

2011

Identification de scénarios de valorisation des matières résiduelles critiques aux Îles-de-la-Madeleine

Rapport de stage en gestion des matières résiduelles

Charles LÉGARÉ BILODEAU

En collaboration avec Durbecq T., Thibodeau M., Tita G.

Québec 

Avec la participation de :
• Ministère des Affaires municipales, des Régions
et de l'Occupation du territoire
• Ministère du Développement économique,
de l'Innovation et de l'Exportation

Partenaires financiers



**Municipalité des
Îles-de-la-Madeleine**



CRÉGÎM
CONFÉRENCE RÉGIONALE DES ÉLUS
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine

Identification de scénarios de valorisation des matières résiduelles critiques aux Îles-de-la-Madeleine

Rapport de stage en gestion des matières résiduelles

Charles LÉGARÉ BILODEAU

En collaboration avec Thibaud DURBECQ, Mayka THIBODEAU et Guglielmo TITA

¹Centre de recherche sur les milieux insulaires et maritimes (CERMIM)
Université du Québec à Rimouski
37, chemin Central
C.P. 2280, Havre-aux-Maisons
Îles-de-la-Madeleine (Québec) Canada G4T 5P4
Courriel : cermim@uqar.qc.ca

Août 2011

Ce document doit être cité comme suit :

Légaré Bilodeau C., Durbecq T., Thibodeau M., Tita G. (2011). *Identification de scénarios de valorisation des matières résiduelles critiques aux Îles-de-la-Madeleine*. Rapport de stage en gestion des matières résiduelles, Centre de recherche sur les milieux insulaires et maritimes (CERMIM), Îles-de-la-Madeleine (Québec), viii, 76 p. + annexe.

Identification de scénarios de valorisation des matières résiduelles critiques aux Îles-de-la-Madeleine

S'il n'y a pas de solution, c'est qu'il n'y a pas de problème
Proverbe Shadok

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un stage en gestion des matières résiduelles comme exigence de fin d'études de baccalauréat en génie des eaux à l'Université Laval, à l'été 2011.

Elle a été rendue possible grâce à l'appui financier du programme des Laboratoires ruraux du ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT), du ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE), de la Conférence régionale des élus Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine (CRÉGÎM), de la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine, du programme Emplois d'Été Canada 2011 de Services Canada et de la fondation communautaire Gaspésie-Les Îles.

Le premier auteur tient à remercier vivement toute l'équipe du CERMIM pour son soutien tout au long de la réalisation de l'étude. Le milieu de travail intéressant a grandement favorisé la réalisation du stage.

Un remerciement particulier est adressé au personnel de la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine dont la collaboration a été très appréciée.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	IV
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
LISTE DES FIGURES.....	VII
AVANT-PROPOS.....	VIII
1. INTRODUCTION	1
1.1 Mise en contexte	1
1.2 Objectifs du rapport.....	1
1.3 Mise en garde	1
2. MÉTHODOLOGIE	2
2.1 Les matières résiduelles critiques.....	2
2.2 Canevas d'identification	2
2.3 La recherche de scénarios	2
3. IDENTIFICATION DE SCÉNARIOS DE VALORISATION	3
3.1 Description des matières critiques.....	3
3.1.1 Carapaces de homards et de crabes.....	3
3.1.2 Coquilles.....	3
3.1.3 Bardeaux d'asphalte.....	3
3.1.4 Bois et branches.....	4
3.1.5 Papier et carton	4
3.1.6 Cendres.....	4
3.2 Liste exhaustive des scénarios de valorisation identifiés	4
4. DESCRIPTION DES SCÉNARIOS DE VALORISATION	8
4.1 Carapaces de homards et de crabes.....	8
4.1.1 Chitine	8
4.1.2 Bioséchage.....	12
4.1.3 Biométhanisation.....	15
4.1.4 Compostage.....	17
4.1.5 Poudres et carapaces sèches.....	20
4.1.6 Gazéification.....	23
4.1.7 Incinération.....	25
4.1.8 Pyrolyse.....	28
4.1.9 Enrichisseur de moulée pour animaux	30
4.2 Coquilles	32
4.2.1 Amendement	32
4.2.2 Construction de chemins.....	34
4.2.3 Fabrication de chaux	34
4.2.4 Enrichisseur de moulée pour animaux.....	38
4.2.5 Béton de coquillage.....	38
4.2.6 Collecteurs en conchyliculture.....	40

4.2.7 Valorisation artistique.....	42
4.3 Bardeaux d'asphalte	44
4.3.1 Incorporation dans les enrobés bitumineux.....	44
4.3.2 Construction de chemins.....	47
4.3.3 Incorporation aux enrobés de rapiéçage.....	49
4.3.4 Gazéification.....	51
4.3.5 Incinération.....	51
4.3.6 Pyrolyse.....	51
4.4 Bois et branches	52
4.4.1 Chaudière à biomasse	52
4.4.2 Paillis horticole	57
4.4.3 Copeaux enrichisseurs de compost	58
4.4.4 Fabrication de briquettes, de bûches et de granules	59
4.4.5 Litière et absorbant.....	61
4.4.6 Fabrication de divers matériaux	62
4.4.7 Charbon de bois.....	64
4.4.8 Construction de chemins.....	67
4.4.9 Gazéification.....	67
4.4.10 Incinération.....	67
4.5 Papier et carton	68
4.5.1 Chaudières à biomasse.....	68
4.5.2 Ensemencement hydraulique.....	68
4.5.3 Ouate de cellulose.....	70
4.5.4 Compostage.....	72
4.5.5 Fabrication de bûchettes.....	72
4.5.6 Pyrolyse.....	72
4.5.7 Gazéification.....	72
4.5.8 Incinération.....	72
4.6 Cendres	73
4.6.1 Actions à entreprendre pour cibler les scénarios de valorisation.....	73
4.6.1 Actions entreprises aux Îles-de-la-Madeleine	73
5. DISCUSSION SUR LES SCÉNARIOS IDENTIFIÉS.....	76
5.1 Carapaces de homards et de crabes	76
5.2 Coquilles	76
5.3 Bardeaux d'asphalte	77
5.4 Bois et branches	77
5.5 Papier et carton	77
5.6 Cendres	77
CONCLUSION.....	77
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	79
ANNEXE	82

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des scénarios de valorisation identifiés.....	4
---	---

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Avenues de valorisation des cendres selon les catégories de matériaux	75
Figure 2 : Exemples de carapaces de crabes et homards séchées	82
Figure 3 : Profil nutritionnel de la farine de crabe	83
Figure 4 : Profil nutritionnel de la farine de homard	84

VERSION PRÉLIMINAIRE

AVANT-PROPOS

Le traitement des matières résiduelles est source de nombreuses recherches et avancées technologiques. En effet, les quantités de matières résiduelles produites à l'échelle planétaire sont en croissance, année après année. La recherche de scénarios de valorisation des matières résiduelles tente d'optimiser les processus de gestion de ces dernières. Cette approche vise, dans un contexte de développement durable, à minimiser l'effort d'élimination et à maximiser la valorisation des matières résiduelles.

La valorisation des matières résiduelles consiste à redonner de la valeur aux déchets par des opérations spécifiques. D'après la Loi sur la qualité de l'environnement du Québec, la valorisation des matières résiduelles se définit comme « toute opération visant le réemploi, le recyclage, le compostage, la récupération ou par toute autre action qui ne constitue pas l'élimination, à obtenir à partir de matières résiduelles des éléments ou des produits utiles ou de l'énergie. »¹.

L'objectif du présent rapport est de proposer divers scénarios de valorisation des matières résiduelles applicables dans un contexte insulaire. Il porte plus spécifiquement sur des matières résiduelles considérées problématiques aux Îles-de-la-Madeleine.

Une multitude de facteurs doivent être pris en compte lors de l'identification de scénarios de valorisation des matières résiduelles. Aux Îles-de-la-Madeleine, des paramètres spécifiques tels la fragilité du milieu, l'éloignement des centres de recyclages et des sites d'enfouissements, les coûts de transports, etc. doivent évidemment être pris en compte lors d'analyses. De plus, le contexte insulaire peut favoriser ou contraindre certaines approches relativement à d'autres.

La production de ce rapport s'est basée surtout sur une revue de littérature sur les scénarios de valorisation des matières résiduelles pertinentes. Une analyse technico-économique approfondie permettrait de compléter et de valider les informations fournies avant de procéder à l'application d'un scénario de valorisation spécifique.

¹ Hiérarchie des modes de gestion des matières résiduelles et reconnaissance d'opération de traitement en tant que valorisation énergétique : [en ligne]
[<http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/regime-compensation/hierarchie-modesgmr.pdf>]
(Consulté le 1er août 2011).

1. INTRODUCTION

1.1 Mise en contexte

Le présent rapport s'inscrit dans le programme du Laboratoire Rural de la municipalité des Îles-de-la-Madeleine ayant pour titre « *Gestion intégrée des Matières résiduelles aux Îles-de-la-Madeleine : Augmentation de l'autonomie par le développement de filières novatrices* », dont le Centre de recherche sur les milieux insulaires et maritimes (CERMIM) a été mandaté pour la coordination et la réalisation des activités.

L'incinération des matières résiduelles aux Îles-de-la-Madeleine a pris fin en août 2008, suite à la dégradation de l'état de l'incinérateur et du problème récurrent de gestion des cendres d'incinération. Conséquemment, depuis octobre 2008, les matières résiduelles ultimes et recyclables sont exportées à Victoriaville par la Société de développement durable d'Arthabaska (SDDA). Les matières putrescibles continuent à être valorisées localement par un processus de compostage.

Cette étude s'inscrit dans les objectifs relatifs à l'acquisition de connaissances du Plan d'action 2010-2014 du Laboratoire Rural².

1.2 Objectifs du rapport

Ce rapport a pour objectif de présenter une revue des scénarios de valorisation des matières résiduelles critiques dans le contexte insulaire des Îles-de-la-Madeleine. Les secteurs critiques ont été définis en partenariat avec la municipalité des Îles-de-la-Madeleine. Les scénarios présentés permettent au lecteur d'avoir une synthèse des opportunités de valorisation des matières ciblées.

1.3 Mise en garde

L'information contenue dans ce rapport est fournie à titre informatif seulement et n'engage aucunement la responsabilité des auteurs, du CERMIM et de la Municipalité des Îles-de-la-

² Plan d'action 2010-2014 : Laboratoire rural : « *Gestion intégrée des Matières résiduelles aux Îles-de-la-Madeleine : Augmentation de l'autonomie par le développement de filières novatrices* », [en ligne] [http://www.muniles.ca/images/Upload/6_laboratoire_rural/pa_lab_01-04-2011.pdf] (Consulté le 10 août 2011).

Deleted: :

Madeleine. Dans tous les cas, les services de professionnel doivent être utilisés pour permettre une analyse approfondie des scénarios présentés.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1 Les matières résiduelles critiques

Les matières résiduelles critiques ont été définies en partenariat avec la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine et le CERMIM. Ce sont des matières jugées problématiques pour le centre de gestion de matières résiduelles (CGMR) des Îles-de-la-Madeleine et dont le potentiel de valorisation semble intéressant. Ces matières sont (1) les carapaces de homards et de crabes, (2) les coquilles, (3) les bardeaux d'asphalte, (4) le bois et les branches (5) le papier et le carton, et (6) la cendre.

2.2 Canevas d'identification

Un canevas a été établi afin d'uniformiser les critères d'identification des scénarios de valorisation des matières résiduelles. La méthodologie adoptée vise à faciliter la lecture et à procurer une idée générale des différents scénarios. Le canevas d'identification est composé comme suit :

- Description schématique
- Fonctionnement
- Nature des intrants
- Nature des extrants
- Possibilités de valorisation des extrants
- Aspects économiques
- Aspects environnementaux
- Degré de développement technologique
- Références d'application
- Conclusion

2.3 La recherche de scénarios

Dans le but de cibler les opportunités de valorisation des matières résiduelles critiques adaptées au contexte des Îles-de-la-Madeleine, une étude bibliographique a été réalisée. La recherche a débuté par la consultation de publications universitaires, de sites internet et de diverses

documentations sur la valorisation des matières résiduelles. Des contacts avec des entreprises œuvrant dans le domaine ont aussi été réalisés. À priori, tous les scénarios potentiellement applicables dans un milieu insulaire ont été identifiés en faisant abstraction des différents degrés de complexité de mise en œuvre des technologies.

3. IDENTIFICATION DE SCÉNARIOS DE VALORISATION

3.1 Description des matières critiques

La section suivante décrit sommairement toutes les matières résiduelles ciblées. Les quantités ainsi que le mode de gestion actuel de chacune des matières sont présentés.

3.1.1 Carapaces de homards et de crabes

Les carapaces de homards et de crabes comptent pour environ 1 300 tonnes par année à raison de 60 % et 40 % en masse respectivement³. Ces résidus proviennent des entreprises de transformation des produits de la mer et sont apportés au centre de gestion des matières résiduelles (CGMR) par les industries elles-mêmes. Les apports sont donc facilement isolables des autres matières si nécessaire à un éventuel scénario de valorisation. Actuellement, les carapaces sont compostées en système ouvert avec d'autres matières putrescibles.

3.1.2 Coquilles

Environ 25 tonnes par année de coquilles en provenance des industries de transformation des produits de la mer sont acheminées au CGMR. Les coquilles sont composées principalement de coquillages de palourdes, de pétoncles, de buccins, de couteaux, de mactres, de burgos, de moules et de myes. Présentement, certaines coquilles se retrouvent dans le compost et d'autres sont entreposés à l'extérieur en vue d'une éventuelle valorisation.

3.1.3 Bardeaux d'asphalte

Le bardeau d'asphalte compte pour environ 300 tonnes par année². Ce sont des bardeaux de postconsommation provenant principalement de la rénovation de toitures. En ce moment, ces matières sont entreposées à l'extérieur au centre de gestion des matières résiduelles.

³ Estimation CERMIM, 2011.

3.1.4 Bois et branches

Les apports de bois et de branches sont d'environ 600 et 50 tonnes par année respectivement. Une part significative du bois peut être qualifiée de résidu de construction, rénovation et démolition (CRD). Le bois et les branches sont entreposés à l'extérieur au CGMR. En effet, environ 6 000 tonnes de bois sont accumulées en vue d'une éventuelle valorisation.

3.1.5 Papier et carton

Les apports exclusifs de papier et de carton sont d'environ 160 tonnes par année. De plus, d'autres apports ponctuels et indépendants de papiers purs et déchetés comptent pour 15 tonnes par année. À ces quantités, la collecte municipale du recyclage ajoute 1 400 tonnes de papier et carton annuellement. Au total, environ 1575 tonnes de papier et de carton sont reçues annuellement. Ces matières sont compactées et envoyées à des sites de recyclages extérieurs par la SDDA.

3.1.6 Cendres

Les cendres proviennent des activités d'incinération des matières résiduelles de 1994 à 2008 (Thibodeau et coll., 2010). Elles sont constituées principalement de cendres de grilles auxquelles ont été mélangées des cendres volantes. Environ 15 000 tonnes de cendres sont entreposées sur le terrain du CGMR des Îles-de-la-Madeleine sur une surface étanche.

3.2 Liste exhaustive des scénarios de valorisation identifiés

Le tableau suivant présente un sommaire de tous les scénarios de valorisation des matières résiduelles critiques identifiées.

Tableau 1 : Liste des scénarios de valorisation identifiés

Matières critiques	Scénarios de valorisation
Carapaces de homards et de crabes	Chitine
	Bioséchage
	Biométhanisation
	Compostage
	Poudres et carapaces sèches
	Gazéification

	Incinération
	Pyrolyse
	Enrichisseur de moulée pour animaux

VERSION PRÉLIMINAIRE

Matières critiques	Scénarios de valorisation
Coquilles	Amendement
	Construction de chemins
	Fabrication de chaux
	Enrichisseur de moulée pour animaux
	Béton de coquillages
	Collecteurs en conchyliculture
	Valorisation artistique
Bardeaux d'asphalte	Incorporation aux enrobés bitumineux
	Construction de chemins
	Incorporation aux enrobés de rapiéçage
	Gazéification
	Incinération
	Pyrolyse
Bois et branches	Chaudière à biomasse
	Paillis horticole
	Copeaux enrichisseurs de compost
	Fabrication de briquettes, de bûches et de granules
	Litière et absorbants
	Fabrication de divers matériaux
	Construction de chemins
	Charbon de bois
	Pyrolyse
	Gazéification
	Incinération

Matières critiques	Scénarios de valorisation
Papier et carton	Chaudière à biomasse
	Ensemencement hydraulique
	Ouate de cellulose
	Compostage
	Fabrication de bûchette
	Pyrolyse
	Gazéification
	Incinération
Cendres	Scénarios variables en fonction des catégories de matériaux

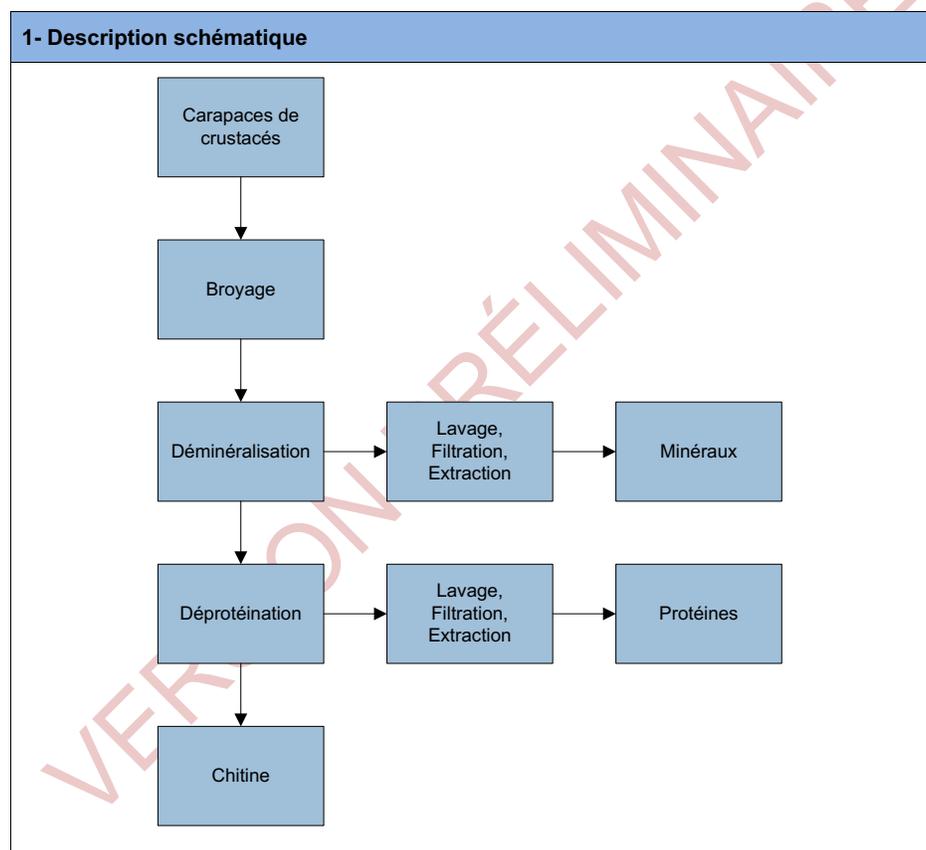
VERSION PRÉLIMINAIRE

4. Description des scénarios de valorisation

Cette section décrit chacun des scénarios de valorisation en fonction du canevas d'identification préalablement défini. Les sous-sections sont divisées selon les matières résiduelles critiques.

4.1 Carapaces de homards et de crabes.

4.1.1 Chitine



2- Fonctionnement

La chitine, $C_8H_{13}NO_5$, est l'un des principaux constituants de l'exosquelette des invertébrés et de la paroi cellulaire des champignons. Des résidus de l'industrie de la pêche peuvent être valorisés pour leur contenu en chitine. La chitine est un polymère naturel utilisé dans de multiples applications en agroalimentaire, pharmaceutique, médecine, etc. (Boucher, 1996).

La première étape consiste au broyage des résidus à haute teneur en chitine. Par la suite, une déminéralisation et une déprotéinisation sont réalisées. La déminéralisation permet de solubiliser le contenu minéral des résidus. Elle se réalise dans une solution acide, généralement de l'acide chlorhydrique. Subséquemment, une déprotéinisation s'effectue dans un milieu basique à de hautes températures pour solubiliser le contenu en protéines. Entre chaque étape, un lavage et une filtration permettent d'extraire les éléments solubilisés, soit les protéines et les minéraux.

À la suite des procédés d'isolations, le groupement acétyles, un groupement acyle de l'acide acétique, est extrait de la chitine pour fabriquer un produit nommé chitosane. Cette étape de production se nomme la désacétylation de la chitine. Elle s'effectue généralement dans une solution d'hydroxyde de sodium. Le chitosane a une forte valeur ajoutée due à ses multiples applications. Plus d'explications sont disponibles dans le rapport : « Isolation et valorisation des constituants de la carapace de la crevette nordique » (Marquis-Duval, 2008).

3- Nature des intrants

La chitine se retrouve dans l'exosquelette et l'endosquelette d'animaux marins, la paroi cellulaire des champignons, certaines algues, des levures et des bactéries. L'exosquelette des invertébrés marins est généralement constitué de 30 à 40 % de protéines, 30 à 50 % de carbonate de calcium et de 20 à 30 % de chitine (Marquis-Duval, 2008). Les sources principales de chitine à l'échelle mondiale sont les carapaces de crevettes, de homards et de crabes. Aux Îles-de-la-Madeleine, les matières critiques ciblées sont les carapaces de homards et de crabes.

4- Nature des extrants

En plus de la chitine, les extrants principaux sont des protéines et des minéraux. Les proportions diffèrent en fonction de la ressource primaire utilisée. De plus, des extrants secondaires, tels que des produits chimiques, proviennent des procédés d'isolation.

5- Possibilité de valorisation des extraits

La chitine est utilisée dans plus de 200 produits dérivés compte tenu de ses propriétés d'agent antibactérien, d'agent antifongique, de stimulateur immunitaire, etc. (Stewart et Noyes-Hull, 2010). Elle trouve des applications dans des domaines tels l'agroalimentaire, l'environnement et la médecine. Des exemples d'applications concrètes sont l'assainissement des eaux usées, la production de cosmétique et la lutte contre le cancer. À l'heure actuelle, le Japon est chef de file dans la production et l'utilisation de chitine et du chitosane (Marquis-Duval, 2008).

6- Aspects économiques

Le degré de pureté de la chitine influence directement son prix de vente. En effet, les prix varient entre 10 et 2000 dollars la livre selon la pureté et les domaines d'applications spécifiques (Stewart et Noyes-Hull, 2010). Dans le contexte actuel, les bénéfices économiques et l'exploitation à grande échelle de la chitine sont limités par les coûts de production (Marquis-Duval, 2008). Des recherches tentent d'optimiser les procédés d'isolation pour augmenter la rentabilité de la production.

Une avenue prometteuse est la valorisation des sous-produits de production, c'est-à-dire les minéraux et les protéines. Les minéraux pourraient être valorisés en nanoparticules de carbonate de calcium avec des applications dans l'industrie des polymères (Marquis-Duval, 2008). Dans le même ordre d'idée, les protéines pourraient être valorisées pour leurs propriétés nutritionnelles. Toutefois, les procédés actuels de déprotéinisation dénaturent les protéines, car ils les soumettent à de hautes températures. Des recherches tentent de faciliter l'extraction des protéines pour permettre de conserver leurs structures intrinsèques.

Finalement, un projet d'envergure de plus de 5 millions de dollars pour la production de chitine à Terre-Neuve par la firme Quinlan Brothers devrait entrer en phase de construction à l'automne 2011. Le but de l'entreprise est de traiter tous leurs déchets de crustacés d'ici 5 ans. À l'heure actuelle, cette firme produit 13 millions de tonnes de déchets de crevettes par année. Plus de renseignements sont disponibles dans: Shellfish Chitin Processing Plant, Bay de Verde, NL.⁴

⁴ Quinlan Brothers : [en ligne]
[http://www.env.gov.nl.ca/env/env_assessment/projects/Y2011/1577/1577_registration.pdf] (Consulté le 1er août 2011).

7- Aspects environnementaux

Les procédés actuels d'extraction de la chitine sont énergivores, polluants et générateurs de matières résiduelles. Une optimisation des procédés d'isolation et une valorisation des sous-produits de production seraient bénéfiques pour l'aspect environnemental.

8- Degré de développement technologique

La production de la chitine et du chitosane est éprouvée technologiquement. Plusieurs entreprises œuvrent dans ce domaine à l'échelle mondiale.

9- Références d'application

Marinard Biotech Inc., Rivière-au-Renard, Gaspé, Québec

- Date d'entrée en opération : 1996
- Produits: Kitomer, chitosane, glucosamine, sels de chitosane, etc.
- Capacité de production annuelle : 30 tonnes
- Référence : <http://www.marinard.com>

France Chitine, Orange, France

- Date d'entrée en service : 1991
- Produits : Chitosane succinamide, carboxyméthyl chitine, glucosamine, etc.
- Capacité de production annuelle : 500 tonnes
- Référence : <http://www.france-chitine.com/>

Norwegian Chitosan Ltd., Gardermoen , Norvège

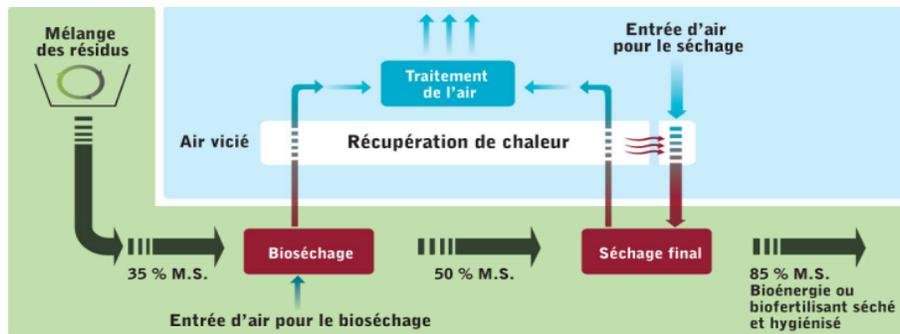
- Date d'entrée en service : 2005
- Produits : Chitosane, chitine, glucosamine, etc.
- Référence : <http://www.chitosan.no>

10- Conclusion

Une analyse approfondie pourrait valider la rentabilité de la valorisation des résidus de pêche en chitine. Toutefois, des ententes avec des entreprises extérieures de production de chitine peuvent aussi être bénéfiques. De toute évidence, les avancées technologiques dans les domaines d'applications et d'isolation de la chitine devraient être suivies.

4.1.2 Bioséchage

1- Description schématique



5

2- Fonctionnement

Le procédé décrit est celui de la compagnie INNOVENTE INC. nommée SHOC^{MD} (Système d'Hygiénisation par Oxygénisation Contrôlée)¹. D'autres compagnies œuvrent dans le domaine du bioséchage, le procédé SHOC^{MD} est présenté pour transmettre une idée générale seulement.

Plusieurs matières résiduelles organiques contiennent trop d'eau pour être valorisées énergétiquement. Le bioséchage permet de générer des matières solides à haute teneur énergétique. Un mélange de résidus organiques de sources multiples est séché par un procédé de biooxydation en conditions contrôlées en termes d'aération, d'activité microbienne et de temps de résidence. L'activité microbienne génère l'énergie thermique utilisée dans le processus de bioséchage. Un système de récupération de la chaleur permet de réintroduire la chaleur dégagée par l'activité microbienne au séchage final, lequel se fait à l'aide d'un séchoir à bande. Le temps de résidence doit permettre une déshydratation, une stabilisation partielle et une hygiénisation des matières. Les objectifs sont de maximiser l'enlèvement de l'eau et de minimiser la biodégradation pour produire un substrat à haute valeur énergétique. Finalement, le produit est transformé en granules qui peuvent être valorisées énergétiquement.

⁵ Innoventé, énergies vertes. [en ligne], [<http://www.innovente.ca/>] (Consulté le 10 juillet 2010).

3- Nature des intrants
Le bioséchage permet de traiter des matières résiduelles organiques municipales, agricoles et industrielles. Les matières critiques ciblées sont les résidus de l'industrie de pêche.
4- Nature des extrants
Les extrants sont le BÉFOR (BioÉnergie Fabriqué à partir de matières Organiques Résiduelles), des émissions atmosphériques et des sous-produits de réaction.
5- Possibilité de valorisation des extrants
Le BÉFOR peut être valorisé sous forme de combustible pour produire de l'énergie thermique, de l'électricité et de l'éthanol cellulosique.
6- Aspects économiques
Un projet pilote est en cours jusqu'en 2012; voir référence d'application au point 9. À la suite de l'analyse des performances de la technologie, l'aspect économique pourra être qualifié.
7- Aspects environnementaux
Le bilan énergétique et les émissions atmosphériques sont des facteurs déterminants pour documenter l'aspect environnemental. À cet effet, le traitement des émissions atmosphériques et l'utilisation d'énergie thermique bactérienne semblent minimiser l'empreinte environnementale de la technologie. À la suite des analyses du projet pilote, l'aspect environnemental pourra être étudié.
8- Degré de développement technologique
Le bioséchage est une technologie en croissance. Un projet pilote réalisé par INNOVENTÉ INC. est en cours jusqu'en février 2012. Ce projet vise à valider les performances de la technologie.

9- Référence d'application

INNOVENTÉ INC, énergies vertes, Usine St-Patrice-de-Beaurivage, QC

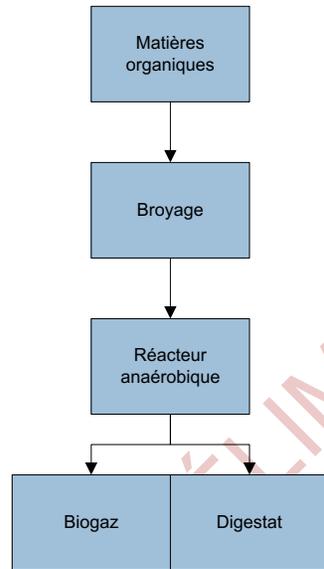
- Objectif : Implantation d'une centrale de cogénération à la biomasse
- Combustible : BÉFOR et biomasse résiduelle
- Date d'entrée en service : 2010
- Production de BÉFOR : 25 000 T/ an
- Production électrique : 4,6 MW
- Référence : <http://www.innovente.ca/>

10- Conclusion

Un couplage des procédés de bioséchage avec d'autres avenues de valorisation énergétique telle que la chaudière à biomasse pourrait être considéré. Toutefois, avant de procéder à des analyses plus approfondies, les performances du projet pilote de Québec devraient être validées. À priori, d'autres avenues de valorisation semblent plus prometteuses que le bioséchage pour les résidus de l'industrie de la pêche.

4.1.3 Biométhanisation

1- Description schématique



2- Fonctionnement

La biométhanisation est un processus de décomposition des matières organiques dans un milieu sans oxygène. La réaction est composée de quatre phases: l'hydrolyse, la fermentation, l'acétogénèse et la méthanogénèse (Lima Amarante, 2010). L'hydrolyse permet la dégradation des molécules organiques complexes; la fermentation produit des acides, de l'alcool, de l'hydrogène et du gaz carbonique; l'acétogénèse forme des précurseurs au méthane et la méthanogénèse forme le méthane. Sommairement, les matières putrescibles sont broyées et introduites à l'intérieur du biodigesteur pour un temps de séjour déterminé en fonction du mode de digestion. À titre indicatif, un mode de digestion mésophile, qui signifie des températures entre 30 et 40 degrés Celsius, requiert un temps de séjour d'environ 21 jours (Lima Amarante, 2010). Un biogaz et un digestat sont récupérés à la sortie du biodigesteur.

3- Nature des intrants
Diverses matières organiques peuvent être traitées par biométhanisation. Les matières critiques ciblées sont les résidus de l'industrie de pêche.
4- Nature des extrants
Les extrants sont principalement le biogaz et les matières organiques résiduelles nommées digestat. Le biogaz est composé de 50 à 75 % de méthane, de 25 à 45 % de gaz carbonique et de traces d'autres gaz selon la nature des intrants (Desjardins et Forcier 2007).
5- Possibilité de valorisation des extrants
Le biogaz est valorisable énergétiquement par une production d'énergie thermique, de gaz naturel ou d'électricité. Pour sa part, le digestat peut être valorisé de manière organique sous forme de compost, de fertilisants, etc.
6- Aspects économiques
Selon une étude du centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, les coûts d'immobilisation d'unités de biométhanisation se situent entre 2500\$ et 5000 \$ par kilowatt de production (Brodeur et coll., 2008). De plus, le coût de revient du kilowattheure passe d'un minimum de 0,075 \$ à plus de 0,20 \$ (Brodeur et coll., 2008). Des études sont nécessaires pour valider la rentabilité économique de la technologie.
7- Aspects environnementaux
La biométhanisation réduit la charge organique, les odeurs et le potentiel pathogène des matières putrescibles. Un bénéfice environnemental provient de la limitation du potentiel de contamination des milieux naturels par les matières putrescibles (Desjardins et Forcier 2007). De plus, la biométhanisation procure une forme d'énergie renouvelable. Globalement, la technologie est considérée avantageuse au point de vue environnemental.
8- Degré de développement technologique
La biométhanisation est une technologie éprouvée avec 10 systèmes au Canada, plus d'une centaine aux États-Unis et plus de 5500 en Europe (Brodeur et coll., 2008).

9- Référence d'application

Bio-Terre Systems Inc., 150, rue de Vimy, Sherbrooke, Québec

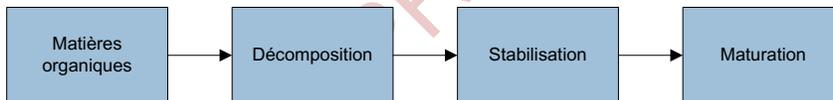
- Offres de solutions de digestion anaérobie pour traiter et valoriser les résidus organiques
- En service depuis : 1998
- Réalisations de bioréacteurs traitant de 4 000 à 13 000 mètres cubes annuellement
- Référence : <http://www.bioterre.com/mission.php>

10- Conclusion

La difficulté majeure de la biométhanisation semble être au point de vue de la rentabilité économique (Brodeur et coll., 2008). Une étude de faisabilité réalisée par le CERMIM est en cours pour valider le potentiel d'application d'une technologie de biométhanisation aux Îles-de-la-Madeleine.

4.1.4 Compostage

1- Description schématique



2- Fonctionnement

Le compostage est un processus naturel de biodégradation aérobique de la matière organique par des microorganismes. Il existe plusieurs méthodes de compostage avec des variantes en termes de coûts, d'installations, de mains-d'œuvre requises, etc. Globalement, le compostage débute par une activité biologique intense qui enclenche la décomposition. Cette phase est suivie par une période de stabilisation lors de laquelle l'activité biologique diminue progressivement et termine par une phase de maturation (Desjardins et Forcier 2007). En fonction des intrants, il peut être bénéfique d'ajouter des agents riches en carbones tels que des copeaux de bois, du papier et du carton. Finalement, selon le type de compostage utilisé, la nature des intrants et la qualité du compost espéré; un prétraitement, des brassages et un post traitement peuvent être requis.

3- Nature des intrants

Les matières organiques de différentes sources peuvent être compostées. Toutefois, en fonction de la nature des intrants, les applications du compost généré diffèrent. Les matières critiques ciblées sont les résidus de l'industrie de la pêche, le papier, le carton, le bois et les branches. Selon Stewart et coll. (2010), un compost d'excellente qualité peut se faire avec deux tiers de composés carbonés, par exemple des copeaux de bois, et un tiers de carapaces de crabes.

4- Nature des extrants

Compost, émissions atmosphériques et odeurs.

5- Possibilité de valorisation des extrants

Le compost peut être utilisé à différentes fins en fonction de sa qualité. À ce sujet, le Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME) donne les lignes directrices pour la qualité du compost. Un compost de type A peut être utilisé sans restriction d'utilisation alors que les utilisations d'un compost de type B sont limitées (Friesen et coll. 2005). À titre indicatif, le compost de type A peut servir à des fins commerciales, dans les jardins et les potagers, en milieu agricole, en horticulture, etc. Les paramètres définissant les types de compost sont explicites dans le document « Lignes directrices pour la qualité du compost » (Friesen B. et coll. 2005).

6- Aspects économiques

La qualité du compost influence directement sa valeur économique. Il est tout à fait réaliste de penser à une production de compost de grande qualité avec, entre autres, les résidus de l'industrie de la pêche et des matières résiduelles riches en carbone. Différents processus de compostages sont offerts sur le marché avec une grande variabilité en termes de coûts. Une étude technico-économique permettrait de qualifier la rentabilité économique des activités de compostage.

7- Aspects environnementaux

Le compostage est un procédé de valorisation des matières résiduelles organiques prôné pour ces bénéfices environnementaux. En effet, les activités de compostage des matières organiques sont encouragées par la Politique québécoise sur la gestion des matières résiduelles qui vise à interdire l'élimination des matières putrescibles d'ici 2020⁶. En fonction du système de compostage utilisé, les impacts environnementaux varient. De manière générale, des émanations de gaz ainsi que des rejets liquides par lixiviation des eaux de précipitations pour le compostage en système ouvert sont répertoriés. L'impact environnemental de différents systèmes de compostage est exploré dans : « Étude comparative des technologies de traitement des résidus organiques et des résidus ultimes applicables à la région métropolitaine de Montréal » (Desjardins C. et Forcier F, 2007).

8- Degré de développement technologique

Le compostage est une technologie éprouvée avec plusieurs sites et systèmes de compostage opérés dans le monde. Au Canada, il y aurait 227 installations de compostage (Desjardins et Forcier, 2007).

9- Référence d'application

Les Composts du Québec inc., Saint-Henry-de-Lévis, 425 ch. Plaisance, Québec

- Mission : Être un chef de file dans la valorisation des matières organiques
- En service depuis 1979
- Capacité de production: jusqu'à 300 000 m³ de compost annuellement
- Référence : <http://www.biogenie-env.com/fr/gmr.php>

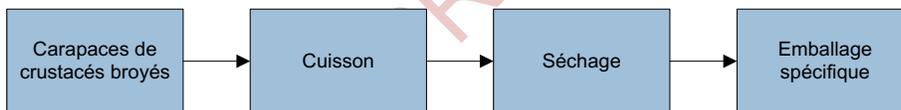
⁶ Politique québécoise de gestion des matières résiduelles. [en ligne],
[<http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/pgmr/pol-enbref.pdf>] (Consulté le 10 juin 2010).

10- Conclusion

La production de différentes gammes de compost dont un compost de haute qualité semble une avenue intéressante. Si un tel projet est mis de l'avant, une certification du compost peut être bénéfique économiquement. Selon le Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME), le bureau de normalisation du Québec (BNQ) est le principal responsable de la certification des produits qui respectent les normes d'application volontaire sur les lignes directrices pour la qualité du compost (Friesen et coll. 2005). Toutefois, si un projet de production de compost de haute qualité n'est pas mis de l'avant, une valorisation des carapaces peut aussi se faire par épandage direct sur les terres agricoles. Dans un tel cas, le processus de décomposition se passe sur chacune des terres ciblées. Les carapaces agissent alors comme enrichisseur nutritif, stabilisateur de pH et amendement (Stewart et Noyes-Hull, 2010). Finalement, une réflexion en vue d'optimiser les activités de compostage aux Îles-de-la-Madeleine semble souhaitable.

4.1.5 Poudres et carapaces sèches

1- Description schématique



2- Fonctionnement

Les carapaces de crabes et homards sont riches en nutriments. Par exemple, les résidus de crabe des neiges séchés sont composés de 42,9 % de protéines, 14,8 % de lipides, 25,7 % de minéraux et 16,2 % de chitine (Stewart et Noyes-Hull, 2010). La cuisson de carapaces de crabes et de homards broyées dans des conditions thermiques contrôlées permet de produire de la poudre et des carapaces séchées. La poudre ainsi produite, souvent appelée «meal» ou farine, est formée des restes de chair de homards et de crabes. Elle doit être séchée convenablement pour inhiber la croissance des microorganismes et conserver ses propriétés nutritionnelles. Le séchage se fait normalement à l'aide d'un séchoir rotatif, à des températures entre 200 et 400 degrés Celsius (Stewart et Noyes-Hull, 2010). Finalement, la poudre et les carapaces sont emballées séparément en vue de leur commercialisation.

3- Nature des intrants
Les matières résiduelles critiques ciblées sont les carapaces de crabes et de homards.
4- Nature des extrants
Les produits générés sont de la poudre et des carapaces séchées de crabes et de homards.
5- Possibilité de valorisation des extrants
La poudre de crabes et de homards a des applications multiples dues à ses propriétés nutritionnelles. Plus spécifiquement, la poudre est utilisée comme engrais, dans les arômes asiatiques, comme additif nutritionnel dans la nourriture animale et en aquaculture. Les carapaces de crabes et de homards séchées sont généralement vendues pour leurs contenus en chitine (Stewart et Noyes-Hull, 2010).
6- Aspects économiques
Selon St-Laurent Gulf Products Ltd, la poudre de crabes et de homards se vend autour de 800 \$ la tonne métrique et les carapaces séchées se vendent environ 770 \$ la tonne métrique. Les prix varient grandement en fonction de l'application et de l'uniformité des produits. Il y a aussi des compagnies qui vendent des engrais à base de carapaces de crabes des neiges séchées à 50 \$ le sac de neuf kilogrammes (Stewart et Noyes-Hull, 2010).
7- Aspects environnementaux
Les répercussions environnementales sont en grande partie fonction du transport des résidus et de la source d'énergie utilisée pour les procédés de transformation. Conséquemment, les impacts environnementaux varient d'un projet à l'autre. Un système de traitement des émissions atmosphériques favorise une empreinte environnementale minimale.
8- Degré de développement technologique
La technologie semble éprouvée et elle est pratiquée par certaines entreprises depuis des années. De plus, la demande asiatique pour les carapaces de crabes et de homards séchées en vue de valoriser de leur contenu en chitine serait en croissance (Stewart et Noyes-Hull, 2010).

9- Références d'application

St-Laurent Gulf Products Ltd., Caraquet, Nouveau-Brunswick

- Production de poudre de crabes et homards, de carapaces séchées, etc.
- En service depuis 1979
- Ventes totales : 1 000 000 à 4 999 999 \$
- Référence : <http://www.ABCfishmeal.ca>

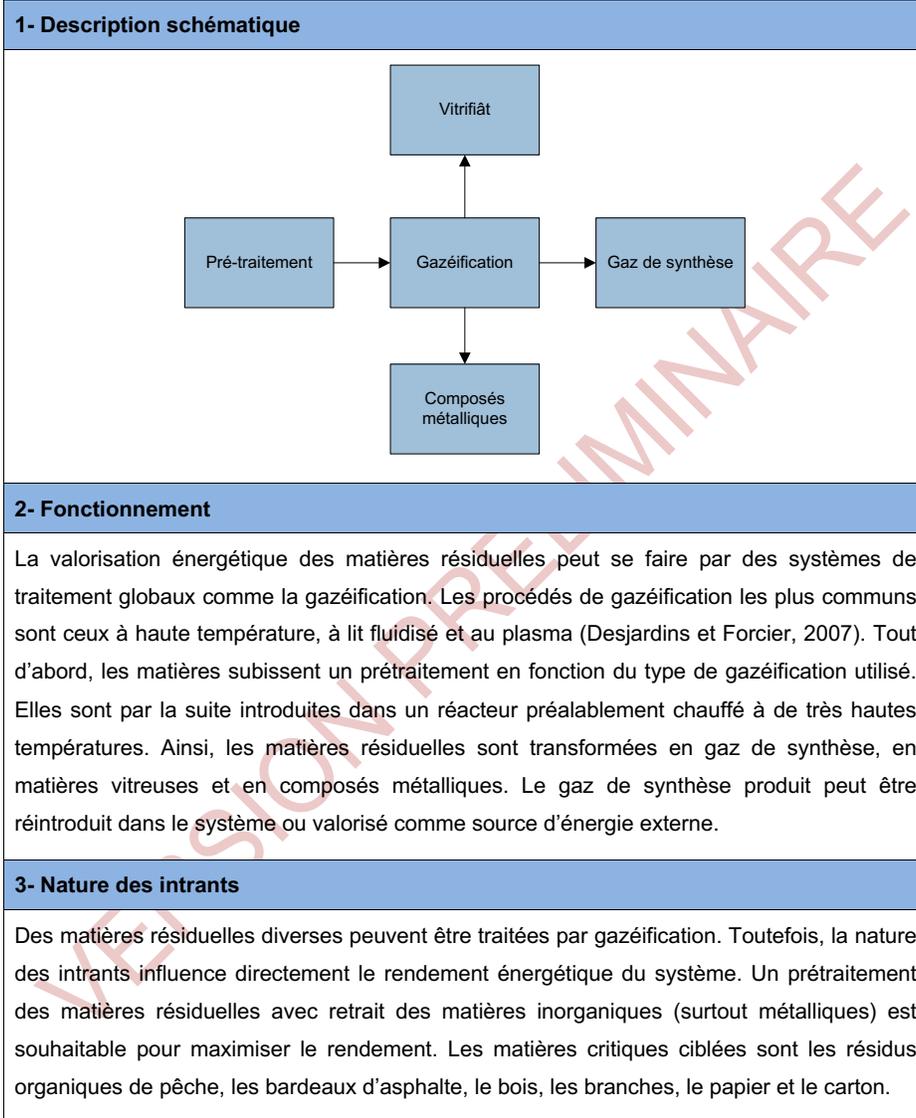
W.E. Acres Crab Meal Ltd., Portage, Nouveau-Brunswick

- Production d'engrais, de poudre de crabe et homards, etc.
- En service depuis 1982
- Ventes totales de 200 000 \$ à 499 999 \$
- Références : <http://www.ic.gc.ca>

10- Conclusion

La production de poudre et de carapaces de crabes et de homards séchées semble être une avenue de valorisation intéressante. Des entreprises œuvrent dans ce domaine depuis des dizaines d'années avec succès. Il est certain qu'une analyse globale de la situation permettrait de valider le potentiel d'application de cette technique. Le profil nutritionnel de la poudre de homard ainsi que des photos de produits de carapaces séchées sont disponibles en annexe. Des contacts avec les entreprises mentionnées au point neuf, dans références d'application, sont souhaitables dans l'optique d'une éventuelle analyse. Plus de renseignements sont disponibles dans le document « Feasibility of Producing Value added products from snow crab processing waste in Cape Breton, Nova Scotia. » (Stewart et Noyes-Hull, 2010).

4.1.6 Gazéification



4- Nature des extrants
La gazéification génère un gaz de synthèse, un vitrifiât, des composés métalliques et des émissions atmosphériques (Desjardins et Forcier, 2007).
5- Possibilité de valorisation des extrants
Le gaz de synthèse peut être valorisé sous forme énergétique, le vitrifiât peut servir à diverses applications dans le domaine de la construction et les composés métalliques peuvent être recyclés.
6- Aspects économiques
La gazéification a des coûts de revient de 125 à 175 \$ par tonne (Desjardins et Forcier, 2007). Des études économiques sont nécessaires pour qualifier l'aspect économique.
7- Aspects environnementaux
Les procédés de gazéification n'émettent aucun rejet liquide et aucun rejet solide qui semble néfaste pour l'environnement. Toutefois, des émissions atmosphériques sont notées. Les taux de rejets d'émissions atmosphériques varient en fonction des matières résiduelles traitées et de la technologie utilisée.
8- Degré de développement technologique
Selon l'étude de comparaison des technologies et des scénarios de gestion des matières résiduelles de SNC-LAVALIN et SOLINOV, la gazéification est une technologie éprouvée (Desjardins et Forcier, 2007). Toutefois, la technologie est utilisée principalement au Japon et certains procédés de gazéification, tel le plasma, sont toujours source d'études techniques et économiques.

9- Référence d'application

Projet pilote de gazéification au plasma, Ontario, Ottawa

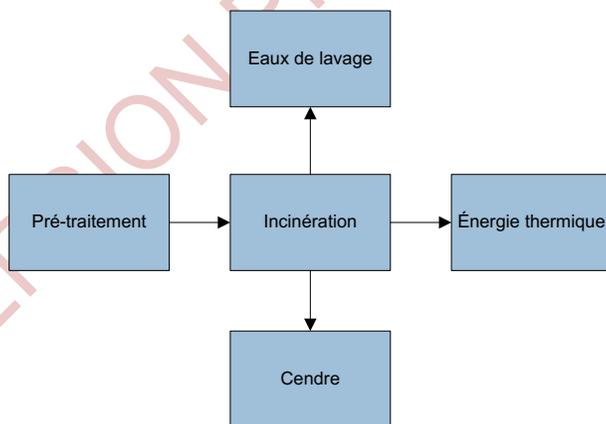
- Mise en service en 2007
- Capacité de traitement de 36 000 tonnes par année
- Valorisation énergétique estimée à 1 MWh par tonne de matières résiduelles
- Technologie de Plasco Energy Group Inc.
- Référence : « Étude comparative des technologies de traitement des résidus organiques et des résidus ultimes applicables à la région métropolitaine de Montréal » (Desjardins et Forcier, 2007).

10- Conclusion

Une étude de faisabilité sur le couplage technologique de la biométhanisation et de la gazéification au plasma aux Îles-de-la-Madeleine est en cours au CERMIM. Le potentiel de la gazéification pourra ainsi être évalué.

4.1.7 Incinération

1- Description schématique



2- Fonctionnement

L'incinération avec récupération d'énergie permet de brûler les matières résiduelles et de valoriser la chaleur de combustion générée. Globalement, un brûleur démarre le processus de combustion lequel est par la suite autoalimenté par l'apport de matières résiduelles dans l'incinérateur. L'énergie thermique est transmise à un fluide caloporteur ou une turbine pour produire de l'électricité ou chauffer des bâtiments. Différents types d'incinérateurs sont offerts sur le marché : grille fixe, grille mobile, lit fluidisé, foyer multiple, rotary-kiln, etc. (Desjardins et Forcier, 2007).

3- Nature des intrants

Des matières résiduelles diverses peuvent être traitées par incinération. Toutefois, le rendement énergétique est influencé par la nature des intrants. Un prétraitement des intrants avec retrait des matières inorganiques maximise le rendement du système. Les matières critiques pouvant être traitées avec ce système sont les résidus organiques de pêche, les bardeaux d'asphalte, le bois, les branches, le papier et le carton.

4- Nature des extrants

L'incinération produit principalement de l'énergie thermique, des cendres, des émissions atmosphériques et des eaux de lavage (Desjardins et Forcier, 2007).

5- Possibilité de valorisation des extrants

L'énergie thermique se valorise en vapeur ou en électricité. De plus, une caractérisation des cendres permet de déterminer leurs potentiels de valorisation. Dans certains cas, les cendres peuvent être valorisées comme matériaux de remblais, sous-couche routière ou amendement. Pour plus d'informations sur le potentiel de valorisation des cendres, voir le guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses de source industrielle comme matériau de construction (Bruelle, 2002).

6- Aspects économiques

L'incinération a des coûts de revient de 110 à 150 \$ par tonne (Desjardins et Forcier, 2007). Des études économiques spécifiques sont nécessaires pour valider le potentiel d'application .

7- Aspects environnementaux

L'incinération engendre des rejets liquides, des rejets solides, des émissions atmosphériques et parfois des odeurs. Un système de traitement des fumées permet de réduire les émissions atmosphériques. De plus, la gestion des cendres peut avoir des répercussions environnementales négatives lorsque l'accessibilité à un lieu d'enfouissement est limitée. En effet, les cendres représentent de 25 à 30 % de la masse des matières résiduelles brûlées (Desjardins et Forcier, 2007). Les répercussions environnementales de l'incinération peuvent varier de manière significative selon chaque système.

8- Degré de développement technologique

L'incinération est une technologie éprouvée et parmi les plus utilisées à travers le monde pour le traitement des déchets. Les installations dans le monde traitent généralement de 10 000 à 700 000 tonnes par année (Desjardins et Forcier, 2007).

9- Référence d'application

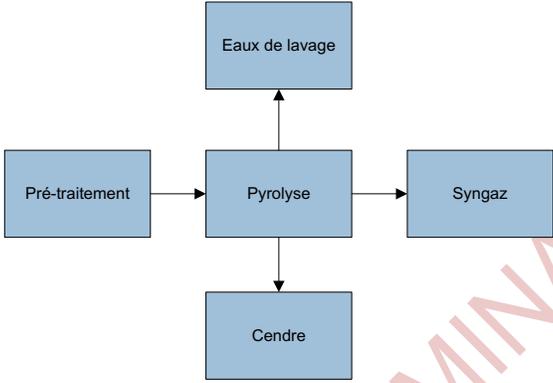
Incinérateur de la ville de Québec, Limoilou

- Mise en service depuis 1974
- Capacité de traitement de 312 000 tonnes par année avec génération de 810 000 tonnes de vapeur et de 90 000 tonnes de mâchefers.
- Référence : <http://www.ville.quebec.qc.ca/>

10- Conclusion

Plus de détails sur l'incinération sont disponibles dans « Étude comparative des technologies de traitement des résidus organiques et des résidus ultimes applicables à la région métropolitaine de Montréal » (Desjardins et Forcier, 2007). De plus, plusieurs compagnies font de la valorisation énergétique de matières résiduelles par combustion. Par exemple, les cimenteries consomment des matières résiduelles de sources multiples pour l'apport calorifique généré par leurs combustions. Des matières pourraient ainsi être valorisées par des partenariats avec des entreprises extérieures.

4.1.8 Pyrolyse

1- Description schématique
 <pre>graph LR; PT[Pré-traitement] --> P[Pyrolyse]; P --> EL[Eaux de lavage]; P --> S[Syngaz]; P --> C[Cendre];</pre>
2- Fonctionnement
<p>Sommairement, la pyrolyse permet la décomposition de la partie organique des matières résiduelles pour produire un syngaz. Différentes chambres de pyrolyse existent tel Rotating Kiln, tubes chauffés, contact de surface, etc. (Desjardins et Forcier, 2007). Tout d'abord, les matières résiduelles subissent un prétraitement en fonction du type de pyrolyse utilisée. Subséquemment, elles sont introduites dans le réacteur de pyrolyse dans des conditions d'absence d'oxygène et de hautes températures. Les matières résiduelles sont ainsi transformées en syngaz et en cendres.</p>
3- Nature des intrants
<p>Des matières résiduelles diverses peuvent être traitées par pyrolyse, mais le rendement énergétique est affecté par la nature des intrants. Un prétraitement des matières résiduelles avec un retrait des matières inorganiques, par exemple les métaux, favorise un meilleur rendement. Les matières critiques ciblées sont les résidus organiques de pêche, les bardeaux d'asphalte, le bois, les branches, le papier et le carton.</p>
4- Nature des extrants
<p>La pyrolyse génère du syngaz, des cendres, des émissions atmosphériques diverses et des eaux de lavage (Desjardins et Forcier, 2007).</p>

5- Possibilité de valorisation des extrants
Le syngaz peut être valorisé sous forme de vapeur ou d'électricité. Dans certains cas, les cendres peuvent être valorisées comme matériaux de remblais, sous-couche routière, etc.
6- Aspects économiques
La pyrolyse a des coûts de revient de 60 à 140 \$ par tonne (Desjardins et Forcier, 2007). Des études sont nécessaires pour valider le potentiel économique de la technique.
7- Aspects environnementaux
Le traitement par pyrolyse engendre des rejets liquides, des rejets solides et des émissions atmosphériques. Les émissions atmosphériques sont toutefois limitées par la nature anaérobie du procédé. En effet, les émissions atmosphériques de la pyrolyse sont réduites de 50 % en comparaison avec l'incinération (Desjardins et Forcier, 2007).
8- Degré de développement technologique
La pyrolyse est une technologie en croissance avec une vingtaine d'installations fonctionnelles dans le monde pour le traitement de résidus mixtes ou ultimes (Desjardins et Forcier, 2007).
9- Références d'application
<p>Pyrovac Technologies inc., 333 Rue Franquet, Sainte-Foy, QC, G1P 4C7</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Laboratoire de recherche en pyrolyse ➤ Référence : http://goliath.ecnext.com/coms2/product-compint-0000936066-page.html <p>Ecolomondo International Corp., 999 De la Pomme-D'or, Contrecoeur, QC, J3P 5N6</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Entreprise utilisant la pyrolyse pour la valorisation des pneus ➤ Référence http://www.weblocal.ca/ecolomondo-corp-contrecoeur-qc.html
10- Conclusion
Plus de détails sur la pyrolyse sont disponibles dans « Étude comparative des technologies de traitement des résidus organiques et des résidus ultimes applicables à la région métropolitaine de Montréal » (Desjardins et Forcier, 2007). Le développement technique de la pyrolyse semble limiter le potentiel d'application aux Îles-de-la-Madeleine.

4.1.9 Enrichisseur de moulée pour animaux

1- Description schématique
<pre>graph LR; A[Coquilles et carapaces de crustacés] --> B[Broyage]; B --> C[Mise en moulée]</pre>
2- Fonctionnement
<p>Des matières résiduelles peuvent être valorisées comme enrichisseur de moulée pour animaux. Deux techniques principales sont pratiquées : valoriser directement les matières résiduelles en moulée ou mélanger les matières résiduelles à une moulée préexistante. Un prétraitement de broyage, séchage et cuisson est parfois nécessaire en fonction du type d'intrants et de l'application visée. Peu d'informations sont disponibles sur ce type de valorisation dans la littérature. Toutefois, cette technique semble être pratiquée régulièrement par des particuliers qui valorisent eux-mêmes les résidus en moulée pour leurs animaux.</p>
3- Nature des intrants
<p>Des matières résiduelles diverses peuvent être utilisées comme enrichisseurs de moulée. Les matières critiques ciblées sont les coquilles et les carapaces de crabes et de homards.</p>
4- Nature des extrants
<p>Enrichisseur de moulée pour animaux.</p>
5- Possibilité de valorisation des extrants
<p>Par exemple, la moulée produite peut être utilisée dans les exploitations agricoles comme les fermes porcines et avicoles. En effet, les poules sont supposées bien aimer picorer les coquillages ce qui rend la coquille de leurs œufs plus rigide⁷.</p>

⁷ Nourrir des poules. [en ligne], [<http://fermedebodrethun.blogspot.fr/2447107/Elever-des-poules-3-Nourrir-les-poules/>] (Consulté le 5 août 2011).

6- Aspects économiques

Les coûts de gestion des matières résiduelles et le coût du produit substitué influencent la rentabilité économique de la technique. De plus, les prix de la moulée pour animaux varient grandement en fonction du domaine d'application et des volumes demandés.

7- Aspects environnementaux

La valorisation de certaines matières résiduelles en moulée pour animaux est une technique simple qui semble sans préjudice environnemental notable. Peu d'informations sont disponibles sur ce sujet dans la littérature.

8- Degré de développement technologique

La technique est éprouvée et Industrie Canada fait mention des coquilles et carapaces broyées pour l'alimentation animale dans les ressources halieutiques⁸. Toutefois, peu d'informations sont disponibles à ce sujet considérant que la technique semble être appliquée à petite échelle.

9- Référence d'application

TERAFEED, la biotechnologie minérale, Bottereau, France

- Nutrition animale innovante, Carbonate de calcium alimentaire
- Référence : <http://www.terafeed.com/>

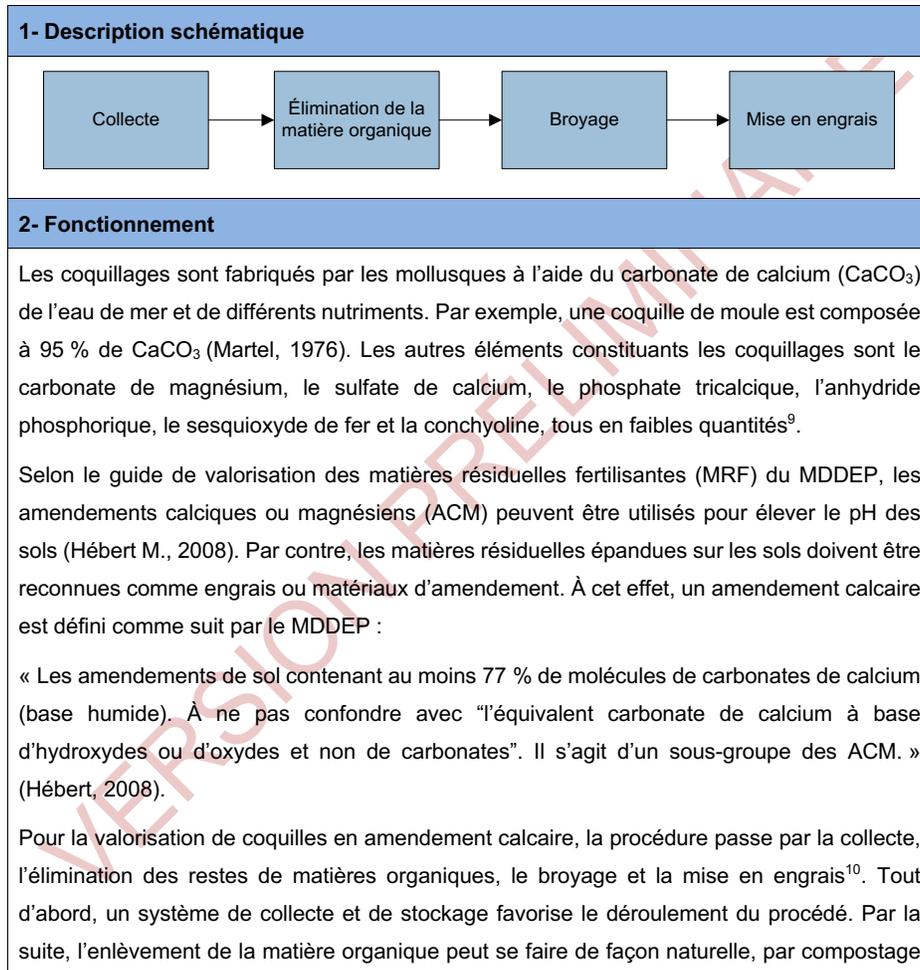
10- Conclusion

Cette technique de valorisation apparaît prometteuse et une production de moulée à base de coquilles et de carapaces pourrait être bénéfique. Des essais avec des entreprises locales permettraient de valider le potentiel d'application. À cet effet, des partenariats avec des entreprises porcines et avicoles des Îles-de-la-Madeleine sont à considérer.

⁸ Industrie Canada. [en ligne], [ttp://www.ic.gc.ca/eic/site/ait-aci.nsf/fra/il00012.htm] (Consulté le 26 juillet 2011).

4.2 Coquilles

4.2.1 Amendement



⁹ Musée du coquillage. [en ligne], [<http://musee-coquillages.com/coquillages/coquillages.htm>] (Consulté le 25 juillet 2011).

¹⁰ Projet cabanes propres. [en ligne] [http://www.lyceebourcefranc.fr/download/pedago/rapport_cabanes_propres.pdf] (Consulté le 15 juillet 2011).

dynamique ou par incinération. Les coquilles sont broyées et incorporées dans les engrais pour la production d'amendements calciques.

Finalement, dans l'optique de faire simplement des amendements pour les sols, les carapaces de homards et de crabes pourraient être épandues directement en milieu agricole (Stewart et Noyes-Hull, 2010).

3- Nature des intrants

Selon le MDDEP, les matières qui possèdent des propriétés fertilisantes démontrées par des études agronomiques peuvent être épandues sur les sols (Hébert, 2008). À cet effet, le bureau de normalisation du Québec (BNQ) est l'organisme de normalisation reconnu pour certifier la conformité d'une matière résiduelle à un projet d'épandage (Hébert M., 2008). Diverses matières résiduelles peuvent servir d'amendement pour les sols. Les matières critiques ciblées sont les coquilles et, dans un deuxième temps, les carapaces de homards et de crabes.

4- Nature des extrants

L'amendement est l'extrait principal.

5- Possibilité de valorisation des extrants

Les amendements sont utilisés en agriculture pour diminuer le pH des sols, améliorer leurs structures et apporter des éléments nutritifs (Stewart et Noyes-Hull, 2010).

6- Aspects économiques

La qualité et la demande en amendements calciques influencent la rentabilité de la technique. Toutefois, les amendements n'ont généralement pas une forte valeur ajoutée. Une analyse spécifique permettrait de définir l'aspect économique.

7- Aspects environnementaux

Cette technologie est bénéfique pour les sols et avantageuse au plan environnemental. L'impact environnemental du transport doit être considéré dans le bilan environnemental. La production d'amendements calcaire est simple et semble sans préjudice environnemental important.

8- Degré de développement technologique

La production d'amendements est une technologie éprouvée.

9- Référence d'application

Green Concept, Maîtrise du sol et du végétal, 86700 Ceaux-en-Couhé, Vienne, France

- Produit : Amendements variés et amendement calcaire à base de poudre de coquilles.
- Référence : <http://www.green-concept.net/index.php5>

10- Conclusion

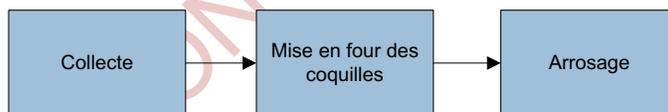
La valorisation des coquilles en amendements calcaires semble être une avenue prometteuse pour valoriser à faible coût ces matières résiduelles. La demande en amendement calcaire pourrait être étudiée pour valider la portée d'application aux Îles-de-la-Madeleine.

4.2.2 Construction de chemins

Voir construction de chemin dans la section 4.3.3 des bardeaux d'asphalte. La procédure de valorisation des matières est similaire.

4.2.3 Fabrication de chaux

1- Description schématique

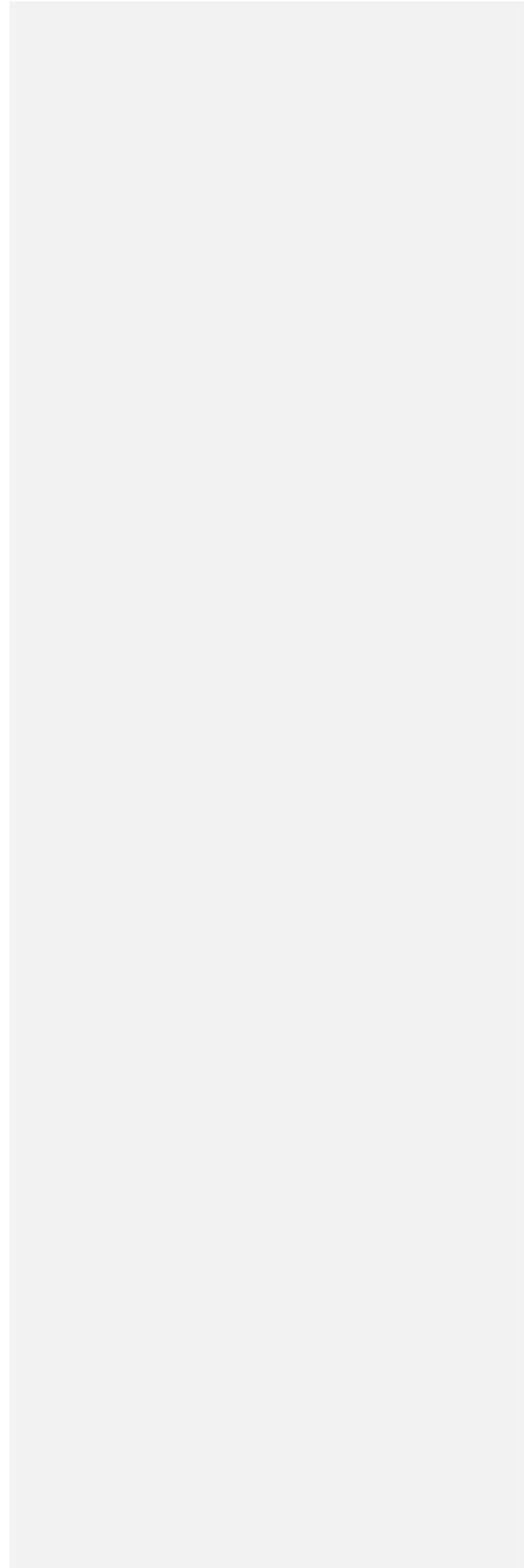


2- Fonctionnement

Les coquillages sont fabriqués par les mollusques principalement à l'aide du carbonate de calcium contenu dans l'eau de mer et de différents nutriments. La mise en four des coquillages permet la transformation du calcaire (CaCO_3) en chaux (CaO) par l'échappement du dioxyde de carbone (CO_2)¹¹. La cuisson se fait normalement à des températures entre 800 et 1000 degrés Celsius. Finalement, la chaux sortante du four est arrosée avec un système d'extinction souvent à base d'eau. Différents types de fours servent à la production de chaux.

¹¹ Fabrication traditionnelle de chaux. [en ligne] [http://www.atelier-st-andre.net/fr/pages/technique/technique_fresque/production_chaux.html] (Consulté le 11 juillet 2011).

VERSION PRÉLIMINAIRE



3- Nature des intrants
Les coquillages et les roches à forte teneur en calcaire peuvent servir d'intrants. Les matières résiduelles critiques ciblées sont les coquilles.
4- Nature des extrants
Chaux, lait de chaux, chaux hydratée, etc.
5- Possibilité de valorisation des extrants
La chaux est utilisée principalement en agriculture, dans le traitement des eaux, dans le domaine de la construction, comme absorbeur de dioxyde de carbone et en sidérurgie ¹² . Dans le contexte des Îles-de-la-Madeleine, la chaux pourrait être utilisée en agriculture pour élever le pH des sols ou dans d'autres applications.
6- Aspects économiques
De nombreux produits à base de chaux sont en vente sur le marché comme la chaux vive, la chaux éteinte, la chaux dolomitique, le carbonate de calcium, les hydrates spécialisés, etc. Les prix varient en fonction de l'application, de la qualité et de la quantité du produit demandé. Par exemple, les carrières St-Ferdinand Inc. vendent de la chaux dolomitique en vrac à 23,50 \$ la tonne métrique, à 59 \$ la tonne métrique en sac et à 4,25 \$ le sac de 20 kg ¹³ .
7- Aspects environnementaux
Environnement Canada met un guide d'estimation des émissions de gaz à effet de serre pour la production de chaux à la disposition des utilisateurs ¹⁴ . De manière générale, la production de chaux émet des gaz à effet de serre et est énergivore. De plus, le type de chaux produite et du four utilisé influence les répercussions environnementales. L'aspect environnemental de la production de chaux à partir de coquillage peut être qualifié à la suite d'une analyse spécifique des procédés de production.

¹² Wikipedia. [en ligne], [[http://fr.wikipedia.org/wiki/Chaux_\(mati%C3%A8re\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Chaux_(mati%C3%A8re))] (Consulté le 14 juin 2011).

¹³ Les Carrières St-Ferdinand inc. [en ligne], [<http://www.lescarrieresst-ferdinand.com/Produits/ListesPrix/Chaux%202009.pdf>] (Consulté le 24 juin 2010).

¹⁴ Guide Environnement Canada. [en ligne] [<http://www.ec.gc.ca/Publications/default.asp?lang=Fr&xml=A3290A26-6B69-4AB5-8DE0-4771D8FAD511>] (Consulté le 4 juillet 2011).

VERSION PRÉLIMINAIRE

8- Degré de développement technologique

La production de chaux à partir de coquillages est une technologie éprouvée qui était grandement utilisée anciennement. Toutefois, plusieurs usines de production de chaux semblent utiliser actuellement les roches à forte teneur en calcaire plutôt que les coquillages.

9- Référence d'application

Usine de Marbleton, 303 rue Principale Ouest, Québec

- Exploitation depuis 1824
- Capacité de production annuelle de 330 000 tonnes
- Référence : http://www.graymont.com/fr_locations_marbleton.shtml

10- Conclusion

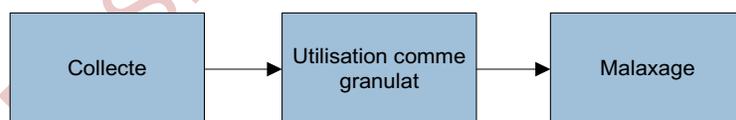
La valorisation des coquilles en chaux est tout à fait réaliste. Toutefois, les méthodes de production contemporaines nécessitent des investissements importants et les faibles volumes de coquilles à valoriser semblent limiter le potentiel de cette technique.

4.2.4 Enrichisseur de moulée pour animaux

Voir enrichisseur de moulée pour animaux dans la section 4.1.9 des carapaces de homards, de crabes et de crevettes. La procédure de valorisation est similaire.

4.2.5 Béton de coquillage

1- Description schématique



2- Fonctionnement

Le béton de coquillage est un matériau ancien surtout utilisé dans des pays d'Afrique tel que la Mauritanie. Le béton classique est constitué principalement de granulats et d'un agent liant comme le ciment. Le principe du béton de coquillage est de remplacer une partie des granulats par des coquilles dans le processus de fabrication (Gueye, 2005).

3- Nature des intrants
Les coquilles qui ne sont pas facilement friables sont les plus utilisées dans le béton (Gueye, 2005). Toutefois, en fonction des applications du béton, d'autres matières résiduelles peuvent être valorisées. Les coquillages, le verre, les fibres de textiles et de bois, les cendres, etc. sont des matières potentiellement valorisables dans les bétons. Les matières critiques ciblées sont les coquillages.
4- Nature des extrants
Béton de coquillage.
5- Possibilité de valorisation des extrants
Les applications des bétons de coquillages sont multiples. Ces bétons sont utilisés aux mêmes fins que les bétons classiques dans plusieurs pays. Toutefois, dans le domaine structurel, les bétons de coquillages n'égalent pas les bétons classiques (Gueye, 2005). Aux Îles-de-la-Madeleine, la valorisation semble donc possible dans des applications à caractères non structurelles seulement.
6- Aspects économiques
Lorsque les coûts d'approvisionnement en granulats sont élevés, l'utilisation de coquillages comme matériaux de substitution peut être avantageuse économiquement. La viabilité économique de la technologie est fonction de multiples facteurs, dont principalement le prix des granulats et le domaine d'application (Gueye., 2005).
7- Aspects environnementaux
L'incorporation de coquillages dans le béton permet de réduire la quantité de granulat requise. Ainsi, les répercussions environnementales, comme le transport et l'extraction de granulats, sont ainsi limitées. Le béton de coquillages se fait par des processus simples qui semblent sans préjudice environnemental important.
8- Degré de développement technologique
La production de béton de coquillage est une technologie éprouvée.

9- Référence d'application

Principalement utilisée en Afrique, surtout en Mauritanie

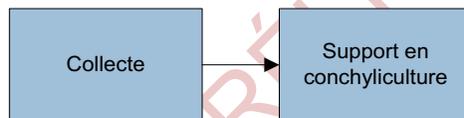
- Béton de coquillages à diverses vocations
- Référence : (Gueye., 2005)

10- Conclusion

Les bétons de coquillages sont des matériaux anciens qui ne sont plus grandement utilisés compte tenu de l'accessibilité contemporaine des granulats. Toutefois, c'est une alternative intéressante dans l'optique où les coûts d'approvisionnement en granulats sont élevés et les propriétés structurelles du béton ne sont pas requises.

4.2.6 Collecteurs en conchyliculture

1- Description schématique



2- Fonctionnement

Des coquilles peuvent être utilisées pour la conchyliculture. Les coquilles sont collectées et mises en eau pour servir de supports, communément appelés «collecteurs», pour les larves de mollusques. Les larves vont se fixer sur les collecteurs et amorcent ainsi leur croissance. Subséquemment, lorsque les juvéniles ont la croissance escomptée, les collecteurs sont récupérés pour procéder au détroquage. Les mollusques sont alors séparés des collecteurs et l'élevage se poursuit par différentes étapes (Helm et Bourne, 2006).

3- Nature des intrants

Les coquilles, l'ardoise, le plastique et le fer sont généralement utilisés comme collecteurs. Les matières résiduelles critiques ciblées sont les coquilles. Dans la littérature, les coquilles les plus utilisées sont celles de bivalves divers, de pectinidés, d'huîtres et de Saint-Jacques. (Helm et Bourne, 2006).

4- Nature des extraits
Non applicable
5- Possibilité de valorisation des extraits
Non applicable
6- Aspects économiques
Les coûts de transport des coquilles qui sont lourdes et volumineuses semblent être une entrave économique à la technique (Helm et Bourne, 2006). Toutefois, la valorisation de coquilles comme collecteurs peut être rentable en fonction du coût des matériaux substitués.
7- Aspects environnementaux
À priori, la valorisation des coquilles en conchyliculture est une technique simple qui semble sans préjudice environnemental significatif. L'impact environnemental du transport des coquilles doit évidemment être considéré dans l'analyse. En fonction des matériaux substitués pour agir à titre de collecteurs, une variabilité dans les impacts environnementaux est notée.
8- Degré de développement technologique
La valorisation de coquilles en conchyliculture est une technologie éprouvée. Un répertoire des entreprises maricoles aux Îles-de-la-Madeleine est disponible sur le site du MAPAQ. En effet, ces entreprises peuvent avoir besoin de collecteurs pour assurer la croissance des larves.
9- Référence d'application
<p>Site maricole Culti-Mer inc., 55, route 199m Fatima, Québec</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Élevage de pétoncle ➤ Référence : http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Peche/Mariculture/sitesmaricoles/repertoiresitesmaricolesilemadeleine/Pages/repertoiresitesmaricolesilemadeleine.aspx
10- Conclusion

La valorisation de coquilles comme collecteurs semble une avenue d'intérêt. La demande de collecteurs aux îles-de-la-Madeleine devrait être étudiée pour qualifier la portée d'application de la technique.

4.2.7 Valorisation artistique

1- Description schématique
<pre>graph LR; A[Collecte] --> B[Valorisation artistique];</pre>
2- Fonctionnement
Certaines matières résiduelles peuvent être valorisées artistiquement. Tout simplement, des matières résiduelles sont valorisées à titre décoratif, en peinture, boucles d'oreilles, en colliers, etc.
3- Nature des intrants
Les matières critiques ciblées par ce type de valorisation sont principalement les coquillages. Toutefois, diverses matières résiduelles peuvent être valorisées par des réalisations artistiques.
4- Nature des extrants
Réalisations artistiques diverses.
5- Possibilité de valorisation des extrants
Les réalisations peuvent être utilisées directement ou vendues commercialement.
6- Aspects économiques
Une grande variabilité économique existe entre les différentes réalisations.
7- Aspects environnementaux

À priori, la valorisation artistique des matières résiduelles ne semble pas causer de préjudice environnemental spécifique. Toutefois, les impacts environnementaux positifs sont limités par les faibles volumes de matières traitées par cette technique.

VERSION PRÉLIMINAIRE

8- Degré de développement technologique

La valorisation artistique de certaines matières résiduelle est éprouvée. Dans certaines régions de l'Afrique, il est commun de décorer le revêtement extérieur des maisons avec des coquillages. De plus, des réalisations artistiques à base de coquillages sont disponibles dans plusieurs magasins.

9- Référence d'application

Alexandre Import Nature, 18 rue Pierre marcel, Gentilly, France

- Diverses réalisations artistiques à base de coquillages
- Référence : <http://www.alexnat.com/boutique/photos.php>

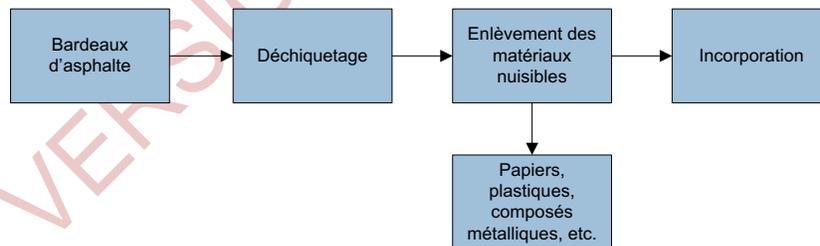
10- Conclusion

Le potentiel de cette technique semble limité par les volumes importants de matières résiduelles à traiter. Finalement, de manière générale, seulement certains types de coquillages sont prisés pour les réalisations artistiques.

4.3 Bardeaux d'asphalte

4.3.1 Incorporation dans les enrobés bitumineux

1- Description schématique



2- Fonctionnement

L'incorporation des bardeaux d'asphalte postconsommation dans les enrobés bitumineux comporte deux étapes préliminaires soit : le déchetage et l'enlèvement des matériaux nuisibles. En fait, l'enlèvement des matériaux nuisibles se fait souvent plus facilement après le déchetage. Les composants métalliques sont retirés à l'aide d'un champ magnétique et la flottation permet l'enlèvement des résidus de papier et de bois (Noël, 2006).

Le déchetage des bardeaux d'asphalte doit permettre de bien répondre à l'application souhaitée. L'incorporation des bardeaux d'asphalte aux enrobés bitumineux demande une taille de morceaux d'un maximum de 13 mm (Noël, 2006). Une taille supérieure nuit à la dispersion des particules et les fait agir comme granulats plutôt qu'enrichisseurs de bitume. Le contrôle de la taille des particules peut se faire par tamisage et le déchetage de bardeaux se fait généralement à l'aide de broyeur à boulets d'acier (Noël, 2006). De plus, il est important de s'assurer que les bardeaux ne s'agglomèrent pas durant le déchetage dû à l'augmentation de leurs températures. Pour remédier à ce problème potentiel, le déchetage peut avoir lieu en hiver, préférentiellement à -10 degrés Celsius (Noël, 2006). Si un déchetage hivernal n'est pas possible, les bardeaux peuvent aussi être arrosés durant le déchetage pour abaisser leur température.

Par la suite, il faut entreposer les particules de façon appropriée ou procéder à l'incorporation directe dans les enrobés bitumineux. Selon une étude réalisée à l'École de technologie supérieure du Québec, l'enrobé bitumineux EB14 est le mieux adapté à l'incorporation de bardeaux d'asphalte recyclés (Noël, 2006). Les particules de bardeaux peuvent être mélangées à des granulats préalablement chauffés et, ensuite, être ajoutées aux enrobés bitumineux. Cette première méthode est plus utilisée. Une seconde méthode consiste à mélanger directement les particules de bardeaux au bitume. De manière générale, les particules de bardeaux d'asphalte peuvent être incorporées aux couches routières de surface et de base jusqu'à 3 % et 5 % en poids respectivement (Germain, 2000).

3- Nature des intrants

Les bardeaux d'asphalte postfabrication et postconsommation déchetés et exempts d'éléments nuisibles peuvent être incorporés aux enrobés bitumineux. La composition intrinsèque des bardeaux est de 30 % à 35 % de bitume, 50 % à 60 % de granulats de petites dimensions et de 1 % à 12 % de fibres organiques ou inorganiques (Noël, 2006).

4- Nature des extrants

En plus des enrobés bitumineux, les extrants sont des composés métalliques, du papier et du plastique. Ces résidus sont extraits lors des processus de transformation (Noël, 2006).

5- Possibilité de valorisation des extrants

Les enrobés bitumineux servent aux constructions routières et les extrants secondaires peuvent être recyclés. Aux États-Unis, BTM A.S et Reclaim inc sont deux fournisseurs de particules de bardeaux d'asphalte postconsommation (Noël, 2006). De plus, la compagnie Sintra, un chef de file dans la construction routière au Québec, utilise des granulats recyclés dans leurs enrobés bitumineux et la compagnie Halifax C&D Recycling récupère des bardeaux d'asphalte en vue de les valoriser.

6- Aspects économiques

Une valorisation locale dans des enrobés bitumineux pourrait générer un bénéfice économique intéressant. De manière générale, le processus est économiquement rentable lorsque le coût de production des particules de bardeaux est inférieur au coût global de la matière substituée (Germain B., 2000). Les coûts gestion des bardeaux d'asphalte doivent évidemment être considérés dans le calcul. Une analyse globale de la situation permettrait de valider l'aspect économique.

7- Aspects environnementaux

Un bénéfice environnemental est tiré de la valorisation des bardeaux d'asphalte dans les enrobés bitumineux. En effet, la consommation des matières premières nécessaire à la fabrication d'enrobés se voit réduite par cette technologie qui semble être sans préjudice environnemental important.

8- Degré de développement technologique

L'incorporation de bardeaux d'asphalte postfabrication et postconsommation aux enrobés bitumineux est une technologie éprouvée, mais en constant développement. En effet, la compagnie Sintra dit avoir multiplié par dix depuis 2005 l'utilisation de granulats recyclés dans ses produits de construction.

9- Référence d'application

Sintra, 4984, place de la Savane, Montréal, Québec

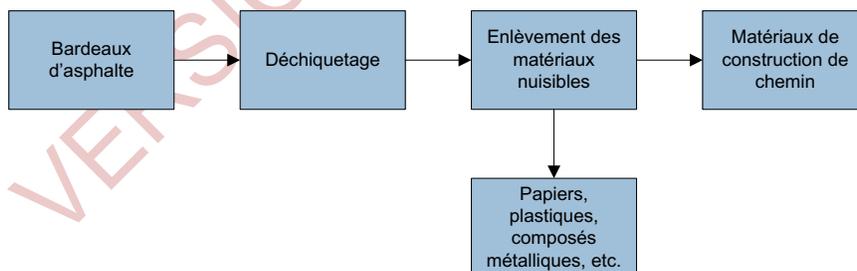
- Aménagements routiers et urbains variés
- Utilisation de 700 000 tonnes de matériaux recyclés annuellement
- Référence : <http://www.sintra.ca/index.php>

10- Conclusion

L'avenue de l'incorporation des bardeaux d'asphalte postconsommation dans les enrobés bitumineux semble prometteuse. Des ententes peuvent aussi être mises de l'avant avec des recycleurs extérieurs. Effectivement, plusieurs entreprises recyclent les bardeaux d'asphalte pour en faire de nouveaux produits ou les valoriser énergétiquement. Le site du Regroupement des Récupérateurs et des Recycleurs de matériaux de Construction et de Démolition du Québec (3R MCDQ)¹⁵, propose une liste d'entreprises œuvrant dans le domaine des matières résiduelles. Plusieurs d'entre elles recyclent les bardeaux d'asphalte. Finalement, le répertoire des récupérateurs, recycleurs et valorisateurs du Québec de RECYC-QUÉBEC peut aussi être un outil intéressant¹⁶.

4.3.2 Construction de chemins

1- Description schématique



¹⁵ Regroupement des Récupérateurs et des Recycleurs de matériaux de Construction et de Démolition du Québec [en ligne] [<http://www.3rmcdq.qc.ca/reguliers.html>], (Consulté le 15 juin 2010).

¹⁶ Répertoire des récupérateurs, recycleurs et valorisateurs du Québec. [en ligne] [<http://www.recyq-quebec.gouv.qc.ca/client/fr/repertoires/rep-recuperateurs.asp>] (Consulté le 15 juin 2010).

2- Fonctionnement

L'incorporation des bardeaux d'asphalte dans la construction de chemins passe par le déchetage et l'enlèvement des matériaux nuisibles. Le tri des bardeaux peut se faire à la main avant de passer au déchetage. Par la suite, les particules de bardeaux d'asphalte sont mélangées à des granulats dont la taille varie de 0 à ¾ de pouce (Germain, 2000). Le produit résultant est utilisé dans la construction de chemins de parc ou de terre. Ces matériaux de construction permettent de limiter l'érosion, de réduire les émanations de poussières et de stabiliser le terrain des chemins (Germain, 2000).

3- Nature des intrants

Les intrants ciblés sont les bardeaux d'asphalte postfabrication et postconsommation. Des résidus de bois de construction, rénovation et démolition (CRD) et des coquillages peuvent aussi être utilisés comme matériau de construction de chemin (Bouchard, 2011). Par contre, peu d'informations sont disponibles à ce sujet.

4- Nature des extrants

Les extrants sont des matériaux de construction de chemin, des composés métalliques, du papier et du plastique. Ces résidus sont extraits lors des processus de transformation (Noël, 2006).

5- Possibilité de valorisation des extrants

Les particules de bardeaux d'asphalte sont utilisées dans la construction de chemin et les extrants secondaires peuvent être recyclés.

6- Aspects économiques

De manière générale, le processus est économiquement rentable lorsque les particules de bardeaux peuvent être générées à un coût inférieur à celui des granulats substitués. Les coûts de gestion des bardeaux d'asphalte doivent évidemment être considérés dans le calcul. Une analyse globale de la situation permet de valider l'aspect économique.

7- Aspects environnementaux

La valorisation des bardeaux d'asphalte dans la construction de chemin permet de limiter les besoins en autres matériaux. Ce type de valorisation se fait par des procédés simples qui semblent sans préjudice environnemental important.

8- Degré de développement technologique

La technologie est éprouvée, mais peu utilisée, car les volumes de bardeaux d'asphalte valorisés sont faibles et les bénéfices économiques sont limités.

9- Référence d'application

Recyclage Enviro-Beauce inc., Saint-Georges, Québec

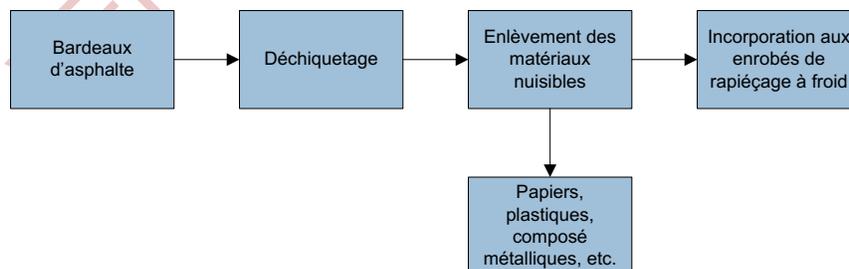
- L'entreprise a déjà œuvré dans le domaine de la construction de chemins secondaires avec incorporation de particules de bardeaux d'asphalte. Elle a été achetée par C S Gestion des matières résiduelles inc. en 1999.
- Référence : (Germain B., 2000).

10- Conclusion

L'incorporation de particules de bardeaux d'asphalte pour la construction de chemin de parc ou de terre est parfois laissée de côté due à un manque de rentabilité et au fait que seulement une faible portion de bardeaux d'asphalte peut être valorisée. Toutefois, le contexte d'application et l'évolution temporelle des coûts de gestion des bardeaux d'asphalte peuvent changer la donne.

4.3.3 Incorporation aux enrobés de rapiéçage

1- Description schématique



2- Fonctionnement
Les enrobés de rapiéçage à froid ou «cold patch» servent à réparer des nids de poules sur les routes. Tout d'abord, les bardeaux d'asphalte sont déchiquetés et exempts de matériaux nuisibles. Par la suite, un solvant est ajouté aux particules de bardeaux afin de rajeunir leurs contenus en bitume oxydé. Un tamisage est employé pour obtenir des particules de bardeaux d'asphalte de 1/4 pouce maximum, lesquelles peuvent être incorporés directement aux granulats pour la préparation d'enrobés de rapiéçage (Germain B., 2000).
3- Nature des intrants
Les bardeaux d'asphalte postfabrication et postconsommation peuvent servir d'intrants.
4- Nature des extrants
En plus des enrobés de rapiéçages, les extrants sont des composés métalliques, du papier et du plastique. Ces résidus sont extraits lors des processus de transformations (Noël, 2006).
5- Possibilité de valorisation des extrants
Les enrobés de rapiéçages servent aux réparations routières et les autres extrants peuvent être recyclés.
6- Aspects économiques
De manière générale, le processus est économiquement rentable lorsque les particules de bardeaux peuvent être générées à un coût inférieur au coût du produit substitué. Les coûts de gestion des bardeaux d'asphalte doivent évidemment être considérés dans le calcul. Une analyse globale de la situation permet de valider l'aspect économique.
7- Aspects environnementaux
La valorisation des bardeaux d'asphalte dans les enrobés de rapiéçages permet de limiter les besoins en autres matériaux. Ce type de valorisation se fait par des processus simples qui semblent sans préjudice environnemental important.
8- Degré de développement technologique
La technologie est éprouvée, mais peu utilisée, car le potentiel de valorisation est limité par les faibles volumes de bardeaux traités (Noël, 2006).

9- Référence d'application

ReClaim Inc., Floride, États-Unis

- L'entreprise vend des produits à base de bardeaux d'asphalte postconsommation dont le produit RePave utilisé pour le rapiéçage.
- Référence : (Germain B., 2000).

10- Conclusion

L'incorporation de particules de bardeaux d'asphalte dans les enrobés de rapiéçage est parfois laissée de côté, car les volumes de bardeaux d'asphalte valorisés sont limités. Un jumelage de cette technique avec d'autres avenues de valorisation des bardeaux d'asphalte pourrait augmenter les volumes valorisés.

4.3.4 Gazéification

Voir gazéification dans la section 4.1.6 des carapaces de homards, de crabes et de crevettes. La procédure de valorisation est similaire.

4.3.5 Incinération

Voir incinération dans la section 4.1.7 des carapaces de homards, de crabes et de crevettes. La procédure de valorisation est similaire.

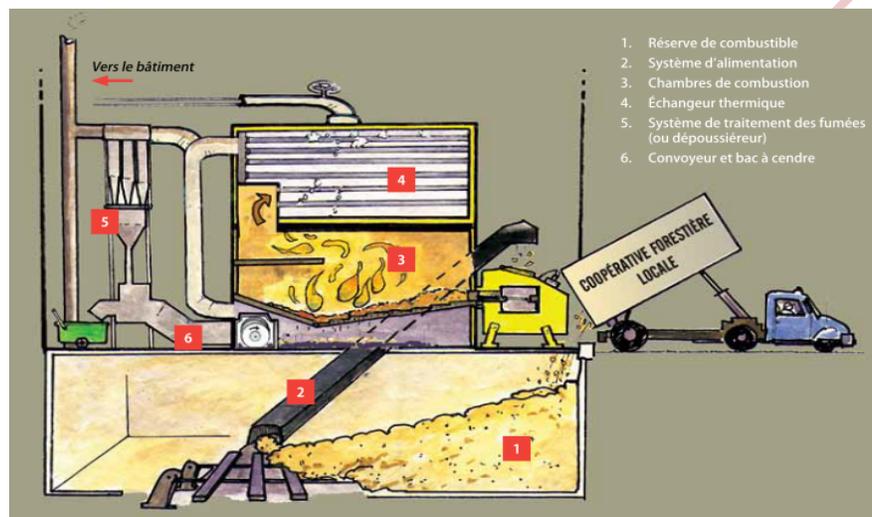
4.3.6 Pyrolyse

Voir pyrolyse dans la section 4.1.8 des carapaces de homards, de crabes et de crevettes. La procédure de valorisation est similaire.

4.4 Bois et branches

4.4.1 Chaudière à biomasse

1- Description schématique



2- Fonctionnement

Le chauffage à la biomasse utilise de la matière organique pour produire de la chaleur. L'énergie thermique produite est transférée à un fluide caloporteur tel de l'eau, de l'huile ou de la vapeur dans le but de chauffer des bâtiments. Sommairement, des biocombustibles sont introduits dans une chambre de combustion de manière manuelle ou automatique pour procéder à leur combustion. En effet, une vis sans fin est souvent utilisée dans les systèmes automatisés pour l'apport en biocombustible. La chambre de combustion est pourvue d'un système d'alimentation en air, d'une sortie de gaz, d'une grille et d'un dispositif d'élimination des cendres. Les apports en biocombustibles et en air sont soigneusement régulés pour maximiser le rendement énergétique du système et la chaleur dégagée par la combustion est transférée, à l'aide d'échangeurs de chaleur, au fluide caloporteur. Finalement, l'énergie thermique contenue dans

¹⁷ Chaudière à biomasse : Un choix éclairé. [en ligne], [http://www.fqcf.coop/fileadmin/user_upload/documents_r%C3%A9f%C3%A9rence/chaufferie_en_biomasse_forestiere_01.pdf]. (Consulté le 27 juin 2010).

les émissions de gaz est aussi récupérée par un échangeur de chaleur pour maximiser le rendement global du système (Canmet., 2000).

3- Nature des intrants

Les biocombustibles, aussi appelés l'or vert, sont d'une grande variabilité. Pour les systèmes automatisés, les intrants communément utilisés sont des copeaux de bois, des résidus de sciure, des résidus agricoles ou forestiers et des produits de biomasse conditionnée. Par exemple, pour les copeaux de bois, un déchiqueteur à marteaux rotatifs est employé pour réduire les apports de biomasse en pièces de moins de 3 pouces. Ces apports proviennent des déchets municipaux forestiers, des déchets de coupe, des emballages industriels (palettes de bois, caisses, boîtes) ou d'autres résidus. Chaque catégorie de biocombustible a ses particularités en termes de coût et de rendement énergétique (Canmet., 2000).

Pour calculer le rendement énergétique du système, la nature des biocombustibles doit être évaluée selon les points suivants : teneur en humidité, teneur en cendres et pouvoir calorifique.

Premièrement, la teneur en humidité du biocombustible influence directement le rendement énergétique de la chaudière et les émissions atmosphériques. Cette teneur s'évalue par le rapport de la masse d'eau sur la masse totale du biocombustible (Canmet., 2000). Il est souhaitable d'avoir un biocombustible avec la plus faible teneur en humidité possible et un lieu d'entreposage sec pour le conserver.

Deuxièmement, la teneur en cendre est fonction de la proportion de contaminants dans les biocombustibles et dicte des particularités d'opération de la chaudière. En effet, pour un biocombustible à forte teneur en cendres, l'élimination à chaud des cendres doit être limitée pour maximiser le rendement énergétique de la chaudière (Canmet., 2000).

Enfin, le pouvoir calorifique donne une mesure de la quantité de chaleur dégagée lors de la combustion des biocombustibles, soit l'enthalpie de la réaction. Cette valeur est fonction des propriétés intrinsèques du biocombustible incluant sa teneur en humidité et en cendres (Canmet., 2000).

Les biocombustibles sont généralement livrés par camion ou produit sur place. Lorsque les biocombustibles ont des teneurs en humidité faibles et une taille fine (grande surface de contact), des chaudières à lit en suspension sont utilisées. Si les biocombustibles sont de qualité inférieure, des chaudières à lit fluidisé sont employées. De plus, des chaudières au gaz ou au mazout peuvent parfois être adaptées pour valoriser des biocombustibles. Dans un tel cas,

l'emploi de gazogène pour transformer les biocombustibles en gaz combustible permet d'utiliser la chaudière d'origine (Canmet., 2000). La conception du système doit être adaptée à chaque situation. Une analyse détaillée doit être mise en place pour optimiser la rentabilité énergétique et économique des installations.

4- Nature des extrants

L'utilisation de biocombustibles de bonne qualité produit très peu de matières résiduelles. Les extrants sont principalement des émissions atmosphériques et des cendres. À titre indicatif, la teneur en cendre des biocombustibles faits à partir de bois propre est de 0,5 % (Canmet, 2000).

5- Possibilité de valorisation des extrants

Normalement, les cendres en provenance des chaudières à biomasse ne sont pas considérées comme des matières dangereuses selon le règlement de la Loi sur la qualité de l'environnement.¹⁸ Conséquemment, plusieurs alternatives de disposition et de valorisation sont possibles. Le guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) est explicite sur le sujet (Bruelle, 2002). Des techniques classiques de disposition sont l'épandage dans les champs et les boisés, les amendements pour le sol ou l'élimination dans des lieux de décharge.

6- Aspects économiques

Le chauffage à la biomasse procure de l'énergie bon marché, à un prix souvent inférieur à celui des combustibles fossiles. De plus, les biocombustibles ont des prix historiquement plus stables que les hydrocarbures. Lorsqu'il est possible de se procurer de la biomasse à faible coût, voire gratuitement, ou lorsqu'il y a des coûts reliés à l'élimination des résidus de biomasse, le bénéfice économique augmente. Les coûts d'immobilisation des installations de chauffage à la biomasse se situent entre 50 \$ et 120 \$ par mégajoule d'énergie produite (Canmet, 2000). Les projets importants de chaudière à biomasse requièrent des études de faisabilité. Le site d'implantation ainsi que les ressources en biomasse doivent être étudiés. Une étude préliminaire sur la viabilité financière d'un projet de chauffage à biomasse peut être réalisée à l'aide du logiciel RETScreen (Canmet., 2000). Finalement, plusieurs firmes d'ingénierie ont une grande expertise dans les projets d'efficacité énergétique et de chauffage à la biomasse.

¹⁸ Loi sur la qualité de l'environnement. [en ligne], [http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R32.HTM] (Consulté le 18 juillet 2010).

7- Aspects environnementaux

Le chauffage à la biomasse procure une source d'énergie renouvelable. Les contraintes liées à la disponibilité primaire de la ressource sont donc inférieures à celles des énergies non renouvelables. De plus, le bilan carbone des chaudières à biomasse est qualifié de neutre (Canmet, 2000). En effet, les émissions de dioxyde de carbone de la combustion sont compensées par la fixation du carbone par la matière organique au cours de sa croissance. Par contre, une augmentation des émissions de gaz à effet de serre est notée si le biocombustible possède un fort taux d'impureté. Normalement, une chaudière à biomasse efficace énergétiquement produit de très faibles émissions de CO, NO_x et d'autres gaz. En revanche, quelques rejets de poussière sont générés lors de la combustion. Conséquemment, les biocombustibles doivent être gérés adéquatement pour limiter les possibilités de contamination et maximiser leurs rendements énergétiques. La production de biocombustible doit aussi être réalisée de façon durable pour limiter la déforestation et l'empreinte écologique.

8- Degré de développement technologique

Les technologies de chauffage à la biomasse sont largement utilisées à l'échelle mondiale. Ce sont des applications flexibles et éprouvées. En effet, le degré de développement technologique assure une fiabilité technique. Les systèmes de chauffage à la biomasse peuvent être installés dans une multitude de secteurs et la production énergétique est facilement adaptable en fonction des besoins. Plusieurs exemples de projets de chaudière à biomasse sont disponibles dans la littérature.

9- Références d'application

9.1-Le Centre de santé et de services sociaux Domaine-du-Roy (CSSS), Québec

- Cout de l'investissement : 4 700 000 \$
- Économie annuelle : 730 000 \$
- Date d'entrée en service : 2009
- Capacité des chaudières : 4500KW
- Entreprise responsable et fabricant : Écosystème et Alco-TMI d'Alma
- Référence : <http://www.letoledulac.com/Ressources-naturelles/2009-02-16/article-1614575/Le-CSSS-reçoit-sa-nouvelle-chaudiere-biomasse/1>

9.2- Municipalité du Mont-Carmel, Québec

- Cout de l'investissement : 23 642 \$
- Économie annuelle : 2 354 \$
- Date d'entrée en service : 2011
- Capacité des chaudières : 73KW
- Entreprise responsable et fabricant : R+O Énergie et Groupe Malenfant Inc.
- Référence : http://www.mont-carmel.ca/medias/structure/Rapport_Transfert_de_connaissances_Biomasse_Mont-Carmel.pdf

9.3- Le Centre de santé et de services sociaux (CSSS) de la Matapédia, Québec

- Cout de l'investissement : 1 260 750 \$
- Économie annuelle : 132 387 \$
- Date d'entrée en service : Décembre 2009
- Capacité des chaudières : 500KW et 800KW
- Fabricant : Idéal Combustion
- Partenaire financier :
 - Ministère de la Santé et des Services sociaux
 - Agence de santé et de service social du Bas-Saint-Laurent
 - Laboratoire rural « Bois énergie de la Matapédia »
 - Agence de l'efficacité énergétique du Québec
- Retour sur l'investissement : 7 ans
- Chaudière : à grilles mobiles
- Réserve à biomasse : capacité de 145 mètres cubes
- Système de contrôle : automatique, à distance
- Référence : http://www.canbio.ca/events/ottawa10/legare_f.pdf

10- Conclusion

Les chaudières à biomasse peuvent être utilisées en complément d'apport énergétique pour le chauffage de bâtiments. Des systèmes jumelant le chauffage à la biomasse avec d'autres sources d'énergie tels les panneaux photovoltaïques peuvent aussi être réalisés. Aux Îles-de-la-Madeleine, l'approvisionnement en biocombustibles pourrait se faire avec de la biomasse en provenance du CGMR. Des études sur le potentiel de valorisation énergétique de la biomasse du CGMR seraient nécessaires.

4.4.2 Paillis horticole

1- Description schématique



2- Explication

Les paillis horticoles sont composés de matières organiques ou inorganiques et servent à recouvrir les sols. La principale étape de production consiste au broyage des matières. Par la suite, un tamisage, une coloration, un séchage et une mise en sac sont effectués si applicable (Bouchard, 2011).

3- Nature des intrants

Les paillis horticoles proviennent de résidus de palette, de rebuts de construction, de particules d'usines de sciages, de branches, d'arbres, etc. Les matières critiques ciblées par cette technique de valorisation sont le bois et les branches.

4- Nature des extrants

Paillis horticole.

5- Possibilité de valorisation des extrants

Les paillis horticoles sont valorisés dans les plates-bandes, dans les aires de jeux et dans diverses applications de recouvrement de sol.

6- Aspects économiques
De manière générale, le paillis horticole est un produit à faible valeur ajoutée. Toutefois, il y a une demande saisonnière en croissance pour les paillis horticoles (Bouchard, 2011). En fonction des coûts de production et de la demande, l'aspect économique pourrait être qualifié.
7- Aspects environnementaux
Les paillis sont reconnus pour retenir l'humidité des sols, limiter la croissance des mauvaises herbes, avoir des qualités esthétiques appréciables, fournir des nutriments aux sols, etc. (Bouchard, 2011). La valorisation de matières résiduelles par cette technique s'inscrit dans un modèle de développement durable avec des bénéfices environnementaux multiples.
8- Degré de développement technologique
Selon le ministère de ressources naturelles de la faune et des parcs, il y a une douzaine de producteurs de paillis au Québec et des producteurs utilisent des matériaux postconsommation dans les processus de fabrication (Bouchard, 2011). La technologie semble éprouvée au plan technique.
9- Références d'application
<p>Biopel Inc., 460 Rang Brodeur, St-Eugène, Québec</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Fabrication de paillis colorés avec des résidus de bois ➤ Référence : http://www.biopelinc.com/ <p>Revêtement maibec, 250-1990, 5e rue, Saint-Romuald, Québec</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Paillis horticole et divers produits de bois. ➤ Référence : http://www.maibec.com/en/
10- Conclusion
Une caractérisation des matières résiduelles ciblées par cette technique serait nécessaire pour vérifier la portée de l'application. Plus d'informations sur les paillis horticoles sont disponibles dans le document : Profile des produits forestiers premières transformations du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs (Bouchard, 2011).

4.4.3 Copeaux enrichisseurs de compost

Voir compostage dans la section 4.1.4 des carapaces de homards, de crabes et de crevettes. La procédure de valorisation est similaire.

4.4.4 Fabrication de briquettes, de bûches et de granules

1- Description schématique
<pre>graph LR; A[Collecte] --> B[Broyage]; B --> C[Compaction];</pre>
2- Fonctionnement
Certaines matières résiduelles peuvent être valorisées sous forme de granules, de bûches et de briquettes valorisables énergétiquement. De manière générale, les résidus sont broyés puis compactés, sans additif adhésif, selon la taille voulue. Des granules à haut rendement énergétique sont aussi produites avec des particules de bois densifiés et torréfiées (Bouchard, 2011). De plus, le centre de tri de déchets de Port au Prince, en Haïti, utilise le papier et le carton dans leurs procédés de fabrication de bûchettes. La procédure consiste en un mélange de 2 volumes de papier, 2 volumes de sciure et 1 volume de carton ¹⁹ . Des étapes de trempage, pressage et séchage sont part intégrante du processus.
3- Nature des intrants
Les matières critiques ciblées sont le bois, les branches, le papier et le carton. Toutefois, l'utilisation de papier et de carton semble limiter le rendement énergétique des produits générés. Les résidus de bois sont les intrants les plus utilisés.
4- Nature des extrants
Bûches, briquettes, et granules.
5- Possibilité de valorisation des extrants
Les produits sont valorisés sous forme de combustibles pour foyer, chaudières, etc.
6- Aspects économiques
Plusieurs compagnies valorisent les résidus de bois par une production de granules, bûches et briquettes. Le prix et le rendement énergétique des produits générés sont généralement

¹⁹ Bûchettes artisanales [en ligne] : [<http://www.cifal-ouaga.org/cd/P-dechets/CEFREPADE2.pdf>] (Consulté le 21 juillet 2010).

supérieurs à celui du bois de combustion traditionnel. L'analyse de la demande et des coûts de production de ces produits permettrait de qualifier l'aspect économique.

7- Aspects environnementaux

Généralement, les produits ont un taux d'humidité faible et un pouvoir calorifique élevé. Conséquemment, le taux de cendre et les émissions atmosphériques sont faibles. Les produits générés avec du papier et du carton semblent toutefois avoir des répercussions environnementales plus importantes et des émissions atmosphériques supérieures. Enfin, ce type de valorisation énergétique procure une source d'énergie renouvelable.

8- Degré de développement technologique

Plusieurs compagnies œuvrent dans la production de bois densifié au Québec, avec une production annuelle totale d'environ 200 000 tonnes (Bouchard, 2011). La production de bûches, granules et briquette semble être une technologie éprouvée et appliquée à grande échelle. Enfin, les produits sont générés majoritairement à partir de résidus de bois plutôt qu'avec du papier et du carton.

9- Références d'application

Buches Énergie, 3095, Boul. Hamel, Québec

- Fabrication et distribution de bûches, buchettes et granules.
- Référence : <http://bucheenergie.com/index.php?id=102>

Bioflamme, 160 Avenue St-Sacrement, Québec

- Produits de combustion composés de bois recyclé
- Référence : <http://www.bioflamme.net/produits.php>

10- Conclusion

Les quantités de résidu potentiellement valorisables par cette technique peuvent être étudiées pour qualifier l'applicabilité. Toutefois, la variabilité des résidus de bois à traiter aux CGMR des Îles-de-la-Madeleine semble toutefois être une entrave au potentiel de la technique. Des ententes peuvent aussi être mises de l'avant avec des entreprises œuvrant dans le domaine.

4.4.5 Litière et absorbant

1- Description schématique
<pre>graph LR; A[Collecte] --> B[Triage]; B --> C[Broyage];</pre>
2- Fonctionnement
Des résidus peuvent être utilisés dans la fabrication de litière pour animaux et d'absorbant industriel. Les matières doivent être analysées selon leurs contenus en contaminants, broyées et parfois densifiées (Bouchard, 2011).
3- Nature des intrants
Les intrants ciblés sont le bois, surtout celui de construction, rénovation et démolition (CRD). En effet, les résidus qui semblent les plus employés sont les CRD avec des faibles taux d'humidités et de contaminants. La nature des intrants influence les usages potentiels.
4- Nature des extrants
Litière et absorbant.
5- Possibilité de valorisation des extrants
Marché commercial ou autre.
6- Aspects économiques
La rentabilité économique de la technique est fonction de la demande et des coûts de production. Une grande variabilité existe dans le potentiel économique de la technique.
7- Aspects environnementaux
À priori, la valorisation de matières résiduelles litière ou absorbant est une technique simple et qui semble sans préjudice environnemental majeur.

8- Degré de développement technologique

La production de litières et d'absorbants à partir de résidus de bois est éprouvée. Toutefois, les résidus doivent être caractérisés, car ils ne peuvent pas tous être utilisés directement.

9- Référence d'application

Compagnie de Produits Favorite Ltée, 730 rue Salaberry, Québec

- Fabrication d'absorbants et litières.
- Référence : (Bouchard M., 2011)

10- Conclusion

Le potentiel de cette technique semble limité par la portée d'application et l'hétérogénéité des apports en bois du CGMR des Îles-de-la-Madeleine.

4.4.6 Fabrication de divers matériaux

1- Description schématique



2- Fonctionnement

Divers matériaux peuvent être fabriqués avec des matières résiduelles riches en fibres de bois. Par exemple, la fabrication de panneaux, de matériaux isolants, de bois-ciment, de bois-gypse, de bois d'ingénierie, etc. permet de valoriser des résidus de bois. Les procédures de fabrication sont fonction du matériau produit. De manière générale, les procédés de production utilisent différents résidus de bois, un collage et une mise en forme précise.

3- Nature des intrants

Les résidus de bois et des résines de plastiques sont les intrants les plus utilisés (Bouchard, 2011). Les matières critiques ciblées sont le bois et les branches.

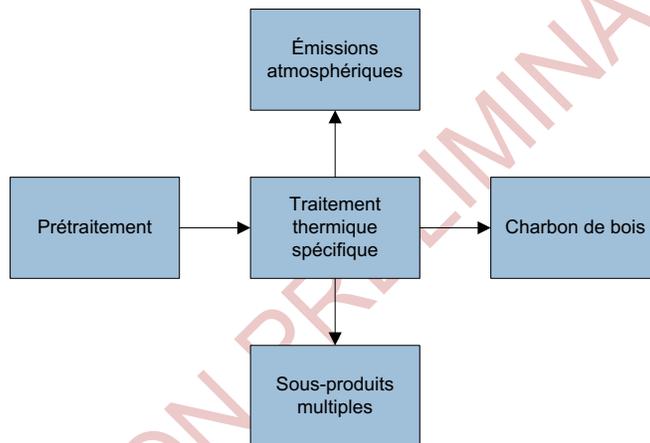
4- Nature des extrants
Des exemples de produits sont le bois-plastique, le bois lamellé, divers panneaux, du bois d'ingénierie, des composites, des contre-plaqués, etc. De manière générale, les compagnies œuvrant dans ce domaine de valorisation des matières résiduelles ont des gammes de produits très variés. Des exemples concrets de tels matériaux commercialisés se trouvent sur le site de la compagnie Cascade, référencée au point neuf.
5- Possibilité de valorisation des extrants
Marché commercial ou autre.
6- Aspects économiques
La rentabilité économique de la technique est fonction de la demande et des coûts de production. Généralement, les produits ont une forte valeur ajoutée sur le marché.
7- Aspects environnementaux
À priori, la valorisation du bois en matériaux divers semble bénéfique au plan environnemental, car elle permet la valorisation de résidus de bois, plastiques, etc. Toutefois, en fonction des procédés de fabrication appliqués, les répercussions environnementales sont plus ou moins importantes. Certains procédés de fabrication peuvent être énergivores et polluants.
8- Degré de développement technologique
La production des divers matériaux à partir de résidus de bois est éprouvée.
9- Références d'application
<p>Cascades, 1350 chemin Quatre-Saisons, Notre-Dame-de-Bon-Conseil, Québec</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Fabrication de matériaux divers fait à partir de matières recyclés et plus. ➤ Mise en service depuis : 1957 ➤ Références : http://www.cascades.com/produits/meubles-materiaux-construction <p>Matériaux Spécialisés Louiseville, 161 rue St-Paul, Québec</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Fabrication de divers panneaux de fibre de bois recyclé ➤ Référence : (Bouchard M., 2011)

10- Conclusion

Le potentiel de cette technique semble limité par la portée d'application et l'hétérogénéité du bois au CGMR des Îles-de-la-Madeleine. En effet, le bois pourri ou traité a un potentiel de valorisation plus limité. Toutefois, une caractérisation des résidus permettrait de valider la portée d'application de la technique.

4.4.7 Charbon de bois

1- Description schématique



2- Fonctionnement

Le charbon de bois peut être utilisé comme combustible ou dans divers domaines comme la métallurgie, la chimie, l'agriculture et la filtration (Bouchard, 2011). Il s'obtient par la carbonisation du bois dans un environnement sans oxygène et dans des conditions thermiques contrôlés. Ainsi, l'humidité et les composés volatils sont retirés du bois pour générer un produit à haute teneur en carbone. Les procédés de fabrication sont variables en fonction du type de four utilisé, du mode de chauffage, de la pression maintenue, de la matière première et de l'application visée (Bouchard, 2011). Par exemple, un système de production typique peut inclure un prétraitement de broyage des matières, un traitement thermal spécifique dans un réacteur en anaérobie et une séparation finale des produits générés. Le traitement thermique se fait par différentes étapes de gradation de température entre 20 et 550 degrés Celsius pour

permettre le séchage et la fixation du carbone dans le bois²⁰. Enfin, les processus de fabrication contemporains sont généralement complexes et nécessitent des systèmes de traitement des émissions atmosphériques.

3- Nature des intrants

Toutes matières organiques végétales riches en carbone peuvent servir d'intrants (Bouchard, 2011). Selon la compagnie Chartherm, il est même possible de valoriser le bois traité par la production de charbon de bois²¹. Les matières critiques ciblées sont le bois et les branches.

4- Nature des extrants

Les produits générés sont du charbon de bois et des sous-produits de transformation en quantités variables selon les procédés utilisés. Les sous produits principaux sont de l'acide acétique, du méthanol, de l'acétone, du méthyle acétone, du goudron de bois, et des émissions atmosphériques.

5- Possibilité de valorisation des extrants

Le charbon de bois peut être valorisé sous forme énergétique, en agriculture, en chimie, en métallurgie, etc. La valorisation des sous-produits est fonction du degré de recouvrement possible suite aux processus de production. Par exemple, le goudron de bois insoluble a des applications en médecine vétérinaire comme antiseptique ou en tant qu'agent de préservation du bois. De plus, certains gaz générés peuvent être valorisés énergétiquement. Une grande variabilité existe dans les opportunités de valorisation des extrants. Plus d'informations sont disponibles dans le document : Industrial charcoal making technologies²².

6- Aspects économiques

Les méthodes contemporaines de production du charbon de bois nécessitent des investissements importants comparativement aux méthodes traditionnelles. Pour qualifier l'aspect économique d'une production de charbon de bois, une analyse globale de la situation doit être réalisée due à la grande variabilité des coûts de production. Des exemples de préétudes

²⁰ Wood carbonisation and the products it yields. [en ligne]
[<http://www.fao.org/docrep/X5555E/x5555e03.htm#TopOfPage>] (Consulté le 5 août 2011).

²¹ A system for recycling old wooden poles and other treated wood. [en ligne]
[<http://www.chartherm.com/>] (Consulté le 1 août 2011).

²² Industrial charcoal making technologies [en ligne]
[<http://www.fao.org/docrep/X5555E/x5555e03.htm#TopOfPage>] (Consulté le 5 août 2011).

de faisabilité économique sont présentés dans le document Industrial charcoal making technologies²³.

7- Aspects environnementaux

L'aspect environnemental dépend grandement du type de système de production et des intrants utilisés. Toutefois, la fabrication de charbon de bois est reconnue pour générer des émissions atmosphériques constituées de CO₂, CO, H₂, CH₄, etc. (Bouchard, 2011). De plus, des poussières, des eaux usées et des odeurs sont émises. Un système adapté de traitement des fumées permet de limiter les répercussions environnementales négatives. En effet, des fabriques traditionnelles de charbon de bois ont été contraintes de cesser leurs opérations dues à l'augmentation des pressions législatives environnementales. Finalement, le bilan carbone de la combustion directe du charbon de bois est considéré neutre.

8- Degré de développement technologique

La fabrication de charbon de bois est une technologie éprouvée qui est pratiquée depuis l'antiquité selon des méthodes traditionnelles. Plusieurs entreprises œuvrent toujours dans ce domaine à l'échelle mondiale (Bouchard, 2011).

9- Référence d'applicabilité

Charbon de bois franc Basques, 121 rue Alphonse, Sainte-Luce, Québec

- Production de charbon de bois depuis plus de trente ans
- Référence : <http://www.charbonbasques.com/produits.php>

Charbon de bois feuille d'érable, 168 Ste Anne Sainte-Christine-D'auvergne, Québec

- Entreprise spécialisée dans le recyclage des produits forestiers en charbon de bois
- Référence : <http://www.weblocal.ca/charbon-de-bois-feuille-derable-inc-sainte-christine-dauvergne-qc.html>

²³ Wood carbonisation and the products it yields. [en ligne]
[<http://www.fao.org/docrep/X5555E/x5555e03.htm#TopOfPage>] (Consulté le 5 août 2011).

10- Conclusion

Les coûts d'implantations importants d'installations de production de charbon de bois semblent limiter l'intérêt de cette technique. En plus, le charbon de bois à forte valeur ajoutée est souvent fait avec des types de bois spécifiques comme de l'érable. La variabilité des résidus de bois aux CRMG semble limiter la portée d'application de cette technique.

4.4.8 Construction de chemins

Voir construction de chemins dans la section 4.3.2 des bardeaux d'asphalte. La procédure de valorisation est similaire.

4.4.9 Gazéification

Voir gazéification dans la section 4.1.6 des carapaces de homards, de crabes et de crevettes. La procédure de valorisation est similaire.

4.4.10 Incinération

Voir incinération dans la section 4.1.7 des carapaces de homards, de crabes et de crevettes. La procédure de valorisation est similaire.

4.5 Papier et carton

4.5.1 Chaudières à biomasse

Voir chaudière à biomasse dans la section 4.4.1 du bois et des branches. La procédure de valorisation est similaire.

4.5.2 Ensemencement hydraulique

1- Description schématique
<pre>graph LR; A[Collecte] --> B[Transformation en paillis]; B --> C[Mise en mélange];</pre>
2- Fonctionnement
Lorsque la superficie d'un terrain à ensemer est considérable, l'ensemencement hydraulique est une avenue intéressante. En effet, l'ensemencement hydraulique est souvent utilisé pour mettre des semences sur les bords de routes et d'autoroutes. Cette technique consiste en l'arrosage des terrains à ensemer par un mélange liquide (Bouchard, 2011). Ce mélange est préalablement conçu de semences, d'engrais, d'un agent liant et de paillis. Le paillis permet la valorisation de matières résiduelles, car il peut être composé de fibres de bois et de papier.
3- Nature des intrants
Les paillis d'ensemencement sont faits à partir de résidus de bois, de différentes fibres cellulosiques et de fibres synthétiques (Bouchard, 2011). Les matières critiques ciblées par cette technique sont le papier, le carton et le bois.
4- Nature des extrants
L'ensemencement hydraulique composé en partie de paillis est l'extrait principal.

5- Possibilité de valorisation des extrants
L'ensemencement hydraulique permet de mettre des semences sur surfaces variés. Le paillis sert à stabiliser la mise en place des semences et à l'obtention de conditions de croissances favorables.
6- Aspects économiques
L'ensemencement hydraulique est 60 % moins cher que la pose de tourbe traditionnelle et il est possible d'ensemencer des endroits difficilement accessibles autrement (Bouchard, 2011). Une étude de la demande pour l'ensemencement hydraulique permettrait de qualifier le potentiel économique de la technique.
7- Aspects environnementaux
À priori, la valorisation de matières résiduelles en paillis pour l'ensemencement hydraulique semble être sans préjudice environnemental. Toutefois, si la demande pour l'ensemencement hydraulique est faible, les avantages environnementaux sont limités par les faibles volumes de matières résiduelles valorisés.
8- Degré de développement technologique
L'ensemencement hydraulique avec paillis est éprouvé et plusieurs entreprises œuvrent dans le domaine.
9- Référence d'application
<p>Botanix, Hortibeauce, 333, route Cameron, Sainte-Marie, Québec</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ensemencement hydraulique, jardinerie, aménagements divers, etc. ➤ Référence : http://www.hortibeauce.com/
10- Conclusion
Le potentiel de cette technique semble limité par les faibles volumes de papier valorisés. De plus, dans le contexte des Îles-de-la-Madeleine, la portée d'application peut être limitée par une faible demande pour l'ensemencement hydraulique.

4.5.3 Ouate de cellulose

1- Description schématique
<pre>graph LR; A[Triage] --> B[Broyage et déchiquetage]; B --> C[Enlèvement des éléments nuisibles]; C --> D[Traitement];</pre>
2- Fonctionnement
<p>La ouate de cellulose est un isolant écologique fabriqué à base de journaux recyclés et de minéraux. Le papier journal est trié, broyé, déchiqueté et exempt de tous les éléments nuisibles de manière automatisée. Par la suite, des minéraux et des agents chimiques sont ajoutés pour rendre la ouate de cellulose résistante au feu, aux insectes, aux rongeurs et aux moisissures. Le traitement consiste en l'ajout de minerais, de sel de bore et de sulfates. Finalement, le produit résultant est mis en sac ou transformé en panneaux semi-rigides pour une utilisation subséquente comme isolant thermique²⁴.</p>
3- Nature des intrants
<p>Le papier journal et le sel de bore sont les principaux intrants. La matière critique ciblée est le papier.</p>
4- Nature des extrants
<p>Les extrants sont de la ouate de cellulose et des panneaux semi-rigides cellulosiques.</p>
5- Possibilité de valorisation des extrants
<p>La ouate et les panneaux semi-rigides cellulosiques sont utilisés pour l'isolation des bâtiments. Ces isolants écologiques remplacent les isolants de fibres minérales traditionnelles. Toutefois, Santé Canada spécifie que la vente, l'importation et la publicité de fibres cellulosiques devant servir d'isolant thermique, à bourrage lâche, à l'intérieur des bâtiments sont interdites à moins</p>

²⁴ Ouate de cellulose : L'isolation en papier recyclé: [en ligne] [<http://www.ddmagazine.com/2008012175/Guides-pratiques/Ouate-de-cellulose-l-isolation-en-papier-recycle.html>] (Consulté le 2 août 2011).

de satisfaire aux exigences du *Règlement sur les produits dangereux (isolant cellulosique)*. Le Règlement peut être consulté sur le site du Ministère de la Justice référencé ci-dessous²⁵.

6- Aspects économiques

La ouate de cellulose est de deux à quatre fois plus cher, pour les mêmes conditions de mise en œuvre, que la laine minérale. Toutefois, sa durée de vie est estimée à plus de 60 ans comparativement à celle de la laine minérale qui est de 25 à 35 ans²⁶.

7- Aspects environnementaux

La ouate de cellulose est un matériau prisé en écoconstruction pour ces impacts environnementaux positifs. Sa production permet de valoriser du papier et consomme environ dix fois moins d'énergie que la fabrication d'isolant de fibre minérale²⁷. De plus, il est possible d'isoler les endroits difficilement accessibles et ainsi améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Les isolants de celluloses sont reconnus pour avoir des capacités thermiques et phoniques excellentes. Enfin, la fabrication de ouate de cellulose semble avoir une faible empreinte écologique.

8-Degré de développement technologique

La production de ouate et de panneaux de cellulose est une technologie éprouvée.

9- Référence d'application

Benolec, 1451, rue Nobel, Sainte-Julie, Québec

- Mise en service depuis 1978
- Produits à base de fibres cellulosiques, etc.
- Référence : <http://www.benolec.com/index.php>

²⁵ Règlement sur les produits dangereux (Isolant cellulosique) :[en ligne] [<http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-79-732/page-1.html>] (Consulté le 2 août 2011).

²⁶ Ouate de cellulose : L'isolation en papier recyclé: [en ligne] [<http://www.ddmagazine.com/2008012175/Guides-pratiques/Ouate-de-cellulose-l-isolation-en-papier-recycle.html>] (Consulté le 2 août 2011)

²⁷ Ouate de cellulose : L'isolation en papier recyclé: [en ligne] [<http://www.ddmagazine.com/2008012175/Guides-pratiques/Ouate-de-cellulose-l-isolation-en-papier-recycle.html>] (Consulté le 2 août 2011)

10- Conclusion

Le potentiel de valorisation du papier journal en isolant de cellulose semble intéressant. À cet effet, la grande expertise de l'entreprise Benolec pourrait servir à qualifier le potentiel d'application de cette technique. Finalement, si une valorisation locale n'est pas viable, des ententes avec des entreprises pour une valorisation extérieure pourraient être profitables.

4.5.4 Compostage

Voir compostage dans la section 4.1.4 des carapaces de homards, de crabes et de crevettes. La procédure de valorisation est similaire.

4.5.5 Fabrication de bûchettes

Voir fabrication de briquettes, bûches et granules dans la section 4.4.4 du bois et des branches. La procédure de valorisation est similaire.

4.5.6 Pyrolyse

Voir pyrolyse dans la section 4.1.8 des carapaces de homards, de crabes et de crevettes. La procédure de valorisation est similaire.

4.5.7 Gazéification

Voir gazéification dans la section 4.1.6 des carapaces de homards, de crabes et de crevettes. La procédure de valorisation est similaire.

4.5.8 Incinération

Voir incinération dans la section 4.1.7 des carapaces de homards et de crabes. La procédure de valorisation est similaire.

4.6 Cendres

4.6.1 Actions à entreprendre pour cibler les scénarios de valorisation

Pour identifier les scénarios de valorisation des cendres d'incinération, il faut déterminer si elles sont considérées comme une matière dangereuse selon le point 3 du règlement sur les matières dangereuses de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE) du gouvernement du Québec²⁸. À cet effet, un test de lixiviation doit être réalisé sur les cendres pour évaluer leur teneur en contaminants. La liste des contaminants ainsi que la concentration maximale permise sont explicites dans la LQE. Le centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ)²⁹ propose des laboratoires accrédités pour réaliser les analyses.

Par la suite, le guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses de source industrielles comme matériau de construction du MDDEP permet de cibler les opportunités de valorisation des cendres (Burelle S., 2002). Avec les résultats d'analyses, la classification des cendres selon une des trois catégories de matériaux permet de cibler les scénarios de valorisation. Par exemple, les matériaux de première catégorie ont des usages plus permissifs que les matériaux de la catégorie trois. La figure 1, ci-dessous, expose les différents scénarios en fonction de chaque catégorie de matériaux.

4.6.1 Actions entreprises aux Îles-de-la-Madeleine

Une prise d'échantillons des cendres d'incinération a été réalisée sur le site du CGMR des Îles-de-la-Madeleine. La firme Biogénie, qui possède une grande expertise en valorisation et gestion de matières résiduelles, a réalisé l'analyse préliminaire constituée d'un test de lixiviation pour évaluer les concentrations de contaminants dans les cendres. Quatre échantillons de cendres ont été envoyés aux laboratoires de biogénie.

L'identification des scénarios de valorisation pour les cendres est toujours en cours. Un contact téléphonique a été réalisé avec M. Daniel Bourque, directeur chez Biogénie, le 9 août 2011 par M. Charles Légaré Bilodeau du CERMIM. Lors de cet appel, M. Bourque a informé le CERMIM

²⁸Loi sur la qualité de l'environnement. [en ligne], [http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R32.HTM] (Consulté le 26 juillet 2011).

²⁹ CEAEQ. [en ligne] [http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/centre/reenseignements.htm] (Consulté le 10 août 2011)

que Biogénie avait reçu les résultats d'analyses des cendres et que le test de génération d'acide par le soufre était négatif.

Conséquemment, les cendres seront classées dans une des catégories de matériaux définies dans le guide de valorisation des matières inorganiques du MDDEP. En accord avec le guide, Biogénie doit proposer des avenues de valorisation des cendres au CERMIM. À partir du 12 août 2011, M. Thibaud Durbecq du CERMIM assurera le suivi du dossier.

Tableau 1 - Utilisation en fonction des catégories de matériaux

UTILISATION	CATÉGORIES DE MATÉRIAUX		
	I	II	III
1. Construction ou réparation de routes et de rues (y compris celles des secteurs résidentiels)			
Sous-fondation	oui	oui	
Fondation – routes asphaltées	oui	oui	
Fondation – routes non asphaltées	oui		
Accotement asphalté	oui	oui	
Accotement non asphalté	oui		
Emprunt pour remblai et coussin	oui	oui	
Couche filtrante	oui	oui	
Couche anticontaminante	oui	oui	
Criblure	oui	oui	
Filler minéral	oui	oui	oui
Traitement de surface	oui	oui	oui
Enrobés à chaud	oui	oui	oui
Enrobés à froid	oui	oui	oui
Granulats pour coulis de scellement	oui	oui	oui
Béton maigre	oui	oui	oui
2. Granulats pour abrasifs d'hiver			
3. Construction sur des terrains résidentiels			
Allée pour automobile (restriction supplémentaire : granulométrie > 5 mm)	oui		
4. Construction sur des terrains commerciaux et industriels			
5. Construction d'un dépôt à neige*	oui	oui	
6. Fabrication de béton	oui	oui	oui
7. Matière première dans la fabrication du clinker	oui	oui	oui
8. Matériel de recouvrement journalier de LES ou mensuel de DMS**	oui	oui	oui
9. Matériel d'infrastructure (routes) pour les LES	oui	oui	
10. Matériel de nettoyage (sablage) du béton et de l'acier	oui	oui	oui
11. Ballast de chemin de fer	oui		

30

³⁰ Guide de valorisation des matières inorganiques non dangereuses de source industrielle comme matériaux de construction. [en ligne] [http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/inorganique/matiere-residuelle-inorganique.pdf] (Consulté le 10 août 2011).

Figure 1: Avenues de valorisation des cendres selon les catégories de matériaux

VERSION PRÉLIMINAIRE

5. Discussion sur les scénarios identifiés

L'objectif de cette section est de cibler, parmi les scénarios de valorisation des matières résiduelles critiques présentés, ceux méritant de faire l'objet d'une étude plus approfondie dans le contexte des Îles-de-la-Madeleine. Pour ce faire, les scénarios les plus prometteurs selon la revue de la littérature effectuée sont proposés pour chacune des matières critiques. Toutefois, il s'agit d'une identification préliminaire seulement, le potentiel des autres avenues ne doit pas être négligé. Les scénarios globaux tels que l'incinération avec récupération d'énergie, la gazéification, la biométhanisation et la pyrolyse sont exclues de cette discussion compte tenu de la grande variabilité des intrants pouvant être traités. La mise en place de ces systèmes demande des études de faisabilité exhaustives. À cet effet, une étude de faisabilité sur le couplage technologique de la biométhanisation et de la gazéification au plasma aux Îles-de-la-Madeleine est en cours par le CERMIM. Finalement, il est à noter que plusieurs des scénarios de valorisation ciblés nécessitent un prétraitement de broyage des matières. L'achat d'un déchiqueteur multifonctionnel pourrait être bénéfique.

5.1 Carapaces de homards et de crabes

Les scénarios de valorisation retenus sont le compostage et la production de sous-produits à fortes valeurs ajoutées. En effet, les produits ciblés sont un compost de qualité supérieure, des carapaces séchées et la production d'un enrichisseur de moulée. Des essais avec les entreprises avicoles et porcines locales pourraient être réalisés pour valider la portée de valorisation des carapaces en moulée. De plus, la production d'un compost de qualité pouvant être utilisée dans les activités horticoles, les jardins et à des fins commerciales semble prometteuse considérant sa forte valeur ajoutée. Dans un horizon à court terme, les carapaces pourraient être valorisées directement par épandage en milieu agricole. Finalement, dans un objectif à plus long terme, le potentiel de la production de chitine pourrait être suivi.

5.2 Coquilles

La valorisation des coquilles en amendements calciques et dans la moulée pour animaux semble les avenues les plus prometteuses. Le potentiel de valorisation en moulée pourrait être validé avec des entreprises locales, avicoles et porcines. De plus, une analyse de la demande pour les amendements calciques permettrait de qualifier l'intérêt de cette technique. La production d'amendements et la fabrication d'enrichisseurs de moulée à partir de coquillages sont des techniques simples et grandement utilisées.

5.3 Bardeaux d'asphalte

L'incorporation des bardeaux d'asphalte postconsommation dans les enrobés bitumineux semble l'avenue la plus prometteuse. En effet, la littérature consultée à ce sujet confirme cette conclusion. Cette technique permet de valoriser des volumes importants de bardeaux d'asphalte, considérant l'usage intensif d'enrobés bitumineux dans la construction de route. Le potentiel d'application locale de ce mode de valorisation devrait être étudié. À ce sujet, un suivi avec les entreprises œuvrant dans la construction de routes aux Îles-de-la-Madeleine pourrait être réalisé.

5.4 Bois et branches

Une étude préliminaire sur la valorisation du bois et des branches dans une chaudière à biomasse semble souhaitable. En effet, les systèmes de chauffage à la biomasse sont facilement adaptables selon la demande énergétique et le volume des intrants. Un projet de chauffage à la biomasse pour un bâtiment spécifique pourrait être profitable. Les projets référencés dans la section 4.4.1 peuvent être considérés à titre comparatif dans une éventuelle étude d'applicabilité de chaudière à biomasse. Une caractérisation du bois et des branches pouvant être valorisée par cette technique serait nécessaire. Finalement, la valorisation du bois et des branches en paillis horticole et en copeaux pour une mise au compost semblent des avenues prometteuses.

5.5 Papier et carton

Dans un éventuel projet de chaudière à biomasse, du papier et du carton pourraient être valorisés énergétiquement. Une étude de la composition des papiers et cartons permettrait de qualifier les volumes valorisables énergétiquement. Le carton semble avoir un potentiel de valorisation énergétique supérieur à celui du papier dans les chaudières à biomasse. Pour le papier, les avenues de valorisation préconisées sont le compost, la ouate de cellulose ou simplement, le recyclage.

5.6 Cendres

Les analyses de Biogénie permettront de cibler les avenues de valorisation les plus prometteuses pour les cendres d'incinération du CGMR des Îles-de-la-Madeleine.

CONCLUSION

Ce rapport répond au mandat de présenter une revue des scénarios de valorisation des matières résiduelles critiques dans le contexte insulaire des Îles-de-la-Madeleine. En effet, les scénarios

présentés permettent au lecteur d'avoir une vision d'ensemble des opportunités de valorisation. Un canevas d'identification inhérent à chacun des scénarios de valorisation a été présenté. Les discussions finales ne sont pas des recommandations sur les scénarios à mettre en œuvre, mais un ciblage de pistes de réflexion sur des scénarios prometteurs. Des décisions éclairées devront évidemment être prises considérant la grande variabilité entre les différents scénarios de valorisation. L'optimisation de la gestion de matières résiduelles aux Îles-de-la-Madeleine passe par des choix gagnants au niveau social, environnemental et économique. Les opportunités de valorisations sont nombreuses, l'avenir est encourageant.

VERSION PRÉLIMINAIRE

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bouchard M., (2011), Débouchés pour les rebuts de bois de construction, rénovation, démolition (CRD) en dehors du Québec, Québec, Recycle-Québec, 46 p.
- Boucher S., (1996), Effet de la chitine sur la fixation larvaire de la moule zébrée. Québec : Université Laval, Faculté de l'agriculture et de l'alimentation, 89 p.
- Brodeur C. et coll. (2008), La biométhanisation à la ferme. Québec : Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 14 p.
- Burelle S. et Fleury C., (2008), Lignes directrices pour l'encadrement des activités de compostages, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. 47 p.
- Burelle S., (2002), Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses de source industrielles comme matériau de construction, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. 47 p.
- Canmet Laboratoire, (2000), Les petites installations de chauffages à la biomasse : Guide de l'acheteur, Ressources naturelles Canada, 53 p.
- Desjardins C. et Forcier F., (2007), Étude comparative des technologies de traitement des résidus organiques et des résidus ultimes applicables à la région métropolitaine de Montréal., Montréal, SNC-LAVALIN, SOLINOV, 329 p.
- Friesen B. et coll. (2005), Lignes directrices pour la qualité du compost, Canada, Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), 24 p.
- Germain B., (2000), Étude de faisabilité sur la récupération et le recyclage des bardeaux d'asphalte, Québec, Centre de recherche industriel du Québec, 31 p.
- Gueye N., (2005), Contribution à l'élaboration d'une méthode de formulation des bétons de coquillages, Dakar, Université de Cheikh Anta Diop de Dakar, École supérieure polytechnique. 85 p.
- Hébert M., (2008), Guide sur la valorisation des matières résiduelles fertilisantes, Critères de références et normes réglementaires, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnements et Parcs. 157p.
- Helm M. M. et Bourne N., (2006), Ecloserie de bivalves, un manuel pratique, Rome : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. 184 p.
- Lima Amarante J. A., (2010), Biométhanisation des déchets putrescibles municipaux-technologies disponibles et enjeux pour le Québec, Québec, Université de Sherbrooke, 89 p.
- Léger S. et Lafortune F., Pyrolyse et gazéification des pneus hors d'usage, Québec, Société québécoise de récupération et de recyclage et directrice, programme de gestion intégrée des pneus hors d'usage du Québec. 72 p.
- Marquis-Duval F.O., (2008). Isolation et valorisation des constituants de la carapace de crevette nordique. Québec : Université Laval, Faculté des sciences et génie, 98 p.
- Martel L., (1976), Biologie de l'huître et de la moule, France, Conchyliculture Française.
- Noel F.,(2006), Incorporation de particules de bardeaux d'asphaltes de postconsommation dans les enrobés bitumeux, Québec, Université du Québec, École de technologie supérieur. 64 p.
- Parisé L., (2005). Identification d'un substrat naturel de l'endoprotéase yapsine 1 de Saccharomyces. Québec : Université Laval, Faculté des sciences et génie, 128 p.
- Poirier M., (2000). Fractionnement et caractérisation de la chitine dans le système N,N-Diméthylacéthamine/Chlorure de lithium. Québec : Université Laval, Faculté des sciences et génie, 96 p.
- Quinlan R., (2011). Shellfish chitin processing plant Bay de Verde, NL, Environmental Assessment Information, Water St., St. John's.
- Riccardo A.A. Muzzarelli., (2011), Chitin nanostructures in living organisms, Ancona, University of Ancona, 34 p.
- Simard P., (2008). L'effet du chitosan sur les fonctions effectrices du neutrophile dans un nouveau modèle de régénération du cartilage. Québec : Université Laval, Faculté de médecine, 128 p.
- Stewart G. et Noyes-Hull G., (2010), Feasibility of producing value added products from snow crab processing waste in Cape Breton, Nova Scotia, Nova Scotia, Departement of fisherie and aquaculture, 38 p.

- Thibodeau M., Durbecq T., Tita G. et Hubert J. (2011). Gestion des matières résiduelles aux Îles-de-la-Madeleine : État de la situation et perspectives de développement. Centre de recherche sur les milieux insulaires et maritimes, Îles-de-la-Madeleine (Québec). viii, 79 p. + annexes.
- Werstink G., (2007), Évaluation de potentiel conchylicole des Îles-de-la-Madeleine (Québec, Canada) : une analyse combinée à un système informatique géographique, Québec, Université du Québec, 109p.

Sites Internet consultés

- Biogénie : [<http://www.biogenie-env.com/fr/index.php>]
- Buchettes artisanales, Haïti : [<http://www.cifal-ouaga.org/cd/P-dechets/CEFREPADE2.pdf>]
- Chauffage à la biomasse :
http://www.fqcf.coop/fileadmin/user_upload/documents_r%C3%A9f%C3%A9rence/chaufferie_en_biomasse_forestiere_01.pdf
- Chauffage à la biomasse forestière, le projet d'Amqui :
[\[http://www.canbio.ca/events/ottawa10/legare_f.pdf\]](http://www.canbio.ca/events/ottawa10/legare_f.pdf)
- Document de transfert de connaissance : Chaufferie collective à la biomasse : [http://www.mont-carmel.ca/medias/structure/Rapport_Transfert_de_connaissances_Biomasse_Mont-Carmel.pdf]
- Guide pour l'estimation des gaz à effet de serre, la production de chaux :
[\[http://www.ec.gc.ca/Publications/default.asp?lang=Fr&xml=A3290A26-6B69-4AB5-8DE0-4771D8FAD511\]](http://www.ec.gc.ca/Publications/default.asp?lang=Fr&xml=A3290A26-6B69-4AB5-8DE0-4771D8FAD511)
- Hiérarchie des modes de gestion des matières résiduelles et reconnaissance d'opération de traitement en tant que valorisation énergétique : [<http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/regime-compensation/hierarchie-modesgmr.pdf>]
- Hortibeauce : [<http://www.hortibeauce.com/>]
- Innoventé, énergies vertes, BÉFOR : [<http://www.innovente.ca/>]
- Industrie Canada [<http://www.ic.gc.ca/eic/site/ait-aci.nsf/fra/il00012.html>]
- La fabrication traditionnelle de chaux : [http://www.atelier-st-andre.net/fr/pages/technique/technique_fresque/production_chaux.html]
- Les Carrières St-Ferdinand inc. : [<http://www.lescarrieresst-ferdinand.com/Produits/ListesPrix/Chaux%202009.pdf>]
- Les chaufferies à la biomasse forestières : un choix éclairés :
[\[http://www.fqcf.coop/fileadmin/user_upload/documents_r%C3%A9f%C3%A9rence/chaufferie_en_biomasse_forestiere_01.pdf\]](http://www.fqcf.coop/fileadmin/user_upload/documents_r%C3%A9f%C3%A9rence/chaufferie_en_biomasse_forestiere_01.pdf)
- Loi sur la qualité de l'environnement:
[\[http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2_R32.HTM\]](http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2_R32.HTM)
- Ouate de cellulose : L'isolation en papier recyclé : [<http://www.ddmagazine.com/2008012175/Guides-pratiques/Ouate-de-cellulose-l-isolation-en-papier-recycle.html>]
- Politique québécoise de gestion des matières résiduelles :
[\[http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/pgmr/pol-enbref.pdf\]](http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/pgmr/pol-enbref.pdf)
- Projet « cabanes propres » :
[\[http://www.lyceebourcfranc.fr/download/pedago/rapport_cabanes_propres.pdf\]](http://www.lyceebourcfranc.fr/download/pedago/rapport_cabanes_propres.pdf)
- Profil des produits forestiers de première transformation, Paillis horticole :
[\[http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs44717\]](http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs44717)
- Quinlan Brothers :
[\[http://www.env.gov.nl.ca/env/env_assessment/projects/Y2011/1577/1577_registration.pdf\]](http://www.env.gov.nl.ca/env/env_assessment/projects/Y2011/1577/1577_registration.pdf)
- TeraFeed : La biotechnologie minérale : [<http://www.terafeed.com/index.html>]

Une route faite de vieux bardeaux d'asphalte : [<http://www.lesaffaires.com/archives/generale/paver-les-routes-avec-des-vieux-bardeaux-d-asphalte/503184>]
Wikipedia. [[http://fr.wikipedia.org/wiki/Chaux_\(mat%C3%A8re\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Chaux_(mat%C3%A8re))]

VERSION PRÉLIMINAIRE

ANNEXE



Figure 2 : Exemples de carapaces de crabes et homards séchées

³¹ Saint-Laurent Gulf Product Ltd. [en ligne], [<http://www.abcfishmeal.ca/>] (Consulté le 25 juillet 2010)



Figure 3 : Profil nutritionnel de la farine de crabe

³² Saint-Laurent Gulf Product Ltd. [en ligne], [http://www.abcfishmeal.ca/] (Consulté le 25 juillet 2010)



Figure 4 : Profil nutritionnel de la farine de homard

³³ Saint-Laurent Gulf Product Ltd. [en ligne], [<http://www.abcfishmeal.ca/>] (Consulté le 25 juillet 2010)