

Montréal, 20 janvier 2022

OBJET : Consultation sur la première stratégie québécoise sur l'hydrogène vert et les bioénergies

À qui de droit

Je désire tout d'abord vous féliciter pour avoir lancé cette consultation sur un enjeu assez critique pour l'avenir du Québec.

Dès 1997, j'ai participé à une étude qui prévoyait d'utiliser les surplus hydro-électriques québécois pour les convertir en hydrogène et les acheminer à Rotterdam, dans des cargos conçus à cet effet, pour le marché européen. C'était une époque, il y a 25 ans, où ce vecteur d'énergie n'était pas encore associé à des « couleurs » (vert, bleu, gris)!

Je ne puis donc que me réjouir qu'aujourd'hui de tels projets refassent surface de manière explicite dans une stratégie en gestation et que des entreprises, telle Air Liquide, y investissent.

UN GRAND ABSENT DE LA STRATÉGIE

Mais aujourd'hui, mon propos s'attarde au second volet de cette stratégie : les bioénergies.

Dans le texte du *Document de consultation*, il manque un élément crucial pour l'avenir du Québec. Certes, toutes les technologies ne peuvent être citées dans un tel document. Par exemple, la Figure 4 de la page 7, qui illustre le procédé de « transformation » des matières de base, ne comporte un seul symbole de « conversion » : la bioraffinerie. Lorsque l'on considère la Figure 3 de la page 3 du même document, l'électrolyse de l'eau ET la gazéification sont présents.

Or, parmi les solutions d'avenir (en fait qui étaient des solutions d'avenir dans les années 1970 un peu comme l'hydrogène revenu au premier plan de l'actualité énergétique au cours des dernières années), il faut citer la « **biométhanisation** » (ANNEXE A) ou la « **digestion anaérobie** » (DA). Ces deux termes synonymes ne sont présents nulle part dans le document de consultation. Et pourtant...

LA DIGESTION ANAÉROBIE : UNE SOLUTION TOUTE DÉSIGNÉE POUR ÊTRE LEADERS EN ENVIRONNEMENT ET EN ÉNERGIES RENOUVELABLES

Certes, la DA fait partie de toute stratégie de valorisation de la matière organique, dont [celle du Québec](#), puisqu'une large part de ceux qui sont générés par l'activité humaine, la matière organique (MO), peut être valorisée. Cette valorisation peut se décliner en résidus

solides, liquides et gazeux. Celle qui est pertinente ici est la fraction gazeuse puisque le procédé produit du méthane (CH₄) que l'on appelle aussi biométhane, biogaz, ou gaz naturel renouvelable; encore que ce biogaz, une fois débarrassé de ses impuretés, est strictement identique au gaz dit naturel. Elle produit aussi du dioxyde de carbone (CO₂), nous y reviendrons.

Ainsi, pour « *affirmer son rôle de leader nord-américain en environnement et en énergies renouvelables*, p1 », le Québec ne peut se passer de la DA. Car, le procédé permet à la fois de résoudre une partie des problèmes liés à l'enfouissement des déchets ET de produire un biogaz de substitution aux carburants fossiles. Le gaz naturel produit par ce procédé est renouvelable, interchangeable, économique et local (ANNEXE B)

LES POTENTIELS DE PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE

La France possède une puissance installée de plus de 500MW d'électricité produits par plus de 600 installations. Le gisement français global mobilisable à l'horizon 2030 pour la méthanisation a été évalué à 56 GWh d'énergie primaire en production de biogaz, principalement composé de matières agricoles [1].

En termes de MO (ANNEXE C) une étude du LTE (2007) indiquait que le potentiel thermique de la filière de méthanisation s'élevait à 3 846 MWth, dont 869 MWth proviennent des déchets municipaux, 671 MWth des lisiers d'élevage et 77 MWth des résidus agroalimentaires (boues d'abattoir) [2]. Quelques années plus tard, l'étude de SOLINOV (2013) estimait la quantité des résidus organiques générés par l'industrie agroalimentaire québécoise à 1 286 188 tonnes/an, un potentiel technique maximal pouvant atteindre 925 MWth [3], consistant avec l'étude antérieure. En considérant les données disponibles pour le secteur de la transformation agroalimentaire du bilan 2018 de RECYC-QUÉBEC, le taux global de recyclage pour l'ensemble des secteurs d'activités atteindrait 44 %, soit un peu moins de 2,3 millions de tonnes/an. La quantité de résidus organiques générée s'établirait quant à elle à un peu moins de 5,2 millions de tonnes. Les données de ce Bilan 2018 confirment que le recyclage des matières organiques évolue positivement, mais que le Québec doit poursuivre ses efforts [4].

Toujours en 2018, une étude réalisée par un consortium (WSP, Deloitte, Chaire HEC, CIFQ, Énergir, RECYC-QUÉBEC, TEQ, UPA) concluait que le potentiel technico-économique québécois total de production de méthane de source renouvelable provenant de la DA et de la captation en provenance de lieux d'enfouissement techniques (LET), atteignaient 18,8 millions de GJ – lire 5,2 TWh – en 2030, soit près de 10% de la consommation actuelle de gaz naturel au Québec ou l'équivalent de l'ordre de grandeur des contrats de vente d'électricité au Maine et à New-York [5].

On peut ajouter que puisque la DA produit aussi du CO₂, il est possible de juxtaposer hydrogène et biométhanisation dans un même procédé : la méthanation (ANNEXE D). Il est ainsi possible de produire du méthane renouvelable en sus de celui produit par biométhanisation.

Par ailleurs, la pyrolyse-gazéification combinée à la méthanation de matières forestières porte le potentiel technico-économique québécois total de production de méthane de source renouvelable à 40TWh (plutôt que 5,2TWh) soit près des 2/3 du volume de gaz naturel distribué par Énergir annuellement [5].

On peut finalement ajouter que lorsque la production d'hydrogène sera compétitive économiquement, l'hydrolyse pour produire du H₂, puis du CH₄ par réaction avec du CO₂ (ou

power-to-gas) augmentera encore le potentiel de production d'un méthane renouvelable, permettant de se passer complètement de gaz naturel d'origine fossile à moyen terme.

Et s'il advient que ce procédé soit réellement implanté, nous pourrions même considérer des applications au transport comme le suggère le mémoire de Pluritec [6] et à ce moment, la production de CH₄ renouvelable toucherait la réduction des émissions de GES imputables au transport!

LES ENJEUX DE LA BIOMÉTHANISATION

Puisque, l'on désire aussi « *bien cerner les besoins et les enjeux particuliers des filières de l'hydrogène vert et des bioénergies*, p1 », il faudrait davantage que cette lettre pour indiquer exhaustivement tout ce qui est requis pour le secteur de la DA afin de prendre un essor qui tarde depuis une vingtaine d'années. Mais la courte liste suivante indique les voies à suivre pour le développement économique de cette filière :

- **Formation à tous les niveaux.** Il existe un manque de personnel qualifié au Québec et il faut donc former de jeunes personnes dans tous les aspects. Les grands chantiers actuels de construction d'usines ne sont pas appuyés par suffisamment de main-d'œuvre compétente pour assurer des projets viables;
- **Sensibilisation de la classe politique municipale.** Le procédé est méconnu et les projets pharaoniques où se succèdent les dépassements de coût et les reports sont parfois les seules références dont les élus municipaux disposent pour fonder leurs opinions sur cette technologie pourtant opérationnelle à l'échelle industrielle depuis 1908 au Royaume-Uni;
- **Planification à l'échelle du territoire.** Il faut cartographier le Québec en termes de traitement de la MO et ce à partir de bilans tels que celui fourni en annexe E. C'est-à-dire que l'on doit déterminer les taux de production de MO par km² afin de planifier l'implantation spatiale et chronologique d'usines de DA optimales en termes de distance moyenne à la source, de densité énergétique, d'impact environnemental et ultimement de rentabilité (ANNEXE F);
- **Programmes d'éducation citoyenne.** Parmi les grands défis de la DA réside l'éducation de la population car si la source de MO disponible dans les stations d'épuration, les résidus alimentaires ou agroalimentaires sont conséquents, une large part de la MO générée par l'activité humaine provient des foyers (44% des matières résiduelles domestiques sont de la matière organique). Or, pour opérationnaliser le traitement de cette MO, il faut former les citoyens à ne mettre QUE de la MO dans le bac prévu à cet effet (en fait, à ce jour la seule usine de DA qui fonctionne au Québec ne prend pas la MO du secteur domestique). L'ADEME [7] indique qu'avec la mise en place d'une redevance incitative et de l'information et sur la base du volontariat, 7 communes de France avaient pu obtenir un résultat de moins de 0,3% d'indésirables dans les biodéchets collectés. Ce qui démontre qu'il est possible de rendre ces biodéchets du secteur domestique utilisables en biométhanisation;
- **Législation et incitatifs.** J'enseigne un cours d'introduction à la biométhanisation, à la méthanation et à la gazéification à l'ÉTS depuis 2010. Et à cette époque, j'annonçais que le Québec mettrait fin à l'enfouissement des déchets en 2020. Il faut donc repenser la transition vers un traitement plus éco-responsable des déchets et cela passe par une législation appropriée. Par ailleurs, des sommes colossales ont été englouties pour les projets actuels de DA. Ce n'est cependant pas le seul incitatif (la subvention) qui pourrait être mis en place pour assurer une collecte, un transport et un traitement efficace de la MO. Les [redevances pour l'élimination de matières résiduelles](#) en sont un exemple.

A cette liste, on peut par ailleurs ajouter les éléments suivants :

- **Sécurité des approvisionnements.** Il s'agit de s'assurer que les déchets entrants prévus seront disponibles sur la durée de vie de l'usine.
- **Valorisation du biogaz.** Il faut vérifier la valorisation énergétique possible du biogaz : valorisation chaleur sur site en cas de cogénération, injection possible ou non dans le réseau de gaz naturel.
- **Vision intégrée.** Il faut prévoir la complémentarité avec le compostage pour traiter les déchets ligneux mal adaptés à la méthanisation ou pour finaliser la maturation du digestat (idéalement éviter de transporter le digestat sur de longues distances). Il faut aussi prévoir en amont le traitement de la partie non organique des déchets reçus sur site.
- **Traitement des excédents hydriques.** Les installations de grandes tailles qui traitent les boues de stations d'épuration doivent améliorer le traitement de la large part d'eau que contient souvent le digestat.

LA CHAIRE DE RECHERCHE EN VALORISATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE ET DU RECYCLAGE

En réponse à cet enjeu environnemental et énergétique, le Groupe de recherche industrielle en technologies de l'énergie et en efficacité énergétique (t3e) en partenariat avec la Ville de Saint-Hyacinthe, Énergir et Dominion & Grimm a décidé d'implanter une nouvelle Chaire de recherche industrielle à l'École de technologie supérieure.

Outre la promotion du procédé lui-même, cette chaire se consacrera à favoriser l'émergence de nouvelles entreprises québécoises qui pourraient se substituer aux entreprises étrangères (la France estime pouvoir détenir entre 11% et 32% du marché, en fonction de l'activité – méthaniseurs, assemblage, épuration, équipements de réinjection, etc. [8]) pour assurer le développement de la filière par des ressources locales.

En lien avec la consultation, cette nouvelle Chaire de recherche souscrit à la vision proposée dans le document de consultation et fait siens les 5 principes directeurs énoncés. Enfin, elle demeure disponible pour contribuer aux trois axes de développement de la stratégie et suggère d'ajouter la « digestion anaérobie » (DA) à la « Bio-raffinerie » à la Figure 4 lorsqu'elle sera utilisée à nouveau!

Dans l'attente de pouvoir contribuer concrètement à cette initiative, je vous prie d'accepter l'expression de mes salutations distinguées.



Daniel Rousseau, ing., Ph.D.

Directeur, Groupe de recherche industrielle en technologies de l'énergie et en efficacité énergétique (t3e)

Directeur, Programmes de 2^e cycle en énergies renouvelables et en efficacité énergétique

Professeur titulaire, Département de génie mécanique

Titulaire, Chaire de recherche en valorisation des matières organiques et recyclables

Membre, Centre d'études et de recherches intersectorielles en économie circulaire (CERIEC)

Membre, Réseau Québécois sur l'Énergie Intelligente (RQEI)

Membre, Catalyseur d'innovation pour la transition énergétique au Québec (CITEQ)

École de technologie supérieure | Université du Québec

« Man sieht nur, was man weiss » - J. W. Goethe

ANNEXE A : Qu'est-ce que la biométhanisation?

La méthanisation est une technologie basée sur la dégradation par des micro-organismes de la matière organique, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène, donc en milieu anaérobie, contrairement au compostage qui est une réaction aérobie.

Cette dégradation provoque :

- un produit humide, riche en matière organique partiellement stabilisée, appelé digestat. Il est généralement envisagé le retour au sol du digestat après éventuellement une phase de maturation par compostage ;
- du biogaz, mélange gazeux saturé en eau à la sortie du digesteur et composé d'environ 50 % à 70 % de méthane (CH₄), de 20 % à 50 % de gaz carbonique (CO₂) et de quelques gaz traces (NH₃, N₂, H₂S). Le biogaz a un pouvoir calorifique inférieur (PCI) de 5 à 7 kWh/Nm³. Cette énergie renouvelable peut être utilisée sous forme de combustible pour la production d'électricité et de chaleur, de production d'un carburant, ou d'injection dans le réseau de gaz naturel après épuration.

Quatre secteurs sont favorables au développement de cette technique : agricole, industriel, déchets domestiques et boues urbaines. Source ADEME.

ANNEXE B : Les avantages du méthane produit par biométhanisation [5]



Renouvelable

- Produit à partir de matières organiques
- Contribue à l'atteinte des objectifs de réduction des émissions de GES



Interchangeable

- Se substitue au gaz naturel conventionnel
- Permet de capitaliser sur les réseaux de distribution actuels



Économique

- Génère des revenus pour les détenteurs de gisements de matière organique
- S'inscrit dans l'économie circulaire, en créant de la richesse à partir de matières résiduelles



Local

- Crée des emplois non délocalisables en région
- Améliore la balance commerciale en réduisant l'achat d'énergie hors Québec

ANNEXE C : Matière organique à considérer dans une vision complète

- Effluents d'élevage
- Déchets agricoles
- Effluents agroalimentaires
- Déchets verts (tonte)
- Biodéchets gros producteurs
- Biodéchets domestiques
- Boues de stations d'épuration

ANNEXE D : Qu'est-ce que la méthanation

La méthanation consiste à produire du méthane en mettant en contact du dioxyde de carbone et de l'hydrogène via le principe de l'électrolyse, c'est-à-dire grâce à une activation électrique du processus de transformation. Cette réaction chimique n'existe pas à l'état naturel et provient d'un processus 100% industriel. Elle produit de l'eau, du méthane, mais également de la chaleur.

ANNEXE E : Exemple d'un bilan régional explicitant le potentiel méthanogène de la matière organique. Le cas de l'Alsace.

Source biblio	MS /MB			MO/MS			Biogaz à 60 % de CH4			Biogaz à 60 % de CH4					
	%			%			(m ³ /t MOS)			(m ³ /t MB)					
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	2	3
Substrat	min	moy	max	min	moy	max	min	moy	max	min	moy	max			
Effluents élevage															
Fientes volailles	7	13,9	35	70	75,0	80	250	464	620	12	48,4	174			
Fumier mouton	20	26,7	30	75	80,0	90	400	566	750	60	120,9	203	99		
Fumier bovin	12	19,5	40	65	78,6	85	200	277	450	16	42,5	153		77	
Fumier porc	20	22,5	25	75	87,0	90	260	355	450	39	69,5	101			
fumier équin	28	28,0	28	25	53,6	75	200	390	580	14	58,5	122	74		
Lisier bovin	6	8,7	17	44	78,8	86	150	341	400	4	23,4	58		25	
Lisier porc	2	5,8	13	52	76,0	85	260	426	550	3	18,8	61		36	
Lisier volailles	10	16,9	29	75	76,6	77	200	415	480	15	53,7	107	44		
Autre biomasse agricole															
Ensilage maïs	30	31,5	35	90	92,5	95	600	623	750	162	181,5	249		170	294
Ensilage herbe	25	41,5	82	67	82,6	98	450	571	810	75	195,7	651	211		
Herbe fauchée	22		37	80	88,0	95	280	536	700	49	100,0	245		100	
Trèfle fauché	20	20,0	20	80	80,0	80	400	438	800	64	70,1	128		97	
Fanes PdT	25	25,0	25	79	79,0	79	280	619	890	55	122,3	176	109		
feuilles betteraves	15	16,3	18	78	78,7	80	400	505	730	47	64,8	105	59		
Paille	85	87,5	90	85	87,0	89	250	338	600	181	257,3	481			
Paille céréales	75	85,9	90	85	87,0	89	180	458	730	115	342,3	585	342		
Pailleavoine					93,0		290	363	400	-	0,0	-			
Paille blé		85,0			90,0		200	364	500	-	278,5	-			
Paille colza							200	264	354	-	0,0	-			
Paille maïs	86	86,0	86	72	92,0		350	690	1050	217	545,9	-		199	
Paille orge					93,8		250	340	388	-	0,0	-			
Paille seigle					59,4		200	356	500	-	0,0	-			
Rafles maïs															327
Colza plante entière											108,0			108	
Raygras plante entière											134,0			134	
Maïs plante entière											165,0			165	
Sorgho plante entière											231,0			231	
Orge plante entière											140,0			140	
Blé plante entière											240,0			237	
Déchets IAA															
Contenu tube digestif	11	14,4	19	80	83,2	90	250	374	500	22	44,8	86	84	63	
Déchets légumes	4	14,9	25	76	76,8	90	300	468	650	9	53,6	146		51	
Drêches brasseries	15	20,2	25	66	81,8	95	370	472	700	37	78,0	166	62		
Graisse abattoir	2	32,3	70	77	92,5	99	700	1050	1800	11	313,7	1 109	400		
Gruau de colza	65	82,3	88		93,0		400	475	600	-	363,6	-			
Lactosérum	4,3	5,4	6,5	80	90,5	95	800	850	900	28	41,5	56			
Mélasse	80	80,0	80	95	95,0	95	420	450	480	319	342,0	365		469	
Pulpes pommes	2	2,8	4	94	94,8	95	330	418	530	6	11,1	19	31		
Pulpes PdT	12	13,6	15	90	90,0	90	250	368	550	27	45,0	74			
Résidus de distillation	25	37,5	50	30	85,8	95	350	520	700	26	167,3	333	80		
Tripes pressées	20	31,0	45		90,0			500		-	139,5	-			
Terres de blanchiment															403
Fruits broyés	40		50	30		93				-	0,0	-			
Déchets des collectivités															
Graisses flottation															400
Boues STEP	4	16,3	50	38	86,1	98	240	673	1200	3	94,5	588		22	
Déchets de table	9	15,9	37	75	91,1	98	550	683	900	37	98,9	326		220	
Biodéchets ménages	28	59,1	75	30	49,2	70	200	500	900	17	145,4	473	115		
Feuilles		85,0			82,0		210	458	660	-	319,2	-	279		
Graisses usagées	2	42,1	70	39	77,0	96	1000	1300	1800	8	421,4	1 075		600	
Lâche fauchée	30	34,7	37	93	93,7	95	800	805	810	223	261,7	285			
Tontes pelouse	12	30,7	42	87	90,0	93	280	662	970	29	182,9	379			86

Sources bibliographiques:

1 = Bureau d'études IRCO Sprl - Vade mecum technique et administratif Région Wallonne

2 = Fachverband Biogas - DE

3 = ADAESO - FR

4 = Parc Naturel régional de Lorraine / INPL - Mémoire de stage de Michael Drexhage, Analyse de 28 références bibliographiques, Développement du biogaz dans les exploitations agricoles au sein du PNRL.

ANNEXE F : Répartition du potentiel technico-économique de production de méthane renouvelable (toutes sources confondues)

Répartition du potentiel technico-économique de production de GNR par région administrative et par gisement
 En millions de m³, en %

	Agricole	%	Municipal et ICI	%	Forestier	%	Total par région	%
1- Bas-Saint-Laurent	-	-	0,9	0%	65,8	2%	66,7	2%
2- Saguenay-Lac-Saint-Jean	-	-	8,6	2%	1153,1	37%	1161,7	30%
3- Capitale-Nationale	-	-	7,2	2%	48,1	2%	55,3	1%
4- Mauricie	14,6	4%	13,9	4%	325,7	11%	354,3	9%
5- Estrie	5,8	1%	2,3	1%	57,1	2%	65,1	2%
6- Montréal	-	-	31,7	9%	73,4	2%	105,1	3%
7- Outaouais	-	-	3,6	1%	42,4	1%	46	1%
8- Abitibi-Témiscamingue	-	-	4,4	1%	246,9	8%	251,3	7%
9- Côte-Nord	-	-	4,1	1%	205,7	7%	209,8	5%
10- Nord-du-Québec	-	-	-	-	345,6	11%	345,6	9%
11- Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	-	-	4,2	1%	130,9	4%	135,2	4%
12- Chaudière-Appalaches	16,3	4%	15,2	4%	134,9	4%	166,4	4%
13- Laval	-	-	5,5	2%	19,3	1%	24,8	1%
14- Lanaudière	30	7%	86,7	25%	68,4	2%	185,1	5%
15- Laurentides	11,7	3%	88,6	25%	135	4%	235,3	6%
16- Montérégie	290,2	70%	35,9	10%	23,2	1%	349,3	9%
17- Centre-du-Québec	48,4	12%	35,8	10%	13,7	0%	97,9	3%
Total par catégorie	417	100%	348,6	100%	3089,3	100%	3854,9	100%

Sources : Énergir, WSP-Deloitte, Analyse Aviseo Conseil

Source [9]

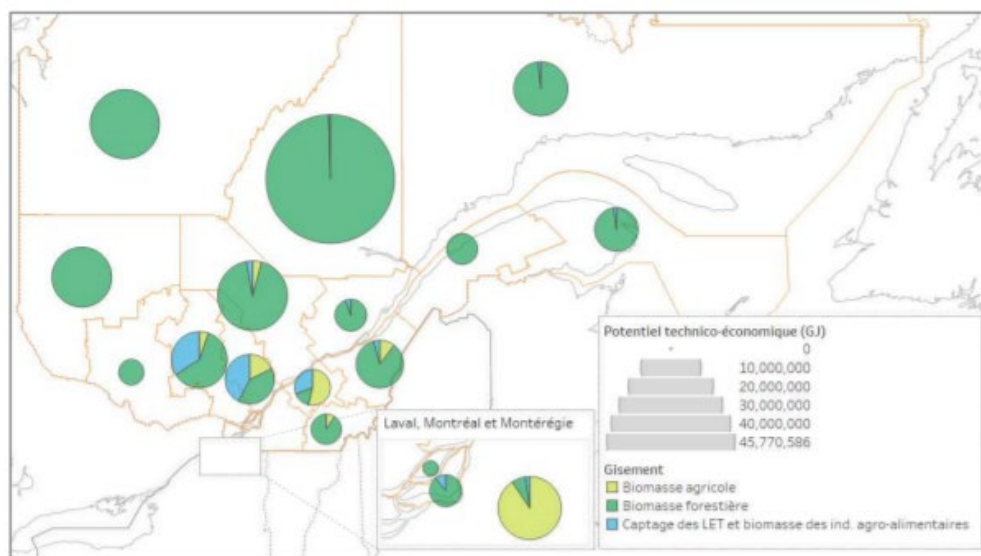


Figure 8 : Répartition du potentiel technico-économique de GNR dans les régions du Québec (2030)

Source [4]

Références

- [1] ecologie.gouv.fr/biogaz, consulté 2022-01-20
- [2] Laflamme, C.B., 2007, Valorisation énergétique des matières résiduelles, LTE_RT-2007-014., 120 p
- [3] SOLINOV, Portrait du gisement de résidus organiques de l'industrie agroalimentaire au Québec et estimation des aliments consommables gérés comme des résidus par les ICI de la filière de l'alimentation, 2013
- [4] RECYC-QUÉBEC, Bilan, Section les matières organiques, 2018, 9 p.
- [5] Production québécoise de gaz naturel renouvelable (GNR) : un levier pour la transition énergétique Évaluation du potentiel technico-économique au Québec (2018-2030), 2018
- [6] PLURITEC, Le biogaz raffiné en biométhane pour les véhicules : un excellent moyen de réduire les GES au Québec, 2013
- [7] ADEME, Tri à la source et collecte séparée des biodéchets, synthèse thématique, 2020, 19 p.
- [8] ADEME, Méthanisation : analyse des potentiels industriels et économiques en France, ENEA Consulting, 2020
- [9] AVISEO, La filière de production de gaz naturel renouvelable au Québec : impacts économiques à l'horizon 2030 et contribution à l'économie circulaire, 2019.

Bibliographie

Méthanisation par DA

- [10] Abbassi-Guendouz, Amel. 2012. « Lien entre paramètres opératoires, microorganismes et performances de la digestion anaérobie par voie sèche ». INRA, 179 p.
- [11] Adjallé, Kokou D, Alexandre Moreau, Jean-Claude Frigon, Serge R Guiot et Simon Barnabé. 2012. « Prétraitement des résidus de la collecte à 3 voies pour améliorer leur biométhanisation ». Vecteur Environnement, vol. 45, no 4, p. 54.
- [12] APHA. 2012. « Standard methods for the examination of water and wastewater ». American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA.
- [13] Arras, W, A Hussain, R Hausler et SR Guiot. 2019. « Mesophilic, thermophilic and hyperthermophilic acidogenic fermentation of food waste in batch: Effect of inoculum source ». Waste Management, vol. 87, p. 279-287.
- [14] Fongsatitkul, Prayoon, Panagiotis Elefsiniotis et David G Wareham. 2012. « Two-phase anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: estimation of methane production ». Waste Management & Research, vol. 30, no 7, p. 720-726.
- [15] Guerrero, L., F. Omil, R. Méndez et J. M. Lema. 1999. « Anaerobic hydrolysis and acidogenesis of wastewaters from food industries with high content of organic solids and protein ». Water Research, vol. 33, no 15, p. 3281-3290.
- [16] He, Manni, Yanbin Sun, Dexun Zou, Hairong Yuan, Baoning Zhu, Xiujin Li et Yunzhi Pang. 2012. « Influence of temperature on hydrolysis acidification of food waste ». Procedia Environmental Sciences, vol. 16, p. 85-94.
- [17] Juanga, Jeanger P. 2005. « Optimizing dry anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste ». Asian Institute of Technology.
- [18] Komemoto, K., Y. G. Lim, N. Nagao, Y. Onoue, C. Niwa et T. Toda. 2009. « Effect of temperature on VFA's and biogas production in anaerobic solubilization of food waste ». Waste Management, vol. 29, no 12, p. 2950-2955.
- [19] Kumar, Atul, et SR Samadder. 2020. « Performance evaluation of anaerobic digestion technology for energy recovery from organic fraction of municipal solid waste: A review ». Energy, vol. 197, p. 117253.
- [20] Kumar, Jha Ajay, Li Jianzheng, He Junguo et Chang Sheng. 2010. « Optimization of dry anaerobic fermentation of solid organic wastes ». In 2010 International Conference of Environment Materials and Environment Management, EMEM 2010, July 24, 2010 - July 25, 2010. (Harbin, China) Vol. 113-116, p. 740-743. Coll. « Advanced Materials Research »: Trans Tech Publications.

- [21] Lacroix, Nicolas, Daniel R Rouse et Robert Hausler. 2014. « Anaerobic digestion and gasification coupling for wastewater sludge treatment and recovery ». *Waste management & research*, vol. 32, no 7, pp. 608-613.
- [22] Lee, Hyung-Sool, et Bruce E Rittmann. 2009. « Evaluation of metabolism using stoichiometry in fermentative biohydrogen ». *Biotechnology and bioengineering*, vol. 102, no 3, pp. 749-758.
- [23] Lee, Myungyeol, Taira Hidaka, Wataru Hagiwara et Hiroshi Tsuno. 2009. « Comparative performance and microbial diversity of hyperthermophilic and thermophilic co-digestion of kitchen garbage and excess sludge ». *Bioresource Technology*, vol. 100, no 2, pp. 578-585.
- [24] Lee, Myungyeol, Taira Hidaka et Hiroshi Tsuno. 2008. « Effect of temperature on performance and microbial diversity in hyperthermophilic digester system fed with kitchen garbage ». *Bioresource Technology*, vol. 99, no 15, pp. 6852-6860.
- [25] Lee, Wee Shen, Adeline Seak May Chua, Hak Koon Yeoh et Gek Cheng Ngoh. 2014. « A review of the production and applications of waste-derived volatile fatty acids ». *Chemical Engineering Journal*, vol. 235, pp. 83-99.
- [26] Li, Yebo, Stephen Y Park et Jiyang Zhu. 2011. « Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste ». *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 15, no 1, p. 821-826.
- [27] Mata-Alvarez, Joan. 2003. *Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes*. IWA publishing. pp 317
- [28] Mumme, Jan, Bernd Linke et Rainer Tolle. 2010. « Novel upflow anaerobic solid-state (UASS) reactor ». *Bioresource Technology*, vol. 101, no 2, pp. 592-599.
- [29] Pramanik, Sagor Kumar, Fatimah Binti Suja, Shahrom Md Zain et Biplob Kumar Pramanik. 2019. « The anaerobic digestion process of biogas production from food waste: Prospects and constraints ». *Bioresource Technology Reports*, vol. 8, p. 100310.
- [30] Rouez, Maxime. 2008. « Dégradation anaérobie de déchets solides: caractérisation, facteurs d'influence et modélisations ». *L'institut nationale des sciences appliquées de Lyon*, 259 p.
- [31] Scherer, P. A., G. R. Vollmer, T. Fakhouri et S. Martensen. 2000. « Development of a methanogenic process to degrade exhaustively the organic fraction of municipal 'grey waste' under thermophilic and hyperthermophilic conditions ». *Water Science and Technology*, vol. 41, no 3, p. 83-91.
- [32] Wang, Feng, Taira Hidaka et Jun Tsumori. 2014. « Enhancement of anaerobic digestion of shredded grass by co-digestion with sewage sludge and hyperthermophilic pretreatment ». *Bioresource technology*, vol. 169, pp. 299-306.
- [33] Wu, Li-Jie, Atsushi Higashimori, Yu Qin, Toshimasa Hojo, Kengo Kubota et Yu-You Li. 2016. « Comparison of hyper-thermophilic-mesophilic two-stage with single-stage mesophilic anaerobic digestion of waste activated sludge: process performance and microbial community analysis ». *Chemical Engineering Journal*, vol. 290, pp. 290-301.
- [34] Xie, S., P. G. Lawlor, J. P. Frost, G. Wu et X. Zhan. 2012. « Hydrolysis and acidification of grass silage in leaching bed reactors ». *Bioresource Technology*, vol. 114, no 0, pp. 406-413.
- [35] Xu, Su Yun, Obuli P Karthikeyan, Ammaiyappan Selvam et Jonathan WC Wong. 2012. « Effect of inoculum to substrate ratio on the hydrolysis and acidification of food waste in leach bed reactor ». *Bioresource technology*, vol. 126, pp. 425-430.
- [36] Xu, Su Yun, Hoi Pui Lam, O Parthiba Karthikeyan et Jonathan WC Wong. 2011. « Optimization of food waste hydrolysis in leach bed coupled with methanogenic reactor: effect of pH and bulking agent ». *Bioresource technology*, vol. 102, no 4, pp. 3702-3708.
- [37] Zhang, Bo, Pin-jing He, Fan Lü, Li-ming Shao et Pei Wang. 2007. « Extracellular enzyme activities during regulated hydrolysis of high-solid organic wastes ». *Water Research*, vol. 41, no 19, pp. 4468-4478.

Méthanation

- [38] Baena-Moreno, F.M., le Saché, E., Hurd Price, C.A., Reina, T.R., Navarrete, B. (2021). From biogas upgrading to CO₂ utilization and waste recycling: A novel circular economy approach. *Journal of CO₂ Utilization*, 47, 101496. doi: 10.1016/j.jcou.2021.101496
- [39] Rafiee, A., Khalilpour, K.R. (2018). Trends in CO₂ conversion and utilization: A review from process systems perspective. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6, 5771-5794.

- doi: 10.1016/j.jece.2018.08.065 Kapoor, R., Ghosh, P., Tyagi, B., Vijay, V.K., Vijay, V., Thakur, I.S., Kamyab, H., Nguyen, D.D.,
- [40] Kumar, A. (2020). Advances in biogas valorization and utilization systems: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 273, 123052. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123052
- [41] Yaashikaa, P.R., Kumar, P.S., Varjani, S.J., Saravanan, A. (2019). A review of photochemical, biochemical and electrochemical transformation of CO₂ into value-added products. *Journal of CO₂ Utilization*, 33, 131-147. doi: 10.1016/j.jcou.2019.05.017
- [42] Pastor-Pérez, L., Patel, V., Le Saché, E., Reina, T.R. (2019). CO₂ methanation in the presence of methane: Catalysts design and effect of methane concentration in the reaction mixture. *Journal of the Energy Institute*, 93, 415-424. doi: 10.1016/j.joei.2019.01.015
- [43] Stangeland, K., Kalai, D.Y., Li, H., Yu, Z. (2017). Active and stable Ni bases catalysts and processes for biogas upgrading: The effect of temperature and initial methane concentration on CO₂ methanation. *Applied Energy*, 227, 206-212. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.08.080
- [44] Fan, W.K., Tahir, M. (2021). Recent trends in developments of active metals and heterogeneous materials for catalytic CO₂ hydrogenation to renewable methane: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9, 105460. doi: 10.1016/j.jece.2021.105460
- [45] Siakavelas, G.I., Charisiou, N.D., Alkhoori, A., Alkhoori, S., Sebastian, V., Hinder, S.J., Baker, M.A., Yentekakis, I.V., Polychronopoulou, K., Goula, M.A. (2021). Highly selective and stable Ni/La-M (M=Sm, Pr, and Mg)-CeO₂ catalysts for CO₂ methanation. *Journal of CO₂ Utilization*, 51, 101618. doi: 10.1016/j.jcou.2021.101618
- [46] Ravanchi, M.T., Sahebdehfar, S. (2020). Catalytic conversion of CO₂ to help mitigate climate change: Recent process developments. *Process Safety and Environmental Protection*, 145, 172-194. doi: 10.1016/j.psep.2020.08.003
- [47] Olajire, A. (2013). Valorization of greenhouse carbon dioxide emissions into value-added products by catalytic processes. *Journal of CO₂ Utilization*, 3-4, 74-92. doi: 10.1016/j.jcou.2013.10.004
- [48] Daneshvar, E., Wicker, R.J., Show, P-L., Bhatnagar, A. (2021). Biologically-mediated carbon capture and utilization by microalgae towards sustainable CO₂ biofixation and biomass valorization – A review. *Chemical Engineering Journal*, 427, 130884. doi: 10.1016/j.cej.2021.130884
- [49] Cuéllar-Franca, R.M., Azapagic, A. (2014). Carbon capture, storage and utilization technologies: A critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts. *Journal of CO₂ Utilization*, 9, 82-102. doi: 10.1016/j.jcou.2014.12.001
- [50] Dindi, A., Quang, D.V., Vega, L.F., Nashef, E., Abu-Zahra, M. R.M. (2018). Applications of fly ash for CO₂ capture, utilization, and storage. *Journal of CO₂ Utilization*, 29, 82-102. doi: 10.1016/j.jcou.2018.11.011
- [51] Jack, J., Lo, J., Donohue, B., Maness, P-C., Ren, Z.J. (2020). High rate CO₂ valorization to organics via CO mediated silica nanoparticle enhanced fermentation. *Applied Energy*, 279, 115725. doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115725
- [52] Rodin, V., Lindorfer, J., Böhm, H., Vieira, L. (2020). Assessing the potential of carbon dioxide valorisation in Europe with focus on biogenic CO₂. *Journal of CO₂ Utilization*, 41, 101219. doi: 10.1016/j.jcou.2020.101219