sédar Senghor
14 460 Colombelles

RAPPORT – 31/03/2023

Vos contacts : Camille Lagnet / Audrey Lallement
Tél. mobile : 06 26 54 12 54 / 06 19 14 45 39
Email : camille.lagnet@apesa.fr / audrey.lallement@apesa.fr

SOMMAIRE

1	CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	4
2	CONDITIONS OPERATOIRES.....	5
2.1	PRE-TEST DE GERMINATION	5
2.2	TRAITEMENT PAR METHANISATION.....	6
2.2.1	CARACTERISATION DU SUIVI PILOTE.....	6
2.2.2	INCORPORATION DES BULBILLES.....	8
2.3	TRAITEMENT DES BULBILLES PAR COMPOSTAGE	8
2.4	ESSAI DE REPRISE VEGETATIVE.....	9
3	RESULTATS.....	10
3.1	TRAITEMENT DES BULBILLES PAR METHANISATION.....	10
3.1.1	CARACTERISATION DU SUIVI DE LA DIGESTION ANAEROBIE.....	10
3.2	TRAITEMENT DES BULBILLES PAR COMPOSTAGE	12
3.2.1	CARACTERISATION DU PROCEDE DE COMPOSTAGE	12
3.3	REPRISE VEGETATIVE DES BULBILLES.....	12
4	CONCLUSION	13

Tables des illustrations

Figures

Figure 1.	Bulbilles (gauche) et culture de souchet comestible (droite).....	4
Figure 2.	Modèle de pilote utilisé (photo non contractuelle).....	7
Figure 3.	Modèle de sachets utilisés dans le cadre du projet.....	8
Figure 4.	Réacteurs de compostage	8
Figure 5.	Serre expérimentale APESA	9
Figure 6.	Paramètres de suivi de l'essai de méthanisation.....	11
Figure 7.	Paramètres de suivi de l'essai en compostage	12
Figure 8.	Photographie illustrant les essais de reprise végétative	13
Figure 9.	Taux de reprise végétative des bulbilles	13

Tableaux

Tableau 1.	Caractéristique du sol utilisé	5
Tableau 2.	Paramètres caractérisant un essai pilote	7
Tableau 3.	Suivi du compostage.....	9
Tableau 4.	Paramètres de fonctionnement	10

Abréviation

AGVs : Acide Gras Volatile.

CRE : Capacité de Rétention d'Eau.

CVO : Charge Volumique Organique.

DLI : Daily Light Integral.

FOS/TAC : Flüchtige Organische Säuren / Totales Anorganisches Carbonat, AGVs / alcalinité sous forme de carbonates.

MO : Matière Organique.

MS : Matières Sèches.

MSV : Matières Sèches Volatils.

PB : Poids Brut.

TS : Temps de séjour.

STEP : Station d'épuration des eaux usées.

1 Contexte et objectifs

Une des missions de la fédération FREDON NORMANDIE est de prévenir et limiter le développement d'organismes nuisibles (ravageurs, maladies, adventices) chez les végétaux. Dans le cadre du projet IDEAL, cofinancé par la région Normandie et l'Union Européenne (<https://fredon.fr/normandie/nos-missions/programme-ideal>), FREDON NORMANDIE travaille sur la gestion des résidus végétaux issus de laverie de légumes au regard du risque de dissémination de l'adventice envahissante : le souchet comestible. En effet, le souchet comestible se maintient et se multiplie par ses bulbilles (Figure 1).



FIGURE 1. BULBILLES (GAUCHE) ET CULTURE DE SOUCHET COMESTIBLE (DROITE)¹

Lors du lavage des légumes en station, ces bulbilles sont retrouvées en différents points du process, et notamment mélangées à des débris végétaux. Le retour au sol de ces résidus végétaux pour une valorisation agronomique présente un fort risque de contamination des parcelles par la dissémination des bulbilles de souchet.

Des études bibliographiques, et notamment l'étude menée par FiBL en 2017¹, ont montré que les procédés de méthanisation et de compostage pouvaient, dans certaines conditions, inactiver les bulbilles de souchet.

FREDON NORMANDIE souhaite tester l'efficacité du compostage et de la méthanisation sur les bulbilles de souchet afin de les rendre inactives et a sollicité l'APESA pour ces essais.

Les expérimentations réalisées dans le cadre de cette étude sont les suivantes :

- En amont des expérimentations : des tests ont été réalisés pour rechercher la meilleure solution de stockage des bulbilles en attendant les essais de reprise végétative. En effet, les traitements par méthanisation et compostage durant plusieurs mois, il est nécessaire de stocker les bulbilles témoins et après traitement jusqu'au moment du test de reprise végétative. Ce stockage pouvant altérer les capacités de reprise, ces pré-tests permettront de valider une méthode de conservation n'impactant pas la reprise végétative après stockage.
- Simulation d'un traitement par méthanisation des bulbilles : essai en pilote de méthanisation d'une durée de 4 semaines.
- Simulation d'un traitement par compostage des bulbilles : essai en pilote de compostage d'une durée de 4 mois.

¹ FiBL. (2017). *Etude de la survie du souchet comestible (Cyperus esculentus) et de la renouée du Japon (reynoutria japonica) lors du compostage et de la méthanisation.*

- Vérification du potentiel de reprise végétative des bulbilles avec et sans traitement : essai de culture en serre d'une durée de 4 semaines.

Au vu de la faible densité des bulbilles sur les résidus végétaux, et afin d'éviter un effet de dilution, l'APESA propose de réaliser les essais sur les bulbilles et non sur l'ensemble résidus végétaux contenant les bulbilles.

2 Conditions opératoires

2.1 Pré-test de germination

Les tests de reprise végétative sont menés simultanément pour toutes les conditions : témoin sans traitement, bulbilles après compostage, bulbilles après méthanisation. Les bulbilles sans traitement vont donc devoir être conservées pendant plusieurs semaines. Ces pré-tests ont donc pour objectif de définir une méthode de conservation des bulbilles qui n'impacte pas leur pouvoir de reprise végétative.

Un lot de bulbilles a été reçu le 22/09/2022 par l'APESA. Il a été stocké en chambre froide positive (6°C) jusqu'aux essais.

- Les méthodes de stockage testées

A partir de ce lot, les bulbilles ont été séparées en 3 lots de plus de 100 tubercules. Ces lots ont servi à tester trois types de stockage différent :

- un stockage par congélation (-15°C),
- un stockage réfrigéré (4°C)
- et un stockage sec (séchage doux à 30°C).

Les bulbilles ont été stockées dans ces 3 conditions pendant 48h avant d'être sorties pour tester l'effet du stockage sur la germination.

- Le test de germination

Ce test de germination réunit 4 conditions : le sol nu, les bulbilles séchées, les bulbilles réfrigérées et les bulbilles congelées.

Pour réaliser ce test, des pots pouvant contenir 1 kg de sol ont été utilisés. Cinq pots de 20 bulbilles pour chaque condition et 3 pots de sol sans bulbilles (témoin) ont été lancés. Avant le lancement, le sol horticole utilisé a été humidifié à 60% de sa capacité en rétention en eau. Ci-dessous les caractéristiques du sol utilisé sont indiquées (Tableau 1).

TABLEAU 1. CARACTERISTIQUE DU SOL UTILISE

<i>Paramètres</i>	<i>Caractéristiques</i>
Composition	Tourbes de Sphaignes, compost, fumier de cheval, argile et engrais NF U 42.001
Matière sèche	40% PB
Matière organique	70% PB
pH (H₂O)	6.5
Conductivité	35 MS
Capacité en rétention en eau	65%

Les 18 pots ont ensuite été placés en enceinte contrôlée (Fitotron®, Weiss Gallenkamp, Royaume-Uni) selon les conditions suivantes : éclairage de 7 000 à 10 000 lux sur un cycle jour/nuit, 16 h de lumière à 25°C avec

une humidité de 60% et 8 h d'obscurité à 18°C avec une humidité de 80%. Régulièrement, les pots sont arrosés pour maintenir l'humidité et le taux de germination est contrôlé et calculé par l'équation suivante :

$$T_P (\%) = 100 * \frac{m_1}{m_2} \bigg/ \frac{m_3}{m_4}$$

Où : T_P est le pourcentage de germination des bulbilles ayant ou non subi un traitement (en %) ; m_1 est le nombre de plantes émergées ; m_2 est le nombre de bulbilles plantées ; m_3 est le nombre de bulbilles émergées après le traitement et m_4 est le nombre de bulbilles plantées.

- Résultats

Ce premier essai a permis de mettre en évidence qu'il faut au moins 25 jours au souchet domestique pour pousser dans ces conditions. Cette durée sera prise en compte pour l'essai de germination après traitement.

Deux des trois conditions testées ont permis la reprise germinative du souchet domestique : les bulbilles ayant subies un stockage après séchage ou réfrigéré. La congélation semble avoir impacté le potentiel de reprise des bulbilles.

Dans le cadre de nos essais, le protocole de conservation choisi est donc une conservation par un séchage doux à 30°C pendant 48 heures, le pré-test ayant validé l'absence d'impact de ce traitement sur la reprise des bulbilles. Ce traitement sera appliqué avant tout traitement et test de reprise végétative.

2.2 Traitement par méthanisation

Cet essai a pour but de simuler le traitement par méthanisation un lot de bulbille. Pour cela un essai en pilote de méthanisation est réalisé et simule les conditions de fonctionnement d'un méthaniseur

Un scénario type de méthanisation territoriale est simulé :

- Technologie infiniment mélangé (teneur en matière sèche < 10%), en conditions de température mésophiles (38°C) a été choisie car la plus répandue.
- Un temps de séjour d'environ 30 jours est appliqué ce qui est dans une gamme basse par rapport à ce qui peut être rencontré. Ce choix a été fait dans une logique de worst case.
- La ration d'alimentation n'a pas d'impact dans le cadre de cet essai. Nous avons donc utilisé une alimentation de type digesteur urbain, mixte à base de boues de STEP et de déchets végétaux pour des raisons de facilité d'approvisionnement.

2.2.1 Caractérisation du suivi pilote

Un pilote de 20 L fonctionnant en infiniment mélangé (Figure 2) est utilisé pour ces essais. Il est agité de manière séquentielle (35 OBR/min sur une séquence de 15 minutes de fonctionnement par heure) et une température de 38 °C (condition mésophile) est maintenue. Une charge de 0,8 kg MO / m³ / j est appliquée.

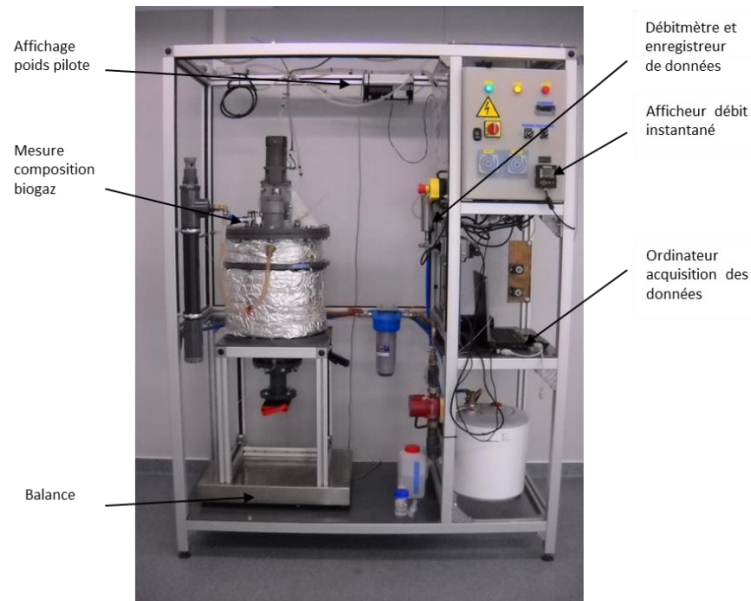


FIGURE 2. MODELE DE PILOTE UTILISE (PHOTO NON CONTRACTUELLE)

Ce pilote est en phase de stabilité, le temps de séjour hydraulique de la matière est estimé à 27 jours. Il est nourri avec des boues de STEP (75%) et des tontes (25%). La proportion de matière sèche du mélange d'intrant est fixée à 7% en poids brut.

Plusieurs paramètres sont suivis tout au long de l'essai (Tableau 2) :

- **Les paramètres de fonctionnement** montrent l'état de fonctionnement imposé au réacteur ;
- **Les paramètres de suivi** permettent de vérifier le bon déroulement de l'essai.

TABLEAU 2. PARAMETRES CARACTERISANT UN ESSAI PILOTE

Type	Paramètres	Description	Fréquences
Paramètres de fonctionnement	CVO (kg MO / m ³ / j)	Charge volumique organique	2 fois par semaine
	CMO (kg MO / t / j)	Charge massique organique	2 fois par semaine
	TS (j)	Temps de séjour	Mesure de contrôle initiale
	T (°C)	Température	Contrôle hebdomadaire
Paramètres de suivi	NH ₄ ⁺ (kg / m ³)	Concentration en azote ammoniacal	Mesure toutes les 2 semaines
	MS/MSV (% poids brut)	Concentration en MS/MSV sur digestat	Mesure toutes les 2 semaines
	AGVs/HCO ₃ ⁻	Suivi du rapport acides organiques et alcalinité (dosage titrimétrie)	Mesure hebdomadaire
	AGV (g/L)	AGV totaux et individuel (acétate, propionate...) analysés par GC (7890 B, Agilent)	Mesure toutes les 2 semaines
	pH	pH du digestat	Mesure hebdomadaire
	Redox (mV)	Potentiel redox du digestat	Mesure hebdomadaire

A noter que dans le cadre de cet essai, l'objectif est de simuler le procédé de méthanisation à l'échelle pilote en garantissant la température et l'activité biologique du process, qui sont les deux paramètres impactant l'inactivation des bulbilles de souchets. Les productions de biogaz associées au process ne sont pas pertinentes dans la présente étude et ne sont donc pas mesurées.

2.2.2 Incorporation des bulbilles

Les bulbilles sont incubées dans le pilote de méthanisation. Afin d'être certains de pouvoir les récupérer pour l'essai de reprise végétative, elles sont placées dans des sachets en toile en nylon de 250 μm (cf. Figure 3). 5 sachets sont réalisés pour s'assurer de la répétabilité.



FIGURE 3. MODELE DE SACHETS UTILISES DANS LE CADRE DU PROJET

Au bout de 4 semaines, les sachets sont récupérés et pesés. Après récupération des sachets, ils sont conservés, comme défini par le pré-test, en attendant les essais de reprise végétative.

2.3 Traitement des bulbilles par compostage

Cet essai a pour but de traiter par compostage un lot de bulbille. Pour cela un essai en pilote de compostage est réalisé et simule les conditions de compostage industriel.

Similairement à l'essai de méthanisation, le procédé de compostage est simulé en pilote (Figure 4). Cet essai permet de réaliser des conditions de compostage optimales tant en terme de température, d'humidité et d'oxygénation.



FIGURE 4. REACTEURS DE COMPOSTAGE

Les sachets sont placés en compostage avec du déchet vert broyé (environ 2 L) dans des cellules aérobies d'environ 2,5 L utile. L'air introduit est saturé en eau afin d'éviter l'assèchement du produit et injecté en abondance pour assurer l'apport en oxygène. Le réacteur est placé dans une enceinte thermostatée à 58°C

pour le maintien de la température (en effet les volumes de matière mis en œuvre ne permettent pas l'auto échauffement de la matière).

L'humidité de la matière est ajustée à 60% environ. La mesure du CO₂ produit permet de vérifier le bon déroulement du procédé de compostage. Le suivi opérationnel pour cet essai est présenté dans le Tableau 3.

TABLEAU 3. SUIVI DU COMPOSTAGE

<i>Paramètres</i>	<i>Fréquence de suivi</i>
T°C	Hebdomadaire
Production de CO ₂	2 fois par semaine
Mélange	1 fois / mois
MS/MSV/MM	1 fois / mois
pH	1 fois / mois

La durée de l'essai est de 4 mois, ce qui est une durée classiquement observée en compostage industriel.

Au bout de 4 mois, les sachets sont récupérés, pesés et conservés, comme défini par le pré-test, en attendant les essais de reprise végétative.

2.4 Essai de reprise végétative

Similairement au pré-test de germination, les bulbilles sont mises à germer dans des pots de 1 kg de sol horticole.

Plusieurs conditions seront testées :

- Sol seul (témoin négatif) : vérification de l'absence d'adventice sur sol seul.
- Sol + bulbilles triées conservées (témoin positif) : vérification que les conditions de germination sont propices à la germination du souchet.
- Sol + bulbilles compostées : vérification du niveau de germination après compostage.
- Sol + bulbilles méthanisées : vérification du niveau de germination après méthanisation.

La même quantité de bulbilles est mise en terre pour chaque répétition. Quatre répétitions par modalités sont prévues. Les pots seront maintenus à 60% de la capacité en rétention en eau pendant 3 à 4 semaines en conditions contrôlées entre 20°C et 24°C et avec une supplémentation en lumière pour garantir un ensoleillement de 14,75 DLI (Daily Light Integral) (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).



FIGURE 5. SERRE EXPERIMENTALE APESA

Quotidiennement le nombre de pousses germées est compté pour pouvoir calculer le taux de germination (présenté plus haut). A la fin des 4 semaines, le nombre de plantes est alors comptabilisé et un relevé photographique est effectué.

3 Résultats

3.1 Traitement des bulbilles par méthanisation

3.1.1 Caractérisation du suivi de la digestion anaérobie

L'objectif de ce suivi est de caractériser le traitement anaérobie appliqué et de garantir le bon déroulement de la méthanisation comme traitement des bulbilles.

Plusieurs paramètres permettent de garantir le bon fonctionnement du processus lors de l'essai pilote. Deux types de paramètres sont suivis : des paramètres de fonctionnement et des paramètres de suivis.

Le Tableau 4 présente les résultats obtenus pour les paramètres de fonctionnement.

TABLEAU 4. PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT

<i>Paramètres</i>	<i>Description</i>	<i>Quantité</i>
<i>CVO (kg MO / m³ / j)</i>	Charge volumique organique	0,8 ± 0,1
<i>TS (j)</i>	Temps de séjour	27
<i>T (°C)</i>	Température de fermentation	39,0 ± 0,5

La méthanisation n'a pas présenté de difficulté sur les paramètres fonctionnels.

Les paramètres de suivis sont représentés en Figure 6.

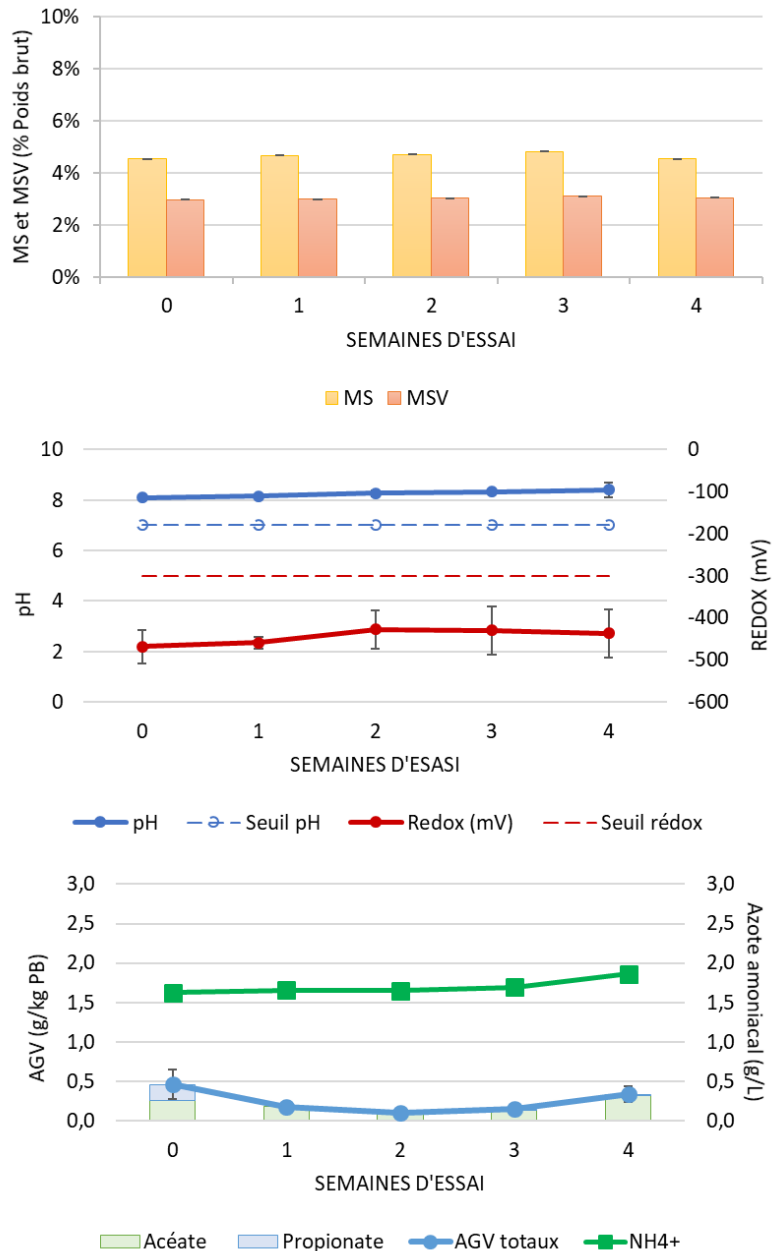


FIGURE 6. PARAMETRES DE SUIVI DE L'ESSAI DE METHANISATION

Les paramètres de suivis ne montrent que peu de variation, permettant d'attester d'une grande stabilité du procédé. La matière sèche volatile fluctue entre 2,9 et 3,1 % PB (histogramme orange). En terme de pH, le méthaniseur est à $8,3 \pm 0,1$ unité de pH (courbe bleu foncé) et le redox se situe entre -428 et -468 mV (courbe rouge). Ces valeurs sont bien en dessous des seuils critiques de 7 pour le pH et -300 mV pour le redox et présentent très peu de fluctuations. Enfin concernant les concentrations en AGV et le FOSTAC, permettant de mettre en évidence les premiers signes d'avarie, peu de fluctuations sont visibles : le FOSTAC présente des valeurs allant de 0,3 à 0,4 (sa valeur seuil est à 0,7) et les AGV totaux ont un maximum de 0,5 g/kg de digestat donc très faible. L'ammonium, quant à lui, augmente légèrement en fin d'essai mais de manière négligeable (+ 0,2 g/L).

L'ensemble de ces données permet de montrer que la méthanisation s'est bien déroulée et a permis le traitement des bulbilles dans des conditions représentative d'un procédé de méthanisation.

3.2 Traitement des bulbilles par compostage

3.2.1 Caractérisation du procédé de compostage

L'essai de compostage a duré 4 mois. En plus de la température, de l'humidité et du pH, la production de CO₂ a permis de suivre le bon déroulement du compostage. Ces paramètres sont présentés à la Figure 7.

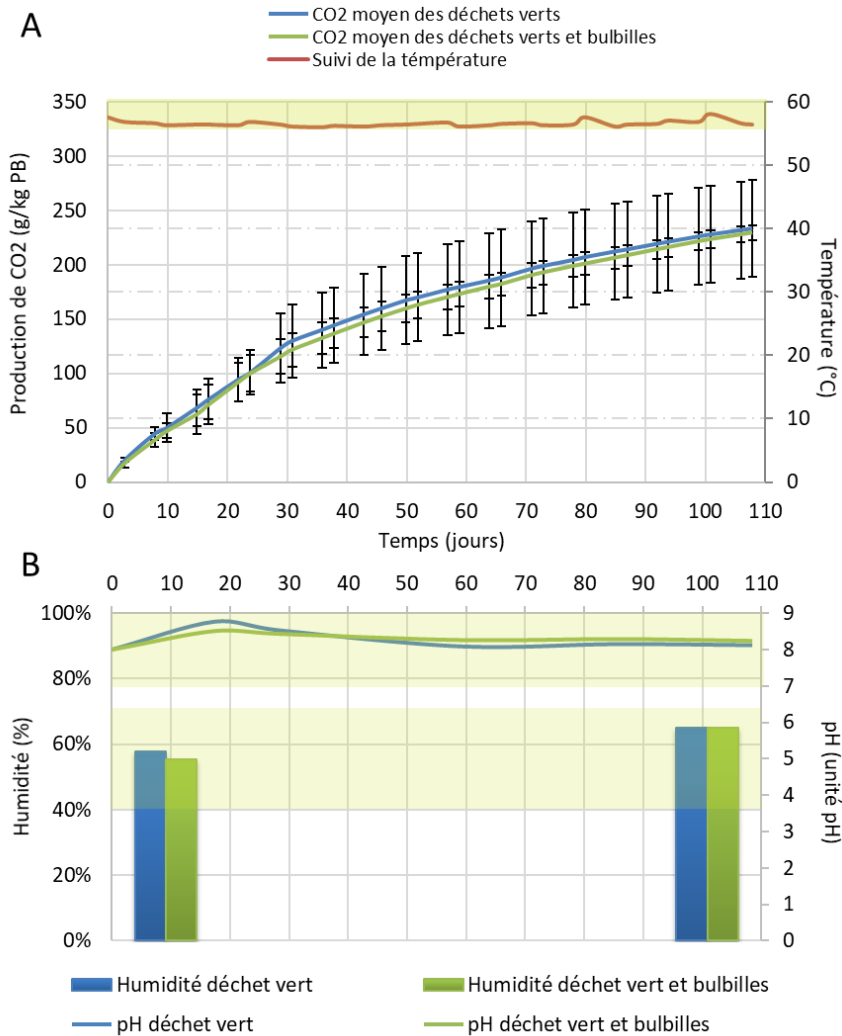


FIGURE 7. PARAMETRES DE SUIVI DE L'ESSAI EN COMPOSTAGE

Comme pour la méthanisation, le compostage est bien maîtrisé et le compost de déchets verts respecte les critères demandés classiquement, en terme de pH, d'humidité et de température. Comme le montre la Figure 7 partie A, les bulbilles n'ont pas d'impact sur le taux de respiration, avec une production cumulée en CO₂ de 233 ± 45 g CO₂/kg PB pour le déchets verts seuls et de 229 ± 7 g CO₂/kg PB pour le déchets verts avec bulbilles.

3.3 Reprise végétative des bulbilles

Toutes les bulbilles récupérées ont par la suite été remises en croissance, pendant 30 jours) en comparaison avec le lot n'ayant subi aucun traitement. Les résultats obtenus sont présentés dans la Figure 8 et la Figure 9.



FIGURE 8. PHOTOGRAPHIE ILLUSTRANT LES ESSAIS DE REPRISE VEGETATIVE

DE GAUCHE A DROIT : BULBILLES NON TRAITEES, BULBILLES APRES COMPOSTAGE ET BULBILLES APRES METHANISATION

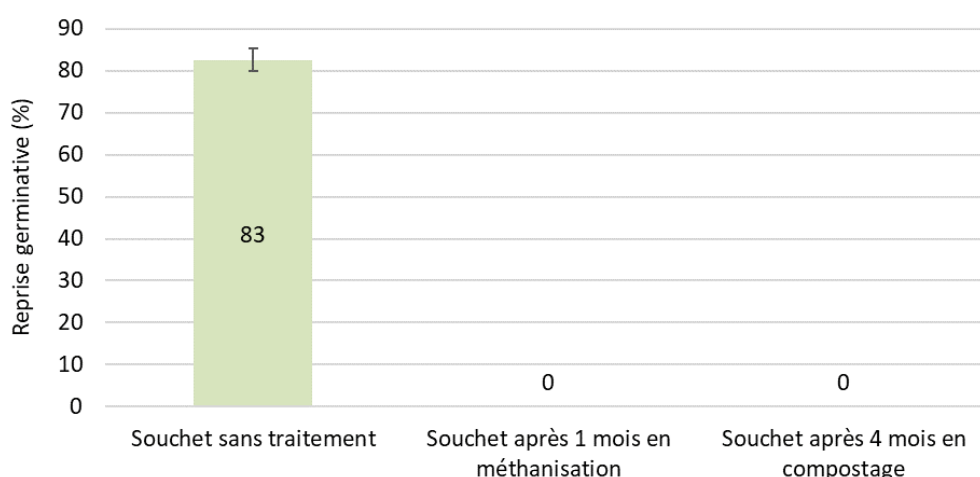


FIGURE 9. TAUX DE REPRISE VEGETATIVE DES BULBILLES

NB : LA CONDITION SOL SEUL N'EST PAS INDIQUEE CAR AUCUN ADVENTICE SPECIFIQUE N'A ETE CONSTATE.

Les bulbilles non traitées ont présenté une très bonne reprise germinative, puisque 83% des 80 graines plantées ont permis l'obtention de pousses de souchet dès 20 jours. Les bulbilles après traitements par contre n'ont pas présenté de pousses (essais poursuivi jusqu'à 30 jours d'exposition). Les pots ayant contenu des bulbilles après méthanisation ont même présenté de la moisissure sur le dessus laissant indiquer que la colonisation fongique était importante.

Les bulbilles de souchet domestique semblent sensibles à la méthanisation mésophile et au compostage industriel.

4 Conclusion

Le souchet domestique est une adventice envahissante grâce à ces bulbilles résistantes. FREDON NORMANDIE travaille sur la gestion des résidus végétaux issus de laverie de légumes, où ces bulbilles sont retrouvées en différents points du process, et notamment en mélange avec des débris végétaux. Le retour au sol de ces résidus végétaux pour une valorisation agronomique présentant un risque de dissémination de l'adventice dans les parcelles, l'APESA a été sollicité pour tester l'impact de deux procédés de traitement biologique, compostage et méthanisation, sur ces bulbilles.

Ainsi, le traitement de ces bulbilles (en sachet) en compostage industriel et en méthanisation infiniment mélangé mésophile, a été simulé en pilotes de laboratoire. Les deux essais ont été réalisés sans encombre et n'ont pas présentés de difficulté. Avec l'assurance que les procédés biologiques se sont bien déroulés, l'impact sur les bulbilles a été quantifié en comparant la reprise germinative des bulbilles sans traitement ou après traitement en méthanisation et en compostage.

Les résultats de la reprise germinative des bulbilles sans traitement ou après traitement en méthanisation et en compostage sont significatifs, les bulbilles n'ayant subies aucun traitement ont repoussé dans les 20 jours qui ont suivi leurs mises en terre alors qu'aucune bulbille traitée par méthanisation ou compostage n'a repris (au bout de 30 jours).

La méthanisation mésophile et le compostage, dans les conditions testées, paraissent être des bons candidats pour empêcher la dissémination du souchet domestique. La méthanisation permet un temps de traitement plus court (1 mois au lieu de 4 mois). Il faudra cependant être vigilant car dans le cadre des essais, le protocole en filet a permis de maîtriser la durée d'exposition. En méthaniseur, un temps de séjour de 1 mois est une notion calculée par rapport à la ration journalière et au volume du digesteur, mais certaines particules vont rester moins de temps et d'autre beaucoup plus. Il serait intéressant de tester la durée minimale de traitement permettant d'inhiber la reprise.

En compostage, le procédé étant discontinu (mise en andain en une fois), le temps de séjour est maîtrisé. C'est la température qui peut varier. En effet, tous les points de l'andains ne sont pas toujours à la température jugée optimale de 58°C. Il serait également pertinent de mener d'autres essais pour vérifier l'inhibition totale de la reprise en conditions réelles (ou de température moindre).