
**FAIRE PROGRESSER LES BIOTECHNOLOGIES ENVIRONNEMENTALES
PAR LE BIAIS D'APPROCHES D'ÉCOLOGIE MOLÉCULAIRE :
DE LA DESCRIPTION À LA GESTION**

Thèse de Laëtitia **CARDONA**¹

Analysée par Gilles **POIDEVIN**²

Directeur de thèse : Laurent **MAZEAS**, Directeur de recherche INRAE, directeur-adjoint de l'Unité 1461, PROSE, PRocédés biOtechnologiques au Service de l'Environnement

Co-directeur de thèse : Olivier **CHAPLEUR**, Ingénieur des Ponts, des Eaux et des Forêts, chercheur INRAE, Unité 1461, PROSE, PRocédés biOtechnologiques au Service de l'Environnement

Cette thèse a pour objet le fonctionnement des bioréacteurs anaérobies qui utilisent des déchets d'origine organique pour produire du biogaz, énergie renouvelable, et des digestats qui peuvent être utilisés comme fertilisants.

Cette étude est pertinente, car la méthanisation dans ces bioréacteurs est une technique ancienne décrite par Volta dès 1776, mais qui connaît un essor important depuis quelques années sous l'impulsion des politiques française et européenne de production d'énergies renouvelables et de traitement des déchets. Le nombre d'installations en France est passé de 616 en 2016 à 1179 en 2020. L'amélioration de leur rendement est donc primordiale pour assurer l'avenir de cette technologie.

Le travail a été organisé en trois études distinctes pour analyser successivement et indépendamment trois paramètres différents. Chacune de ces études est présentée comme un article scientifique destiné à être publié dans une revue à comité de lecture.

Le procédé utilisé pour l'analyse de la communauté microbienne au cours des travaux de la thèse est l'analyse moléculaire à haut débit, et spécialement le séquençage de gènes codant pour l'ARN 16S.

Pour ces études, un appareil de laboratoire reproduisant à petite échelle une fermentation anaérobie a été mis au point. Trois substrats représentatifs ont été sélectionnés : boues de stations d'épuration, coupes de gazon et déchets de poissons. Les substrats ont été testés séparément, puis deux à deux, avec des proportions différentes. Les courbes de rendement en biogaz ont été tracées, en fonction des proportions de chacun des substrats, avec une incrémentation de 25%. Cette étude conclut sur des compositions de substrats optimisés.

¹ Thèse de doctorat de l'Institut agronomique vétérinaire et forestier de France, Spécialité : Sciences de l'environnement, Unité 1461 PROSE, PRocédés biOtechnologiques au Service de l'Environnement, Ecole doctorale N°581 Agriculture, alimentation, biologie, environnement et santé (ABIES), soutenue à Paris le 27 mai 2020.

² Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, section 9 « Agro-fournitures ».

Les micro-organismes présents dans le bioréacteur ont été caractérisés et identifiés grâce à des procédés d'analyse génétique ARN. Les genres sont déjà bien connus et ont pu être identifiés avec certitude. Le constat permet d'observer la prédominance de deux genres *Methanosarcina* et *Methanosaeta* qui se retrouvent en grande quantité, quelle que soit l'évolution du substrat. Toutefois, en conditions dégradées, ce sont d'autres micro-organismes qui viennent les concurrencer et qui influencent négativement le rendement.

La deuxième étude vise à analyser l'influence de la concentration en ammoniac. Le principal paramètre de la qualité des substrats est le ratio Carbone/Azote, qui doit être maintenu dans des limites précises, entre 15 et 30. Avec certains substrats, comme ici les déchets de poissons riches en azote, le bioréacteur est comme « empoisonné » et les micro-organismes les plus performants ne peuvent plus exercer leur rôle et sont concurrencés par d'autres. L'étude permet de déterminer la concentration maximum d'ammoniac autorisant un fonctionnement optimal du réacteur.

Enfin le dernier objectif de ce travail a porté sur l'intérêt de l'utilisation de la zéolite et de déterminer le mécanisme permettant à la zéolite de limiter l'inhibition par l'azote ammoniacal. La zéolite est une roche d'origine volcanique, qui adsorbe l'ammoniac. Ses propriétés ont déjà été reconnues pour cette utilisation. Cette thèse permet de montrer qu'en absence d'ammoniac, la zéolite ne joue aucun rôle, mais qu'en présence d'ammoniac, elle empêche l'inhibition de la fermentation.

Ce travail très complet montre l'importance des différents paramètres opérationnels sur l'activité microbienne et sur le rendement du digesteur en termes de quantité de biogaz produite. Elle présente des pistes pour des bio-indicateurs avancés permettant de prédire des dysfonctionnements du réacteur. De plus, elle fait progresser la métabolomique (analyse des métabolites et de leur dynamique) pour mieux comprendre le rôle des microbes dans la fermentation anaérobie.

Les résultats scientifiques de cette thèse, qui apportent des éléments concernant la production des énergies renouvelables amenées à jouer un rôle crucial dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre, justifient que cette analyse figure sur le site de l'Académie d'agriculture de France, à titre de valorisation.