



Valorisation agricole des coquilles de palourdes

Mise en place de la filière de valorisation (phase 3)

Olivier RICHARD et Mayka THIBODEAU (CERMIM)

En collaboration avec Marc-Olivier MASSÉ, Isabelle CUMMINGS,
Marie-Hélène BEAUDOIN-GAGNON (CERMIM)

Décembre 2019



Affilié à l'UQAR

Les partenaires du CERMIM



VALORISATION AGRICOLE DES COQUILLES DE PALOURDES

Mise en place de la filière de valorisation (phase 3)

Olivier RICHARD, Agent de recherche – Valorisation et développement agricole¹

Mayka THIBODEAU, Directrice associée – Recherche et contenu scientifique¹

En collaboration avec Marc-Olivier MASSÉ, Directeur associé – Développement des affaires¹, Isabelle CUMMINGS, Gestionnaire des projets et des communications¹, Marie-Hélène BEAUDOIN-GAGNON, Agente de recherche – Gestion environnementale¹ et Haingonarivo RABENASOLO, Adjointe de direction¹

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

Décembre 2019

PARTENAIRES DU PROJET



Ferme Christian
Poirier et fils



Québec

Ce document doit être cité comme suit :

Richard, O., Thibodeau, M., Massé M.-O., Beaudoin-Gagnon, M. -H., Cummings, I. et Rabenasolo, H. (2019). *PROJET DE VALORISATION AGRICOLE DES COQUILLES DE PALOURDES : Mise en place de la filière de valorisation (phase 3)*. Centre de recherche sur les milieux insulaires et maritimes (CERMIM), Îles-de-la-Madeleine (Québec). 46 p. + annexes.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	VIII
LISTE DES ANNEXES	VIII
LISTE DES ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS.....	IX
SOMMAIRE	1
1. INTRODUCTION	3
1.1 Mise en contexte.....	4
1.2 Objectifs et indicateurs	4
1.3 Partenaires financiers.....	5
1.4 Activités réalisées.....	7
2. ÉTAPES DE RÉALISATION.....	8
2.1 Caractérisation de l'amas de coquilles au CGMR	8
2.2 Identification des équipements de broyage disponibles	9
2.3 Identification des parcelles d'essais	10
2.4 Concassage.....	11
2.4.1. Premiers tests de concassage.....	11
2.4.2. Optimisation du procédé de préconcassage des coquilles.....	12
2.4.3. Concassage de l'amas de coquilles du CGMR	14
2.5 Envoi d'échantillons de coquilles et de sols et interprétation des résultats	15
2.6 Essais en milieu contrôlé avec les étudiants du cégep	16
2.6.1. Comparaison entre les méthodes d'analyses.....	16
2.6.2. Performances des coquilles en milieu contrôlé versus les recommandations théoriques.....	17
2.6.3. Valeur ajoutée par la participation des étudiants du cégep.....	17
2.7 Suivi des épandages en champs de la phase 2 du projet	17
2.8 Épandage des coquilles en champs (phase 3).....	18
2.8.1. Planification de l'épandage en champs au printemps 2019	18
2.8.2. Transport, épandage et incorporation des coquilles.....	18
2.9 Suivi des épandages en champs.....	21
2.10 Mise en place d'une filière de valorisation agricole	21
2.10.1. Lieu d'entreposage du produit brut.....	21
2.10.2. Équipements de concassages leurs opérateurs.....	22
2.10.3. Lieu d'entreposage du produit conditionné.....	22
2.10.4. Transport et conditionnement du produit.....	23
2.10.5. Équipements d'épandage et d'incorporation et leurs opérateurs	23
2.10.6. Réglementation et permis.....	24
2.10.7. Analyse économique	25
2.10.8. Autres options de filières de valorisation agricole.....	26
2.11 Autres avenues prometteuses de valorisation.....	31
2.11.1. Valorisation des coquilles de buccin par épandage direct en champ	31
2.11.2. Valorisation des coquilles dans le béton.....	31

2.11.3. Valorisation en aménagement paysager	31
3. RÉSULTATS.....	32
3.1 Résultats quantitatifs obtenus.....	32
3.1.1. Quantité de coquilles sorties du CGMR.....	32
3.1.2. Quantité de coquilles concassées et épandues en champs.....	33
3.1.3. Nombre d'entreprises agricoles rejointes	33
3.1.4. Nombre d'entreprises participantes	33
3.1.5. Coûts épargnés en importation de chaux agricole	34
3.1.6. Coûts épargnés d'entreposage au CGMR.....	35
3.1.7. Nombre de kilomètres évités	35
3.2 Résultats significatifs obtenus	36
3.2.1. Influence de la granulométrie sur l'efficacité des coquilles.....	36
3.2.2. Influence de la granulométrie sur les coûts de transport.....	36
3.2.3. Influence de la granulométrie sur le pouvoir neutralisant des coquilles	37
3.2.4. Influence du temps d'entreposage des coquilles sur le pouvoir neutralisant.....	37
3.2.5. Présence de contaminants physiques dans l'amas de coquilles.....	38
3.2.6. Performance des coquilles en milieu contrôlé	39
3.2.7. Performance des coquilles en champs.....	40
3.2.8. Fiabilité des résultats obtenus avec du matériel bon marché en comparaison à ceux en provenance de laboratoires agréés	40
4. DÉPENSES ASSOCIÉES AU PROJET.....	45
5. CONCLUSIONS.....	46
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	47

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Préparation d'échantillons	8
Figure 2. Coquilles de palourde à gauche et de buccin à droite	9
Figure 3. Échantillonnage de sols	11
Figure 4. Premiers tests de concassage et chargement de coquilles	11
Figure 5. Amas de coquilles chez un particulier	12
Figure 6. Couverture des coquilles - Séchage au soleil des coquilles	13
Figure 7. Concassage et tamisage des coquilles du CGMR	15
Figure 8. Essais en laboratoires avec le cégep	16
Figure 9. Épandage en champ - participation du cégep	19
Figure 10. Présence de roches dans les coquilles	20
Figure 11. Incorporation des coquilles en champ - avant/après	20
Figure 12. Concasseur McCloskey i44	22
Figure 13. Chargement de coquilles et livraison de coquilles en champs	23
Figure 14. Broyeur à marteaux (Machinerie.ca) - Coquilles broyées	27
Figure 15. Broyeur à marteaux (JECC)	28
Figure 16. A: Moulange Promega. B: Intérieur moulange Promega. C: Poudre moulange Promega. D: Grosse moulange	29
Figure 17. Coquilles au CGMR (avant) - Coquilles au CGMR (après)	32
Figure 18. Coquilles broyées à 3/4 po (en arrière) et à 1/4 po (devant)	33
Figure 19. Tamisage manuel des coquilles et présence de contaminants	38
Figure 20. Évolution du pH des coquilles 3/4 po, des coquilles 1/4 po, de la chaux et du sol A	39
Figure 21. Évolution du pH des coquilles 3/4 po, des coquilles 1/4 po, de la chaux et du sol B	39
Figure 22. Comparaison cégep vs laboratoire (champ A : coquilles 3/4 po)	41
Figure 23. Comparaison cégep vs laboratoire (champ A : coquilles 1/4 po)	41
Figure 24. Comparaison cégep vs laboratoire (champ A : chaux)	42
Figure 25. Comparaison cégep vs laboratoire (champ A : sol)	42
Figure 26. Comparaison cégep vs laboratoire (champ B : coquilles 3/4 po)	43
Figure 27. Comparaison cégep vs laboratoire (champ B : coquilles 1/4 po)	43
Figure 28. Comparaison cégep vs laboratoire (champ B : chaux)	44
Figure 29. Comparaison cégep vs laboratoire (champ B : sol)	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Partenaires du projet	6
Tableau 2. Activités réalisées dans le cadre du projet	7
Tableau 3. Équipements intéressants répertoriés	10
Tableau 4. Paramètres relatifs à l'épandage de coquilles en champs	19
Tableau 5. Filière avec Les Entreprises Larebel – analyse économique	25
Tableau 6. Résultats selon la granulométrie de différents équipements	30
Tableau 7. Quantités de coquilles équivalentes à celles de la chaux	34
Tableau 8. Nombre de kilomètres évités en utilisant les coquilles comme substitut à la chaux.....	36
Tableau 9. Influence de la granulométrie sur le PN des coquilles.....	37
Tableau 10. Influence de la vieillesse des coquilles sur le PN	37
Tableau 11. Évolution du pH en champs.....	40
Tableau 12. Dépenses réelles liées au projet selon le budget total alloué.....	45

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Protocole d'essais en milieu contrôlé avec le cégep.....	25
Annexe 2. Preuves de paiements supérieurs à 5 000 \$.....	29
Annexe 3. Échéancier initial et échéancier révisé.....	30

LISTE DES ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

BNQ	Bureau de normalisation du Québec
CA	Certificat d'autorisation
CERMIM	Centre de recherche sur les milieux insulaires et maritimes
CGMR	Centre de gestion des matières résiduelles
GES	Gaz à effet de serre
GÎM	Gaspésie—Îles-de-la-Madeleine
GMR	Gestion des matières résiduelles
IDL	Îles-de-la-Madeleine
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MRF	Matières résiduelles fertilisantes
PN	Pouvoir neutralisant

SOMMAIRE

Le présent projet vise la mise en place d'une filière durable de valorisation de coquilles de palourdes issues des usines de transformation aux Îles-de-la-Madeleine (IDLM) comme substitut à la chaux agricole. Lors des deux premières phases du projet (2012 à 2017), le potentiel agricole des palourdes a été démontré. Le principal objectif du présent projet, qui constitue la phase 3, est d'optimiser la granulométrie des coquilles de palourdes de façon à obtenir un produit rentable et facilement accessible aux producteurs agricoles de la région. Pour y parvenir, plusieurs étapes ont été réalisées. Dans un premier lieu, une caractérisation de l'amas de coquilles qui se trouvait au Centre de gestion des matières résiduelles (CGMR) a été faite. Une liste des équipements de concassage disponibles pour faire des essais préliminaires a ensuite été élaborée. Plusieurs producteurs ont ensuite été contactés afin de cibler des parcelles intéressantes pour faire l'épandage de coquilles en champs selon les pratiques agricoles de chacun, les types de sols et les cultures en place. En parallèle, les démarches réglementaires avec les différents ministères ont été effectuées pour identifier les permissions requises pour la transformation des coquilles jusqu'à l'épandage en champs.

Lors des premiers essais de concassage, les coquilles issues du CGMR comportaient des impuretés telles que du bois et de la terre et avaient tendance à colmater les tamis utilisés pour recueillir les particules fines de coquilles à cause d'une humidité trop importante. Pour pallier ce problème, une méthode peu coûteuse qui consiste à faire sécher les coquilles en minces couches sur le sol a été identifiée afin d'aider à réduire l'humidité. La disponibilité limitée de l'entrepreneur pour concasser les 300 t de coquilles est un autre facteur limitant qui a fait en sorte que des délais importants ont été engendrés. Le concassage des coquilles s'est fait à la fin octobre 2018. Un échantillonnage des coquilles dédiées à être analysées en laboratoire a ensuite été effectué pour permettre le calcul de l'indice de valeur agricole (IVA) servant à déterminer les besoins équivalents en chaux pour chaque parcelle selon leur pH actuel. Les résultats des analyses ont été obtenus après l'arrivée de la neige. Par conséquent, l'épandage qui devait se faire à l'automne 2018 a été reporté au printemps et à l'été 2019. Les coquilles ont alors été épandues selon les doses recommandées dans trois champs différents. De nouvelles analyses de sols ont été effectuées en fin de projet pour être en mesure de comparer l'évolution réelle du pH dans le sol avec les recommandations théoriques. Grâce à la réalisation de ces étapes, il a été possible de cerner les obstacles et d'y apporter des solutions afin de mettre en place une filière de valorisation économiquement viable.

1. INTRODUCTION

La pêche et l'aquaculture occupent une place importante dans l'économie des régions maritimes du Québec. Ce secteur compte près de 3 700 emplois saisonniers. Les principaux fruits de mer capturés et transformés sont le homard, le crabe, la crevette et différents mollusques tels que la palourde.

Au cours de la première phase du projet *Valorisation agricole des coquilles de palourdes*, les rejets de mollusques issus des usines de transformations des IDLM ont été caractérisés. Des essais de mélanges de coquilles ont été réalisés en milieux contrôlés et il en résulte que ces coquilles présentent un pouvoir chaulant intéressant pour jouer le rôle de substitut à la chaux agricole, qui ne se retrouve pas sur le territoire et doit être importée. La deuxième phase du projet avait pour objectif de vérifier si les coquilles étaient efficaces en champs. Des parcelles d'épandage ont été faites dans le but de développer un protocole de dosage et d'application destiné aux professionnels du secteur agricole.

Le présent rapport concerne la phase 3 du projet, soit la mise en place de la filière de valorisation. Dans un premier temps, chaque étape de réalisation est exposée en détail. Les obstacles rencontrés en cours de projet et les solutions apportées se retrouvent aussi dans cette section. Les différents résultats obtenus sont ensuite présentés. Par ailleurs, les dépenses associées aux différentes étapes du projet sont détaillées sous forme de tableau. Finalement, un retour sur le projet global est présenté en conclusion.

1.1 Mise en contexte

Le pH des sols agricoles aux IDLM est très bas, soit en moyenne entre 5,0 et 5,5, ce qui est bien en deçà du pH visé qui tourne autour de 6,0 à 6,5 pour l'atteinte de rendements optimaux des cultures. Des apports importants en chaux variant de 8 à 20 t par hectare seraient nécessaires, mais ne sont généralement pas réalisés en raison des coûts élevés d'approvisionnement. La chaux importée sur le territoire coûte environ 150 \$/t comparativement au Centre-du-Québec où elle coûte entre 35 \$/t et 40 \$/t. Annuellement, c'est environ 100 t qui sont importées. Des subventions en provenance du ministère de l'Aquaculture, des pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) couvrent environ 100 \$/t et la différence est payée par les agriculteurs. Le transport est assuré par un camion qui doit traverser des IDLM vers l'Île-du-Prince-Édouard en bateau et se rendre à un centre de dépôt au Nouveau-Brunswick pour s'approvisionner en chaux pour enfin revenir chargé sur le territoire madelinot. Chaque voyage compte seulement 15 à 16 t puisque les camions utilisés pour transporter la matière ont cette capacité maximale de chargement.

Par ailleurs, le CGMR des IDLM reçoit en moyenne 100 t/an de coquilles de mollusques composées majoritairement de palourdes. Celles-ci sont issues des activités des usines de transformation des produits marins. La disposition de ces coquilles coûte très cher aux industries. Le CGMR facturait 90 \$/t jusqu'en 2018 et 100 \$/t en 2019 pour les récupérer. En l'absence de filières de valorisation pour cette matière, elle est accumulée au site de traitement puisqu'il est encore plus coûteux de s'en départir de manière traditionnelle, soit en l'exportant par voie maritime vers un centre d'enfouissement à Victoriaville au Centre-du-Québec.

Face à ces différentes problématiques, une opportunité de maillage entre les secteurs des pêches et de l'agriculture a été envisagée puisque les coquilles de mollusques, une fois broyées, présentent un potentiel calcique pouvant jouer le rôle de substitut à la chaux agricole.

1.2 Objectifs et indicateurs

Le projet vise à mettre en place une filière locale de valorisation des coquilles de mollusques qui serait à la fois viable et rentable. Dès leur sortie des usines, les coquilles subiront plusieurs étapes de manutention et de transformation auprès de divers intervenants avant d'être épandues en champs agricoles. Cette filière permettra de résoudre différentes pressions sur le milieu, de réduire la dépendance à une ressource externe qui est la chaux en valorisant une ressource disponible localement pour finalement favoriser le développement durable de notre région.

Plus concrètement, cette phase 3 du projet vise à :

1. Déterminer la granulométrie optimale de broyage permettant d'obtenir un matériel efficace pouvant être concurrentiel à la chaux;
2. Identifier un équipement de broyage permettant d'obtenir le matériel optimal et qui soit utilisable aux IDLM;
3. Échantillonner et appliquer des coquilles broyées dans les parcelles ayant reçu une dose en substitution à la chaux pour documenter le potentiel agricole des coquilles broyées à long terme;
4. Mettre en place les étapes (logistique, coûts, responsables) de la structure organisationnelle de la filière de valorisation, de la production de coquilles jusqu'à l'épandage en champs.

En addition à ces cibles générales, le ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH) a d'autres objectifs spécifiques qui se veulent être des indicateurs du projet :

- Nombre d'entreprises agricoles rejointes : 25
- Nombre d'entreprises participantes dans le projet : 3
- Volume de matières résiduelles valorisées annuellement : 60 à 120 t
- Kilomètres évités (transport) : 1800 km (bateau) + 1 200 km (route) /an
- Nombre d'emplois créés (étape réalisation) : 2
- Nombre d'emplois consolidés (étape réalisation) : 3
- Coûts épargnés : 150 \$/t en achat de chaux (100 \$ du MAPAQ et 50 \$ des agriculteurs). Frais moindres pour les industries en gestion des matières résiduelles (MR; coquilles) (10 000 \$/an).

1.3 Partenaires financiers

Le tableau 1 illustre les différents partenaires du projet ainsi que leurs contributions en argent et en service.

Tableau 1. Partenaires du projet

██████	██████	██████	██████
██████	████	████	████
██████	████	████	████
██████████	████	████	████
██████████		████	████
██████████		████	████
██████████	████		████
██████████		████	████
██████		████	████
██████████		████	████
██████████████████	████		████
██████████	████		████
██████████████████	████		████
██████████	████		████
██████████	████		
██████████	████	████	████

1.4 Activités réalisées

Le tableau 2 fait un portrait des activités réalisées au cours du projet. Pour plus de détails sur les différentes étapes menant à la réalisation de ces activités, se référer à la section **2 Étapes de réalisation**.

Tableau 2. Activités réalisées dans le cadre du projet

Période	Activités réalisées	Sections
Juillet 2018	Caractérisation de l'amas de coquilles	Section 2.1
Juillet 2018	Identification des équipements de broyage disponibles	Section 2.2
Août à octobre 2018	Identification des parcelles d'essais pour l'épandage de coquilles	Section 2.3
Août à octobre 2018	Concassage des coquilles : <ul style="list-style-type: none"> • Premiers tests de concassage • Optimisation du procédé de préconcassage du CGMR • Concassage de l'amas de coquilles du CGMR 	Section 2.4
Octobre à décembre 2018	Envoi d'échantillons de coquilles et de sols et interprétation des résultats	Section 2.5
Janvier 2019	Essais de mélanges sols/coquilles en milieu contrôlé en collaboration avec le cégep	Section 2.6
Septembre 2018	Suivi des épandages en champs de la phase 2 du projet	Section 2.7
Avril à juillet 2019	Épandage des coquilles en champs de la phase 3 du projet : <ul style="list-style-type: none"> • Planification de l'épandage en champs au printemps 2019 • Transport, épandage et incorporation des coquilles 	Section 2.8
Septembre 2019	Suivi des épandages en champs de la phase 3 du projet	Section 2.9
Mai à septembre 2019	Mise en place d'une filière de valorisation des coquilles comme substitut à la chaux agricole : <ul style="list-style-type: none"> • Lieu d'entreposage du produit brut • Équipements de concassage et de leurs opérateurs • Lieu d'entreposage du produit conditionné • Transport de la matière • Équipement d'épandage et d'incorporation et opérateurs • Réglementation et permis • Protocole de manutention des coquilles • Analyse économique • Autres options de filières de valorisation de coquilles comme substitut à la chaux agricole 	Section 2.10
Mai à septembre 2019	Autres avenues prometteuses de valorisation	Section 2.11

2. ÉTAPES DE RÉALISATION

Cette section du rapport consiste en une description détaillée de l'ensemble des étapes qui ont été réalisées dans le cadre de la phase 3 du projet *Valorisation agricole des coquilles de palourdes*.

2.1 Caractérisation de l'amas de coquilles au CGMR

Une visite au CGMR des IDLM a été faite le 25 juillet 2018 pour voir l'amas de coquilles de mollusques qui y est entreposé depuis l'automne 2015. Puisque le système actuel de registre de quantités importées n'était pas encore mis en place lors de la venue des premiers arrivages de coquilles, nous avons estimé visuellement la quantité totale que nous avons évalué à environ 300 t. Cette quantité est largement supérieure à celle initialement prévue au projet, soit une quantité estimée à 100 t. Par ailleurs, évaluer les quantités annuelles produites de coquilles issues des usines de transformation s'avère difficile puisqu'elles sont liées directement à la demande du marché. Il est possible que cette demande ait été plus élevée entre la deuxième et cette troisième phase du projet, ce qui pourrait expliquer cet écart.

Par la suite, un échantillonnage de coquilles a été fait selon le protocole proposé dans le *Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes* à des fins d'analyses en laboratoire pour connaître leurs caractéristiques physicochimiques et microbiologiques (figure 1; MDDELCC, 2015). Ces données serviront aux calculs liés à l'IVA des coquilles et de s'assurer qu'elles respectent la réglementation liée à son application en champs agricoles.



Figure 1. Préparation d'échantillons



Figure 2. Coquilles de palourde à gauche et de buccin à droite

L'amas est principalement composé de coquilles de palourdes blanches (mactres de l'Atlantique et mactres Stimpson) et de buccins communs (figure 2). Par ailleurs, il y a présence d'autres types de coquilles, mais en quantités négligeables. D'un point de vue économique, le présent projet vise à traiter le tout dans son ensemble pour créer un seul et même produit.

2.2 Identification des équipements de broyage disponibles

Un premier contact avec les entreprises et les particuliers susceptibles de détenir des équipements de broyage sur l'archipel a été effectué pour en savoir davantage sur leurs équipements et leurs spécifications. Les entreprises et les particuliers intéressés à faire des tests ont été rencontrés. Sachant qu'une expérience d'épandage à une granulométrie de 3/4 po a été réalisée au cours de la phase 2 du projet, l'équipement recherché pour la phase 3 devait pouvoir produire des coquilles à une granulométrie inférieure ou égale à 3/4 po et avoir une capacité intéressante par rapport au coût de main d'œuvre pour être en mesure de traiter la totalité de l'amas du CGMR estimé à 300 t. Le tableau 3 résume les équipements intéressants qui ont été répertoriés. De l'ensemble des personnes contactées, une entreprise et un particulier possédaient un équipement correspondant aux besoins du projet. D'abord, l'entreprise possède un concasseur de carrière (McCloskey i44) et un tamis indépendant avec plusieurs grillages : 3/4 po, 1/2 po, 1/4 po et 1/8 po. Le particulier possède quant à lui une moulange, soit un équipement de broyage à haute vitesse, qui percute le matériel à l'aide de marteaux rotatifs pour réduire sa taille. La moulange est adaptée pour recevoir du matériel dur tel que des palourdes pour lesquelles elle peut procéder à un broyage fin. Cependant, la capacité de cet équipement est faible, soit d'environ 1 t à l'heure. De plus, pour atteindre cette capacité, les coquilles nécessitent une étape préalable de prébroyage. Toutefois, cet équipement a l'avantage de ne pas être trop coûteux et ne nécessite pas de machinerie pour

le faire fonctionner puisqu'il peut être alimenté à la main. À noter que cette moulange était en réparation au moment d'effectuer les tests et n'a pas été utilisée.

Tableau 3. Équipements intéressants répertoriés

Équipements	Granulométries (po)
Concasseur RM90	3/8, 1/2
Concasseur RM100	3/4
Concasseur McCloskey i44	1/8, 1/4, 1/2, 3/4
Moulange modifiée	Environ 1/8

2.3 Identification des parcelles d'essais

Un premier contact a été effectué avec des entreprises agricoles des IDLM pour évaluer leur intérêt à participer au projet. Sur un total de 25 producteurs agricoles, 3 ont été ciblés pour faire les essais d'épandage dans leurs champs. Le producteur #1 souhaitait recevoir du produit sur la totalité de ses parcelles et même en entreposer au besoin pour les années à venir. Deux autres parcelles ont été ciblées avec le producteur #2 pour un épandage en champs. Le propriétaire s'est aussi montré intéressé à recevoir un surplus de matériel dans le cas où il en resterait à la fin du projet. Le producteur #3 souhaitait aussi faire des essais en champs. Chaque représentant des entreprises a été rencontré individuellement afin de discuter du projet d'épandage de coquilles. Pour chaque parcelle ciblée, des informations qui ont été demandées aux producteurs concernant leur localisation, leur superficie, le type de sol, les cultures en place et la rotation. Des analyses de sols ont été faites dans chaque champ récepteur ciblé des producteurs #1, #2 et #3 pour connaître entre autres leur pH (figure 3).



Figure 3. Échantillonnage de sols

2.4 Concassage

2.4.1. Premiers tests de concassage

Un camion semi-remorque de coquilles a été transféré, le 29 août 2018, du CGMR vers une carrière de pierre où se trouvait le concasseur de carrière (McCloskey i44; figure 4). Un premier test avec un tamis indépendant de 1/4 po à la sortie du concasseur a été réalisé. L'inclinaison du tamis et la vitesse du concasseur ont été ajustées de façon à optimiser le pourcentage de particules passant à travers la grille de 1/4 po.



Figure 4. Premiers tests de concassage et chargement de coquilles

OBSTACLE #1 : L'amas de coquilles présent au CGMR n'est pas à l'abri de la pluie. La présence de terre humide dans les coquilles a provoqué un colmatage rapide du tamis lors du test, de sorte que le matériel traversait de moins en moins le grillage de 1/4 po. Par conséquent, la capacité de l'équipement devenait très réduite, affectant ainsi la quantité de particules fines recueillies.

Ajustement au projet : L'humidité élevée du produit est donc un facteur limitatif et il est souhaitable d'avoir un produit sec pour maximiser l'efficacité de l'opération de concassage. La section suivante traite de l'optimisation du procédé de séchage qui devra être effectué avant l'étape de concassage.

2.4.2. Optimisation du procédé de préconcassage des coquilles

Une visite a été effectuée chez un citoyen qui reçoit des coquilles afin de voir si son amas est plus sec et plus propre que celui du CGMR (figure 5). Le citoyen nous a informés que le particulier qui possède une moulange a fait des tests concluants avec ses coquilles. Des informations ont été recueillies à cet effet concernant les dispositions à prendre dans le cadre d'une future filière. L'amas semblait sec et exempt de contaminants visuels. La méthode de séchage de ce citoyen est d'étaler les coquilles humides au soleil lors de leur réception sur une épaisseur d'environ 30 cm, et ce, pendant quelques jours avant de les inclure à son amas. Toutefois, le CGMR fait face à un manque d'espace pour accueillir les divers résidus qui y sont acheminés. Le contremaître ne peut pas libérer une superficie supplémentaire pour faire sécher les coquilles sur place.



Figure 5. Amas de coquilles chez un particulier

Un camion (10 roues) de coquilles humides du CGMR et un autre en provenance de chez le particulier ont été transférés dans la carrière où se trouvait les équipements de concassage en deux petits amas distincts. Ils ont été étalés sur une hauteur d'environ 30 cm pendant quelques jours consécutifs de beau temps pour ensuite être disposés de nouveau en amas. Par la suite, chaque amas a été protégé de la pluie par une bâche qu'on retirait lorsqu'il faisait soleil afin de garder autant que possible les coquilles sèches (figure 6).



Figure 6. Couverture des coquilles - séchage au soleil des coquilles

OBSTACLE #2 : À l'étape de faire de nouveaux tests, l'entrepreneur nous a informés que le tamis utilisé lors des premiers tests était resté dans la carrière où s'était réalisé les premiers essais. La machinerie destinée à déplacer le tamis n'était pas disponible non plus. Un temps d'attente supplémentaire a été nécessaire.

Ajustements au projet : Une rencontre avec un représentant de l'entreprise a été tenue pour assurer une arrivée rapide du tamis à la carrière où devaient se faire les nouveaux essais. Puisque la machinerie servant habituellement à déplacer les équipements n'était plus sur place, un camion-grue et un fardier ont été mobilisés pour assurer le transport du tamis.

OBSTACLE #3 : Une fois le tamis arrivé à la carrière, l'équipe de travail de l'entreprise s'est déplacée d'urgence vers une autre carrière pour réaliser un autre contrat. L'équipe et les équipements de concassage devaient revenir sur place environ deux à trois semaines plus tard pour pouvoir faire les essais. L'option de transférer l'entièreté des coquilles vers cette troisième

carrière engendrait des coûts trop importants, d'autant plus que la disponibilité des employés pour traiter les coquilles était pratiquement inexistante durant cette période.

Ajustements au projet : Étant donné le manque d'espace au CGMR, l'idée de transférer l'amas complet vers la carrière où se trouvait le tamis pour le faire sécher avant le retour de l'équipe de l'entreprise pour procéder au concassage a été évoquée. Cependant, un des représentants de l'entreprise a avisé le CERMIM qu'il n'aurait pas le temps de concasser l'amas de coquilles du CGMR à l'automne. En raison de l'impact majeur de cette nouvelle contrainte sur le projet, le CERMIM a négocié afin de procéder au concassage complet en dehors de l'horaire régulier de travail, soit le samedi 20 octobre 2018.

2.4.3. Concassage de l'amas de coquilles du CGMR

Puisque l'équipement était en demande et que l'entreprise accordait au CERMIM seulement une journée avant la fin de l'automne 2018, les tests qui devaient être réalisés avec différents tamis pour les deux petits amas ont été abandonnés. L'entièreté des coquilles du CGMR a été transférée vers la carrière le matin même. En tout, 23 camions (10 roues) ont été transportés pour un total de 298 t supplémentaires de coquilles. Le tamis a été installé à la sortie du concasseur avec un grillage de 1/4 po (figure 7). La vitesse du concasseur ainsi que l'inclinaison pouvaient être modifiées en cours de route pour être en mesure de recueillir le plus possible de coquilles fines, malgré l'humidité toujours présente.

Quelques heures avant la fin de la journée, les entrepreneurs ont enlevé le tamis pour faire fonctionner la machine au maximum de sa capacité afin de produire uniquement de la coquille d'un diamètre de 3/4 po. En tout, environ 240 t de coquilles de diamètre 3/4 po et 10 autres d'un diamètre de 1/4 po ont été produites. Une quantité d'environ 50 t ainsi que les deux petits amas ont été laissés intacts, dans le but de faire d'autres ajustements au printemps avant l'épandage en champs, si la température et la disponibilité des entrepreneurs le permettent.

Par ailleurs, il est à noter que le concasseur devait être doté de marteaux neufs lors du concassage complet pour permettre un concassage plus fin et uniforme pour améliorer au maximum les quantités recueillies sous le tamis de 1/4 po. Puisque l'entreprise a dû traiter beaucoup de pierres entre temps, les marteaux se sont usés, ce qui est une cause supplémentaire des faibles quantités de coquilles 1/4 po produites.



Figure 7. Concassage et tamisage des coquilles du CGMR

2.5 Envoi d'échantillons de coquilles et de sols et interprétation des résultats

À la suite du concassage, des échantillons de coquilles ont été prélevés à des fins d'analyses physicochimiques, microbiologiques, de corps tranchants et de granulométrie. Selon ces résultats, il a été possible de calculer l'IVA des coquilles pour chaque granulométrie produite. Par la suite, les doses de coquilles équivalentes à celles de la chaux pure ont été déterminées. Selon les analyses de sols, les besoins en chaux et en équivalent de coquilles ont été définis pour chaque parcelle réceptrice afin d'en corriger le pH.

OBSTACLE #4 : Les résultats d'analyses de coquilles qui devaient faire suite au concassage ont pris environ un mois à parvenir au CERMIM. Ces analyses étaient nécessaires au calcul des doses à appliquer en champs.

Ajustement au projet : Un chiffrier Excel a été monté de façon à calculer automatiquement les doses de coquilles à appliquer et dans lequel seules les données manquantes des analyses restaient à ajouter. Par ailleurs, les transporteurs et les agriculteurs ont été priés de se tenir prêts pour le transport des coquilles et leur épandage dès la réception de ces analyses.

OBSTACLE #5 : L'arrivée de la neige s'est produite de façon hâtive à l'automne 2018, ce qui a entraîné un engorgement des champs en eau. La réglementation sur l'épandage et l'accès restreint à la machinerie agricole en champs a fait en sorte que les épandages qui devaient avoir lieu à l'automne 2018 ont dû être reportés au printemps 2019.

Ajustement au projet : Bien que les épandages aient été reportés au printemps 2019, il est à noter que ces derniers ont été réalisés dans de meilleures conditions, favorisant l'obtention de résultats plus significatifs.

2.6 Essais en milieu contrôlé avec les étudiants du cégep

Des essais de mélanges sols/coquilles en pots Masson ont été réalisés avec les étudiants du cégep de la Gaspésie et des Îles (campus des IDLM; figure 8). L'objectif était d'évaluer l'IVA des coquilles concassées à différentes granulométries selon les doses théoriques recommandées (voir l'Annexe 1 pour plus d'information sur le protocole proposé). Pour ce faire, les étudiants ont préparé différents mélanges pour être en mesure de suivre l'évolution du pH dans le temps. Les échantillons de sols (sol A et sol B) qui leur ont été fournis provenaient des deux champs ciblés pour l'épandage chez le producteur #2.



Figure 8. Essais en laboratoires avec le cégep

2.6.1. Comparaison entre les méthodes d'analyses

Les manipulations ont été effectuées avec des instruments facilement disponibles sur place et une comparaison des résultats a été faite avec ceux d'un laboratoire agréé. Selon les résultats obtenus, il est possible de constater que les deux méthodes d'analyses démontrent des résultats généralement comparables (voir section : *Résultats*). Par conséquent, les producteurs peuvent rapidement avoir une idée de l'acidité de leurs sols en faisant appel aux services du cégep ou en se dotant de ces équipements à la maison. Par ailleurs, ils pourront en tout temps être à l'affût de l'évolution du pH dans leurs champs sans avoir à déboursier à chaque fois un certain montant pour

l'envoi d'échantillons en laboratoire et ce, sans parler des délais d'attente avant la réception des résultats. Il est toutefois conseillé d'avoir recours à une analyse effectuée par un laboratoire agréé pour assurer une fiabilité des résultats.

2.6.2. Performances des coquilles en milieu contrôlé versus les recommandations théoriques

Il a été possible de suivre l'évolution du pH dans le temps selon les doses théoriques recommandées pour ramener le pH à une valeur visée de 6,5. Les graphiques de la section **3 Résultats** montrent que les pH des sols ayant reçu des coquilles concassées à 3/4 po ainsi qu'à 1/4 po varient entre 6,9 et 7,0. Il semble y avoir une concordance en ce qui concerne les résultats finaux selon les différentes doses équivalentes théoriques préalablement calculées. Cependant, en pratique, les coquilles semblent plus efficaces qu'en théorie. Il serait pertinent de noter ces différences lors d'applications futures pour être en mesure d'établir un facteur de correction dans la méthode de calculs qui refléterait mieux la réalité.

2.6.3. Valeur ajoutée par la participation des étudiants du cégep

La participation des étudiants du cégep à ce projet a permis de les sensibiliser à l'importance d'une agriculture durable aux IDLM et à la récupération de matières résiduelles dans une optique d'économie circulaire. Dans le cadre de leur projet, ils ont partagé le fruit de leurs recherches par le biais d'une présentation offerte à tous dans le cadre des 24 heures des sciences.

2.7 Suivi des épandages en champs de la phase 2 du projet

Les parcelles qui ont été mises à l'essai lors de la phase 2 du projet, soit du printemps 2015 à l'automne 2016, ont été échantillonnées. Les échantillons ont ensuite été envoyés en laboratoire à des fins d'analyses. Le nouveau pH a alors été comparé à celui de départ.

OBSTACLE #6 : Un échantillonnage a été fait pour la parcelle chez *Bernard Langford* ainsi que chez *Les Champs Marins*. Les parcelles présentent maintenant un pH élevé et les besoins en chaux sont donc nuls. Par ailleurs, *Bernard Langford* a appliqué d'autres coquilles à l'automne 2019 lors de la prise d'échantillons. Ne connaissant pas les doses exactes et l'IVA équivalente à la chaux, la recommandation d'une dose précise se serait avérée impossible pour faire d'autres essais. En ce qui concerne la parcelle test chez l'entreprise *Le domaine des Salanges*, étant donné un épandage

en phase 2 uniquement dans l'entre rang et non profitable à la culture en place, un suivi s'avérait non-représentatif.

Ajustement au projet : Pour ces raisons, une modification des objectifs proposant des essais sur de nouveaux champs aura permis d'avoir des résultats plus contrôlés et justes.

2.8 Épandage des coquilles en champs (phase 3)

2.8.1. Planification de l'épandage en champs au printemps 2019

Les trois parcelles choisies pour faire l'épandage sont celles appartenant au producteur #3 (Christian Poirier). Les doses de coquilles concassées équivalentes à celles en chaux agricole ont été calculées selon les analyses de coquilles et les analyses de sols pour chaque champ récepteur (Tableau 4). On a rencontré le producteur pour identifier les chemins d'accès aux champs et les endroits où déposer le matériel. Un plan de localisation a alors été fourni au transporteur pour lui faciliter la tâche.

2.8.2. Transport, épandage et incorporation des coquilles

Les coquilles ont été transportées en champs les 17 et 18 mai 2019. Les doses de coquilles ont été calculées de façon à remonter le pH à une valeur cible de 5,5. La principale raison pour laquelle cette valeur a été ciblée est que les quantités de coquilles requises pour remonter le pH à 6,0 ou 6,5 étaient très importantes et les essais auraient dû se faire sur de plus petites superficies. Les essais d'épandage ont été effectués avec la granulométrie de 3/4 po et moins dans chacune des parcelles et une petite superficie a été mise à l'essai dans le champ #1 avec la faible quantité de coquilles d'un diamètre inférieur à 1/4 po. Le tableau 4 résume les besoins en coquilles, les doses réellement appliquées dans chaque parcelle d'essai ainsi que les dates d'épandage et d'incorporation.

L'équipement d'épandage utilisé par le producteur est un ancien épandeur appartenant autrefois à la ferme avicole auquel des modifications ont été apportées pour s'adapter à du matériel plus robuste comme les coquilles de palourdes. La figure 9 illustre les premiers essais d'épandage au site 1. Le producteur avait autorisé les étudiants du cégep ayant travaillé sur les coquilles en milieu contrôlé ainsi que leurs professeurs à venir observer les procédures pratiques d'épandage en champ.

Tableau 4. Paramètres relatifs à l'épandage de coquilles en champs

Épandage de coquilles			
	Site 1	Site 2	Site 3
pH visé	5,5	5,5	5,5
Dose théorique en chaux pure (t/ha)	2,8	3,4	11,6
Dose équivalente théorique en coquilles 3/4 po (t/ha)	27,5	33,4	114
Dose équivalente théorique en coquilles 1/4 po (t/ha)	24,7	30	102,3
Dose réelle en coquilles 3/4 po (t/ha)	29,4	29,9	130,2
Dose réelle en coquilles 1/4 po (t/ha)	26,4	N/A	N/A
Date d'épandage	20-mai-19	20-juin-19	20-juin-19
Date d'incorporation	23-mai-19	N/A	01-août-19
Méthode d'incorporation	Labour	N/A	Labour



Figure 9. Épandage en champ - participation du cégep

OBSTACLE #7 : Lors de l'épandage, il est arrivé à quelques reprises que des pierres présentes dans les amas de coquilles se retrouvent dans l'épandeur, ce qui a engendré des bris de matériel. L'une d'entre elles était particulièrement grosse (figure 10). Les pierres qui se retrouvaient parmi les coquilles ne provenaient cependant pas de la carrière où elles étaient entreposées, ce qui laisse croire que la contamination s'est faite lors de l'étape de transport.



Figure 10. Présence de roches dans les coquilles

Ajustement au projet : Pour assurer un produit de qualité, les camions destinés à transporter les coquilles devront être exempts de toute autre matière. Une procédure de manutention consistant à nettoyer les véhicules devra être suivie pour éviter à nouveau ce genre de contamination.

À la suite de l'épandage des coquilles, une incorporation au sol peut être faite pour accélérer le processus de remontée du pH. Tel que mentionné dans le tableau 4, l'incorporation des coquilles s'est faite pour les sites 1 et 3 à l'aide d'une charrue et à des dates différentes, tandis que les coquilles épandues au site 2 sont restées à la surface.



Figure 11. Incorporation des coquilles en champ - avant/après

2.9 Suivi des épandages en champs

Un échantillonnage en champs a été effectué le 4 novembre 2019 et envoyé à un laboratoire agréé afin de faire un suivi du pH pour chaque essai en champs. Les pH finaux sont semblables, soit des valeurs se situant entre 5,8 et 5,9. Tout comme pour les essais en milieux contrôlés, les pH finaux en champs sont légèrement plus élevés que le pH visé (5,5). Les mêmes hypothèses sont émises quant à la méthode de calcul des doses théoriques.

En ce qui concerne le site 1, il a été possible de comparer les résultats obtenus suite à l'épandage de coquilles concassées à 3/4 po et à 1/4 po. Les résultats finaux semblent concorder entre eux, soient respectivement des valeurs de 5,9 et 5,8. Par ailleurs, les coquilles épandues au site 2 n'ont pas été incorporées au sol contrairement à celles appliquées aux sites 1 et 3. Selon les résultats obtenus, l'efficacité en champs ne semble pas être affectée par une non-incorporation des coquilles au sol. Il serait cependant recommandé de refaire d'autres essais comparatifs avant de tirer de conclusions. Il est à noter que les pH finaux ont été analysés que quelques mois après avoir réalisé les épandages en champs. Il serait pertinent de faire de nouvelles analyses au printemps 2020 pour avoir un portrait à plus long terme sur l'évolution temporelle du pH.

2.10 Mise en place d'une filière de valorisation agricole

Au cours de la réalisation de chacune des étapes précédentes, plusieurs embûches ont été rencontrées auxquelles des solutions ont dû être trouvées. Par ailleurs, pour mettre en place une filière de valorisation agricole qui soit viable, chaque étape doit être le plus simple possible afin de minimiser les frais associés à la manutention et au conditionnement des coquilles. Les sous-sections suivantes proposent un scénario pour chaque étape tout en ciblant les différents acteurs du milieu qui veilleront au bon fonctionnement de cette filière. Ces derniers sont principalement *Les Entreprises Larebel inc.* qui veilleront à stocker, à conditionner et à transporter les coquilles broyées ainsi que *Les Fruits de mer Madeleine inc.* qui transporteront les coquilles générées par leur usine vers le lieu d'entreposage.

2.10.1. Lieu d'entreposage du produit brut

Les coquilles de palourdes générées en usine seront acheminées par un employé de *Les Fruits de mer Madeleine inc.* vers une carrière exploitée par *Les Entreprises Larebel*. Chaque voyage de coquilles sera pesé au préalable en usine et un registre sera conservé. Le lieu de dépôt sera à

l'écart des activités de concassage de pierre pour éviter la contamination des coquilles avec de la pierre de carrière.

2.10.2. Équipements de concassages leurs opérateurs

L'équipement servant au concassage des coquilles sera le McCloskey i44 que possèdent Les Entreprises Larebel (figure 12). Lors des activités de concassage, le préposé au chargement devra veiller à garder une couche de coquilles de quelques pouces d'épaisseur en permanence au sol afin d'éviter la contamination des coquilles avec de la pierre. L'efficacité des coquilles concassées à 3/4 po est presque aussi performante que celle des coquilles concassées à 1/4 po, en plus de prendre considérablement moins de temps à conditionner. Par ailleurs, leurs masses volumiques semblables n'affectent pas de façon notable les frais associés au transport (**voir la section Résultats** pour plus de détails). D'autres essais pourront être effectués par la compagnie, mais il a été convenu que le concassage à 3/4 po s'avère être le plus économique avec les équipements de concassage actuels. Par ailleurs, l'étape de séchage des coquilles permettant d'accélérer le processus de tamisage à 1/4 po n'a pas besoin d'avoir lieu puisque la granulométrie de 3/4 po sort directement du concasseur.

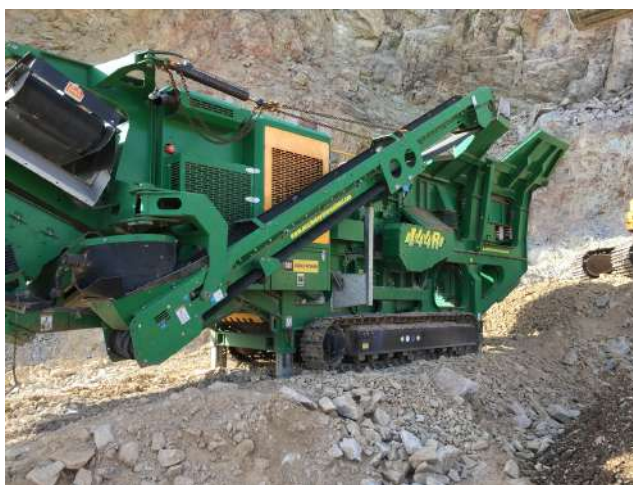


Figure 12. Concasseur McCloskey i44

2.10.3. Lieu d'entreposage du produit conditionné

Une fois les coquilles conditionnées, elles seront stockées en amas au même lieu d'entreposage. Un échantillonnage des coquilles à des fins d'analyses en laboratoire devra être fait pour être en mesure de calculer les besoins en chaux en fonction des analyses de sols des sites récepteurs.

L'agronome du CERMIM veillera à définir les quantités équivalentes en coquilles comme substitut à la chaux qui devront être transportées vers chacun de ces champs.

2.10.4. Transport et conditionnement du produit

Le transport des coquilles se fera avec les camions de type 10 roues et les semi-remorques que possèdent Les Entreprises Larebel inc. Chaque camion devra dans un premier temps être nettoyé pour éviter les problématiques de contamination du matériel. Le chargement se fera par la pelle mécanique ou par la chargeuse qui se retrouve sur place et chaque voyage sera pesé sur la balance de chantier avant de quitter la carrière pour se rendre en champs. Un registre des quantités livrées sera tenu. La figure 13 montre un chargement de camion et une livraison de coquilles en champ.



Figure 13. Chargement de coquilles et livraison de coquilles en champs

2.10.5. Équipements d'épandage et d'incorporation et leurs opérateurs

Chaque entreprise agricole est tenue de veiller à l'épandage et à l'incorporation de leur matériel. Dans le cadre de la filière, Christian Poirier, agriculteur, s'est porté volontaire pour faire de l'épandage à forfait avec son épandeur à fumier de poules modifié. Il possède aussi une charrue et une herse à disque pour incorporer le matériel au sol. Par ailleurs, une coopérative (CUMA) située sur le territoire madelinot possède des équipements, tels qu'un épandeur à fumier, qui sont aussi disponibles aux agriculteurs membres de la coopérative.

2.10.6. Réglementation et permis

Lors des premiers échanges avec le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) concernant les permissions requises pour valoriser les coquilles de palourdes, il a été mentionné par écrit qu'une autorisation était nécessaire pour leur conditionnement seulement et qu'aucune autorisation additionnelle n'était nécessaire pour l'épandage en champs.

Dans un premier temps, une demande d'avis de non-assujettissement a été préparée et envoyée à la compagnie Les Entreprises Larebel inc. pour que celle-ci la signe et la transmette au MELCC. Un professionnel du MELCC a informé le CERMIM qu'il était possible qu'un certificat d'autorisation (C.A.) soit nécessaire pour encadrer ces activités. Comme l'entreprise avaient déjà une demande de C.A. en cours, le CERMIM a préparé pour eux une demande de modification de C.A. afin d'y ajouter les coquilles comme matériel à conditionner, dans le cas où la demande d'avis de non-assujettissement serait refusée. Après évaluation du dossier, le MELCC a confirmé que le concassage, le stockage et le transport des coquilles de palourdes ne sont pas assujettis à un C.A. et que leur conditionnement peut se faire dans une carrière de la compagnie. À titre informatif, le traitement d'une demande d'avis de non-assujettissement est gratuit tandis qu'une demande de C.A. pour ce type d'activité engendre des coûts de 1003\$ (2019).

En outre, le MELCC a informé le CERMIM que l'épandage en champs devait finalement être encadré par un C.A. puisque les coquilles de palourdes ne sont pas certifiées par le Bureau de normalisation du Québec (BNQ) et ce, même si elles répondent à leurs exigences. Il est à noter que le traitement d'une demande de C.A. de type agricole n'engendre cependant pas de frais. Dans le cadre d'un autre projet dirigé par le CERMIM, soit le projet *Béton-Vert*, une demande d'autorisation a déjà été préparée avec les usines de transformations pour mettre en place une filière de valorisation agricole des coproduits marins (résidus de crabe et de homard). Suite à des discussions avec le MELCC, une demande de modification pour y ajouter les coquilles de palourdes est l'idéal étant donné qu'elles sont elles aussi générées par une de ces usines de transformation.

Par ailleurs, le MAPAQ a aussi des exigences réglementaires. Les coquilles doivent être transformées et un intrant doit y être ajouté avant de quitter l'usine. Dans le cas où les coquilles sont broyées en sortant de l'usine, un intrant, dont la proportion n'est pas précisée et peut se résumer à une quantité aussi infime qu'une pincée de terre, les coquilles n'ont pas besoin d'autorisation. Cependant, si elles ne sont pas broyées, un avis de Passer-Outre est requis. Une demande est présentement en traitement avec un professionnel du MAPAQ.

2.10.7. Analyse économique

Une analyse économique a été proposée et présentée à Les Entreprises Larebel inc. Il est à noter que cette entreprise est libre de réajuster leurs tarifs lors de la mise en œuvre de la filière. Le tableau 5 présente les revenus et les dépenses associés à cette analyse.

Tableau 5. Filière avec Les Entreprises Larebel – analyse économique

Filière avec Les Entreprises Larebel inc. - Analyse économique pour 100 tonnes/an de coquilles				
	\$/tonne	\$/heure	TOTAL (\$)	Commentaires
REVENUS				
Entreposage:	100		10 000	Tarif basé sur les frais d'entreposage du CGMR
Livraison:	6,32		632	1 tonne de chaux équivaut à 8 tonnes de coquilles à 3/4 po. Une tonne de chaux doit être vendue à un coût maximal de 50 \$
<i>Sous-total:</i>			10 632	
DÉPENSES				
Concassage:		585	1 170	On estime à 2 h le temps de concassage de 100 tonnes de coquilles à 3/4 po. Selon les factures, le concassage comprenant les opérateurs de machineries et le nettoyage du site reviennent à 585 \$/h
Transport	17,53		1 753	Selon les factures, les frais de transport, incluant le chargement des camions, reviennent à 17,53 \$/tonne
Échantillonnage et recommandations agronomiques		100	500	On estime une charge de travail de 5 à une tarification de 100 \$/h
Analyses des coquilles en laboratoire			1 040,34	Les frais d'analyses laboratoire chez Eurofins s'élèvent à 1040,34 \$
Permissions			0	La demande d'autorisation ou de modification de C.A. au MELCC coûte 1003 \$. Les frais de cette autorisation sont pris en charge par le CERMIM et est valide par la suite. Un montant de 0 \$ est donc indiqué dans cette analyse économique
<i>Sous-total:</i>			4 463,34	
TOTAL:			6 168,66	

Pour résumer, Les Entreprises Larebel inc. pourraient faire un profit d'environ 6 000 \$ pour le conditionnement de 100 t de coquilles par année. Au fil du temps, l'entreprise pourra, si désiré, optimiser la granulométrie en fonction du temps de concassage pour augmenter la performance du produit et ainsi être en mesure d'augmenter le prix à la tonne vendue. Par ailleurs, elle pourrait s'informer si le MAPAQ offre le service agronomique pour ainsi diminuer leurs dépenses liées aux

recommandations de doses à appliquer en champs. De plus, il existe des subventions pour l'importation de chaux agricoles aux IDLM. Si ces subventions sont applicables aux coquilles jouant un rôle de substitut à la chaux, les bénéfices économiques seraient considérables.

Par ailleurs, il est à noter que, même si la livraison était gratuite pour les agriculteurs, le profit reste présent, soit de 5 537\$ dans la proposition présentée ci-haut. Dans ce cas, il n'y a aucune raison économique qui ferait en sorte que les agriculteurs des IDLM ne profitent pas de ce produit.

2.10.8. Autres options de filières de valorisation agricole

Bien que la filière proposée avec Les Entreprises Larebel inc., possédant déjà des équipements de concassage et de manutention aux IDLM, soit l'option la plus économique, d'autres options nécessitant un investissement pour l'acquisition d'équipements ont été évaluées.

Des essais d'équipements de broyage ont été effectués à l'extérieur des IDLM. Pour ce faire, le CERMIM a identifié différents fournisseurs d'équipements et des coquilles ont été déplacées avec afin de les conditionner. Des essais ont été effectués chez trois fournisseurs, soient 1) Machinerie.ca, 2) JECC Mécanique Ltée et 3) Voghel. Voici les détails :

Machinerie.ca

Le broyeur mis à l'essai avait les caractéristiques suivantes :

- Type de broyeur : broyeur à marteaux;
- Vitesse de rotation : 1800 tours/min;
- Puissance du moteur : 25 Hp;
- Diamètre des ouvertures du tamis en place : 1/8 po;
- Capacité : évaluée à 1-2 t/heure;
- Coût de l'équipement : 15 000 \$ (usagé).

Lors des essais, les coquilles ne cherchaient pas à colmater le tamis. Un tamis avec des ouvertures plus petites pourrait alors être installé afin d'obtenir une granulométrie plus fine si désiré. Cependant, le conditionnement des coquilles engendrait beaucoup de poussière et un système additionnel de dépoussiérage pourrait être intéressant à acquérir si les opérations de conditionnement s'effectuaient dans un bâtiment fermé. Par ailleurs, l'équipement ne possédait pas de trémie d'alimentation. Il faudrait alors s'en faire fabriquer une pour optimiser la manutention. La figure 14 montre l'équipement en action ainsi que le produit final.



Figure 14. Broyeur à marteaux (Machinerie.ca) - coquilles broyées

[JECC Mécanique Ltée.](#)

Le broyeur mis à l'essai avait les caractéristiques suivantes (figure 15) :

- Type de broyeur : moulinage à marteaux;
- Vitesse de rotation : 900 tours/min;
- Puissance du moteur : 50 Hp;
- Diamètre des ouvertures du tamis en place : 1 po;
- Capacité : évaluée à 5 t/heure;
- Coût de l'équipement : 25 000 \$ (usagé).

Lors des essais, les coquilles passaient dans un tamis de 1 po. Un tamis avec des ouvertures plus petites pourrait être installé afin d'obtenir une granulométrie plus fine. Selon le fournisseur, la capacité à broyer plus finement ne serait que légèrement affectée. Cependant, le conditionnement des coquilles engendrait beaucoup de poussière et un système additionnel de dépoussiérage pourrait être intéressant à acquérir si les opérations de conditionnement s'effectuaient dans un bâtiment fermé.



Figure 15. Broyeur à marteaux (JECC)

Voghel

Le broyeur mis à l'essai avait les caractéristiques suivantes (figure 16 A et B) :

- Type de broyeur : moulinage à marteaux Promega 2100;
- Vitesse de rotation : 3200 tours/min;
- Puissance du moteur : 25 Hp;
- Diamètre des ouvertures du tamis en place : 2 mm;
- Capacité : évaluée à 1 t/heure;
- Coût de l'équipement : 10 900 \$.

Lors des essais, les coquilles ne cherchaient pas à colmater le tamis de 2 mm (figure 16 C). Un tamis avec des ouvertures plus petites pourrait alors être installé afin d'obtenir une granulométrie plus fine. Selon le fournisseur, il n'y aurait pas de problème à utiliser une grille de 1 mm. Cependant, le conditionnement des coquilles engendrait beaucoup de poussière et un système additionnel de dépoussiérage pourrait être intéressant à acquérir si les opérations de conditionnement s'effectuaient dans un bâtiment fermé. Le dépoussiéreur proposé coûte 37 000 \$ et peut être adapté à de plus gros équipements. Par ailleurs, une trémie d'alimentation devrait être fabriquée pour optimiser la manutention.

De plus, le même équipement, mais à une plus grande capacité de production, a été présenté au CERMIM si les besoins sont grandissants. Il s'agit de la moulange à marteaux MOU-1810 d'une valeur de 29 980 \$ (figure 16 D).



Figure 16. A (moulange Promega) B (intérieur moulange Promega) C (poudre moulange Promega) D moulange (MOU-1810)

En ce qui concerne les équipements de Machinerie.ca et de Voghel pour lesquels les essais ont engendré des granulométries intéressantes, des analyses en laboratoires ont été effectuées pour mesurer l'efficacité des coquilles en champs et ainsi déterminer leur IVA dans le but de calculer une dose équivalente à celle de la chaux (tableau 6).

Les résultats permettent de conclure que le ratio de coquilles équivalent à la chaux importée, pour chaque équipement, est meilleur que celui de la filière proposée, soient respectivement 1,6 : 1 et 1,3 : 1 au lieu de 7,9 : 1. Une meilleure efficacité du produit en champs peut alors s'avérer intéressante au point de vue économique.

Le CERMIM, lors de la réalisation du projet *Béton Vert* actuellement en processus, projette l'acquisition d'équipements de conditionnement de produits marins, dont un broyeur qui pourrait faire le conditionnement des coquilles comme substitut à la chaux. Dans ce cas, le CERMIM pourrait éventuellement recevoir les coquilles pour assurer leur conditionnement. Une analyse économique pour la mise en place de cette nouvelle filière alternative de valorisation pourrait alors être faite selon les mêmes paramètres que ceux établis avec Les Entreprises Larebel inc. pour s'assurer de sa rentabilité.

Tableau 6. Résultats selon la granulométrie de différents équipements

Paramètres mesurés	Machinerie.ca	Voghel	Chaux importée
Efficacité (Eff) (%)	58,4	73,9	77,7
PN (%)	86,8	86,8	98,7
IVA (%)	50,7	64,1	76,7
Densité (t/m3)	1,3	1,3	1,3
Humidité (%)	10,5	10,5	5
Ratio de coquilles équivalent à la chaux importée	1,6	1,3	1
Nombre de voyages équivalents à la chaux importée	1,6	1,3	1

2.11 Autres avenues prometteuses de valorisation

D'autres avenues intéressantes de valorisation des coquilles ont été ciblées et sont présentées dans les sous-sections suivantes.

2.11.1. Valorisation des coquilles de buccin par épandage direct en champ

Bien que le présent projet traite de la valorisation des coquilles de palourdes seulement, les coquilles qui étaient présentes au CGMR et qui ont servi pour faire les essais comprenaient un bon pourcentage de buccin. Dans le cadre du projet *Béton Vert*, le CERMIM a aussi fait l'analyse des résidus de buccin et une demande de certificat d'autorisation (C.A.) a été déposée au MELCC pour en faire l'épandage en champs. Des terres agricoles ont été ciblées et analysées en vue de calculer les doses permises à appliquer en champs. Le CERMIM estime pouvoir écouler entièrement les coquilles de buccin générées en usines par cette voie de valorisation considérant qu'elles sont généralement produites en fins de saisons, soit au moment propice à leur épandage en champs.

2.11.2. Valorisation des coquilles dans le béton

Dans le cadre du projet *Béton Vert*, la valorisation des coquilles, y compris celles de palourdes, est présentement à l'étude dans la fabrication d'un béton naturel. Le projet consiste, entre autres, à conditionner les coquilles de mollusques et les carapaces de crustacés en une fine poudre qui jouera un rôle de liant dans les recettes de ciment.

2.11.3. Valorisation en aménagement paysager

L'utilisation de coquilles en aménagement paysager est une autre option de valorisation qui pourrait être explorée davantage. En lien avec la filière proposée avec Les Entreprises Larebel inc. dans le cadre du projet, la portion de coquilles inactives pour remonter le pH des sols, soit les particules plus grandes que 2 mm, pourrait être séparée du reste et récupérée pour être utilisée comme matériel de paillis ou autre. Une étude de marché plus poussée pourrait être réalisée pour évaluer la rentabilité de cette option de valorisation.

3. RÉSULTATS

3.1 Résultats quantitatifs obtenus

3.1.1. Quantité de coquilles sorties du CGMR

Lors du transfert des coquilles du CGMR vers une autre destination, le camion est d'abord pesé à vide sur le système de pesée à l'entrée. Une fois chargé de coquilles, il remonte sur la balance et est pesé de nouveau. La différence entre le poids du camion plein et le poids du camion vide est enregistrée par un des employés et ce sont ces données qui ont été utilisées pour définir les quantités de coquilles sorties du centre de tri. Voici les détails :

- 1 camion semi-remorque représentant 22 t de coquilles a été acheminé vers un lieu de concassage pour les premiers tests;
- 1 camion (10 roues) représentant 5 t de coquilles a été acheminé vers un lieu de concassage pour les essais de séchage avant concassage;
- 23 camions (10 roues) représentant 298 t de coquilles ont été acheminés vers un lieu de concassage;
- Au total, 325 t de coquilles ont été sorties du CGMR (figure 17).



Figure 17. Coquilles au CGMR (avant) - coquilles au CGMR (après)

3.1.2. Quantité de coquilles concassées et épandues en champs

Environ 250 t de coquilles ont été concassées (240 t d'une granulométrie de 3/4 po et 10 t d'une granulométrie de 1/4 po) (figure 18).



Figure 18. Coquilles broyées à 3/4 po (en arrière) et à 1/4 po (devant)

3.1.3. Nombre d'entreprises agricoles rejointes

Cinq représentants d'entreprises agricoles du territoire ont été contactés.

3.1.4. Nombre d'entreprises participantes

Trois entreprises ont montré de l'intérêt pour épandre des coquilles dans leurs champs. Les analyses de sols qui ont été effectuées chez le producteur #1 ont démontré un pH qui est déjà légèrement supérieur au pH cible. Ainsi, les besoins en chaux sont nuls. Une seconde analyse de ces sols a été réalisée par un autre laboratoire agréé à des fins de comparaisons et les résultats sont similaires.

Deux parcelles ciblées chez le producteur #2 ont montré des besoins en chaux selon les analyses de sols prises à l'automne 2018. Cependant, puisque l'épandage qui devait se faire à l'automne a été reporté au printemps 2019 et que le producteur était moins disponible à ce moment de l'année, les essais ont dû se faire dans d'autres champs.

Les analyses des parcelles du producteur #3 démontrent un pH en dessous de celui ciblé. Nous avons ciblé plusieurs champs qui démontraient des besoins en chaux. La disponibilité du

producteur au printemps a permis de procéder à un épandage de coquilles dans trois parcelles distinctes.

3.1.5. Coûts épargnés en importation de chaux agricole

L'importation de chaux agricole, incluant le transport, coûte 150 \$/t. Des programmes de financement couvrent environ 110 \$/t et les producteurs paient 40 \$/t de leur poche. Les analyses granulométriques de coquilles concassées et celles de leur pouvoir neutralisant (PN) issu d'un laboratoire agréé permettent de calculer l'indice de valeur agricole (IVA) qui permet de déterminer les quantités équivalentes en coquilles pour substituer la chaux. L'équation suivante est utilisée pour le calcul de l'IVA :

$$IVA (\%) = Eff (\%) \times PN (\%)$$

Le tableau 7 illustre les valeurs tirées des analyses en laboratoire et les calculs nécessaires à la détermination du nombre de voyages de camions équivalents à la chaux agricole.

Tableau 7. Quantités de coquilles équivalentes à celles de la chaux

Paramètres mesurés	Coquilles 3/4 po	Coquilles 1/4 po	Chaux importée
Efficacité (Eff.) (%)	13,1	14,6	77,7
PN (%)	86,8	86,8	98,7
IVA (%)	11,4	12,7	76,7
Densité (t/m ³)	1,18	1,28	1,3
Humidité (%)	10,5	10,5	5
Ratio de coquilles équivalent à la chaux importée	7,2	6,4	1
Nb de voyages équivalents à la chaux importée	7,9	6,5	1

Selon les frais de concassage et de transport des coquilles, il est possible de calculer les coûts épargnés en utilisant le coproduit local transformé en comparaison à la chaux agricole. Dans l'optique d'offrir aux agriculteurs un produit à un coût au moins équivalent à celui de la chaux

importée, une analyse économique des revenus et des dépenses doit être faite. Les calculs détaillés se trouvent dans le tableau 5.

3.1.6. Coûts épargnés d'entreposage au CGMR

Le CGMR a facturé 90 \$/t aux usines pour entreposer les résidus de mollusques. Au cours du projet, 325 t de résidus ont été conditionnées ce qui représente une économie de 29 250 \$. Considérant une quantité annuelle de 100 t de coquilles produites et un nouveau taux de facturation du CGMR s'élevant à 100 \$/t, une économie d'entreposage de 10 000 \$ serait faite si les coquilles ne transigeaient pas au CGMR.

3.1.7. Nombre de kilomètres évités

Chaque camion (10 roues) parcourt 149 km en mer via le transporteur maritime qui fait la traversée entre les IDLM et l'Île-du-Prince-Édouard et 293 km vers le site d'approvisionnement en chaux situé au Nouveau-Brunswick pour ensuite refaire le chemin inverse vers le territoire madelinot. À ces distances s'ajoute le transport routier sur le territoire qui est estimé à 20 km en moyenne pour la distribution à l'entreprise agricole réceptrice. Au total, 298 km en mer et 606 km terrestres sont parcourus par chaque camion pour distribuer l'équivalent d'environ 16 t de chaux chez les entreprises agricoles prenantes.

En faisant abstraction du transport maritime qui fera tout de même la traversée avec plusieurs autres véhicules, les kilomètres terrestres parcourus pour un camion de chaux sont supérieurs à un équivalent en coquilles en provenance du territoire vers les champs des agriculteurs locaux. Le tableau 8 illustre les données et le calcul du nombre de kilomètres évités par camion pour l'utilisation de coquilles broyées à 3/4 po et à 1/4 po en substitution à la chaux importée.

Tableau 8. Nombre de kilomètres évités en utilisant les coquilles comme substitut à la chaux

Nombre évité	Coquilles 3/4 po	Coquilles 1/4 po	Chaux importée
Kilomètres par voyage	20	20	606
Voyages équivalents à la chaux importée	7,9	6,5	1
Kilomètres équivalents à la chaux importée	158	130	606
Kilomètres évités en utilisant les coquilles comme substitut à la chaux	448	476	0

3.2 Résultats significatifs obtenus

3.2.1. Influence de la granulométrie sur l'efficacité des coquilles

La granulométrie est un facteur directement lié à l'efficacité des coquilles comme remplacement à la chaux. La fraction de coquilles qui se trouve entre 0,15 mm et 2,0 mm a une efficacité de 60 %, celle qui est inférieure à 0,15 mm présente une efficacité de 100 % tandis que toutes les particules plus grossières à 2,0 mm sont considérées comme non efficaces. Selon les résultats des analyses granulométriques, l'efficacité des coquilles concassées à 3/4 po est très semblable à celle concassée à 1/4 po (13,1 % versus 14,6 %). Il en résulte qu'il n'est pas beaucoup plus avantageux d'avoir des coquilles de 1/4 po en termes d'efficacité aux champs. Le temps consacré au concassage est d'ailleurs beaucoup plus élevé et ne vaut donc pas la peine au point de vue économique.

3.2.2. Influence de la granulométrie sur les coûts de transport

La densité des coquilles de 1/4 po et de 3/4 po a été évaluée en pesant un échantillon de chacun dans un volume connu. La différence est minime (1,28 t/m³ VS 1,18 t/m³). Les coûts de transports et de manutention sont alors très semblables.

3.2.3. Influence de la granulométrie sur le pouvoir neutralisant des coquilles

Des analyses laboratoires ont été effectuées sur des échantillons de coquilles en provenance du CGMR qui ont subi un broyage à différentes granulométries. Le tableau 9 illustre les résultats obtenus.

Tableau 9. Influence de la granulométrie sur le PN des coquilles

Échantillons de coquilles du CGMR	PN (%)
Coquilles 1/4 po #1	83,1
Coquilles 1/4 po #2	88,9
Coquilles 3/4 po #1	86,2
Coquilles 3/4 po #2	89,1

Selon ces résultats, on constate que le PN des coquilles ne semble pas être influencé de façon notable par la granulométrie des coquilles en ce qui a trait aux échantillons de 1/4 po et 3/4 po analysés. Les valeurs obtenues pour chacune des granulométries sont semblables.

3.2.4. Influence du temps d'entreposage des coquilles sur le pouvoir neutralisant

Des analyses en laboratoire ont été effectuées sur des échantillons des résidus frais de coquilles de palourdes et sur d'autres échantillons de coquilles vieilles. Le tableau 10 montre les résultats obtenus.

Tableau 10. Influence de la vieillesse des coquilles sur le PN

Échantillons de coquilles de palourdes	PN (%)
Coquilles vieilles #1	97,2
Coquilles vieilles #2	96,6
Coquilles fraîches #1	96,0
Coquilles fraîches #2	97,0

Selon ces résultats, le temps d'entreposage des coquilles ne semble pas avoir d'influence sur la valeur du PN. Les valeurs de chaque échantillon se retrouvent entre 96,0 % et 97,2 %.

3.2.5. Présence de contaminants physiques dans l'amas de coquilles

La présence de contaminants physiques dans l'amas de coquilles du CGMR est abondante, notamment de la terre et du bois (figure 19). Des essais de tamisage ont été effectués sur un échantillon d'environ 75 litres afin de séparer au maximum les coquilles de ces contaminants. Ces derniers représentent un pourcentage d'environ 45 % de l'échantillon total selon les résultats qui proviennent des essais de tamisage. Un protocole concernant la manutention des coquilles de mollusques doit être établi pour préserver un produit de qualité.



Figure 19. Tamisage manuel des coquilles - présence de contaminants

3.2.6. Performance des coquilles en milieu contrôlé

Des analyses en laboratoire ont été faites à différentes périodes afin de voir l'évolution dans le temps du pH des coquilles concassées à 3/4 po, celles à 1/4 po, de la chaux et du sol seul (figures 20 et 21).

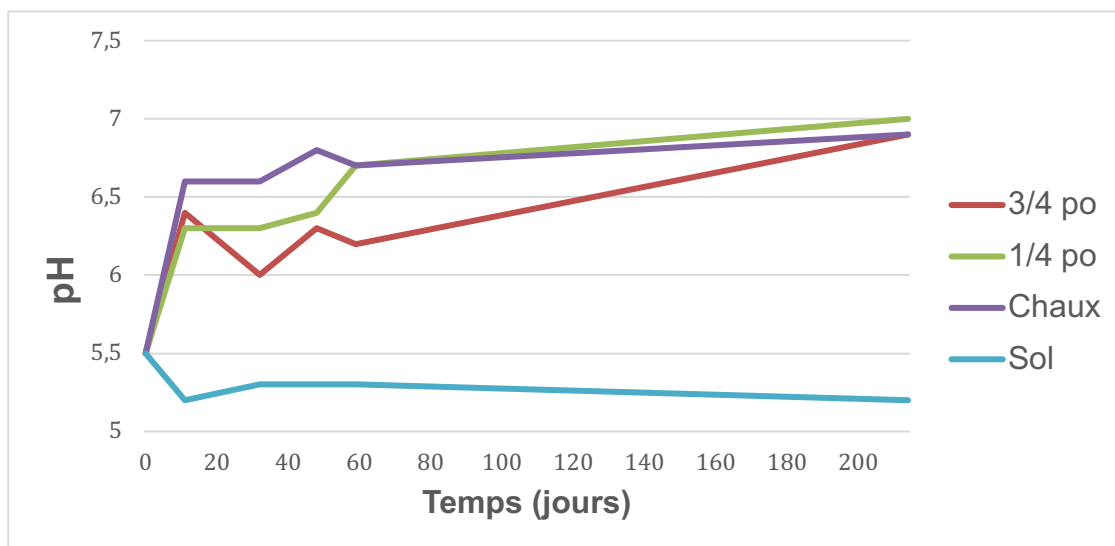


Figure 20. Évolution du pH des coquilles 3/4 po, des coquilles 1/4 po, de la chaux et du sol A

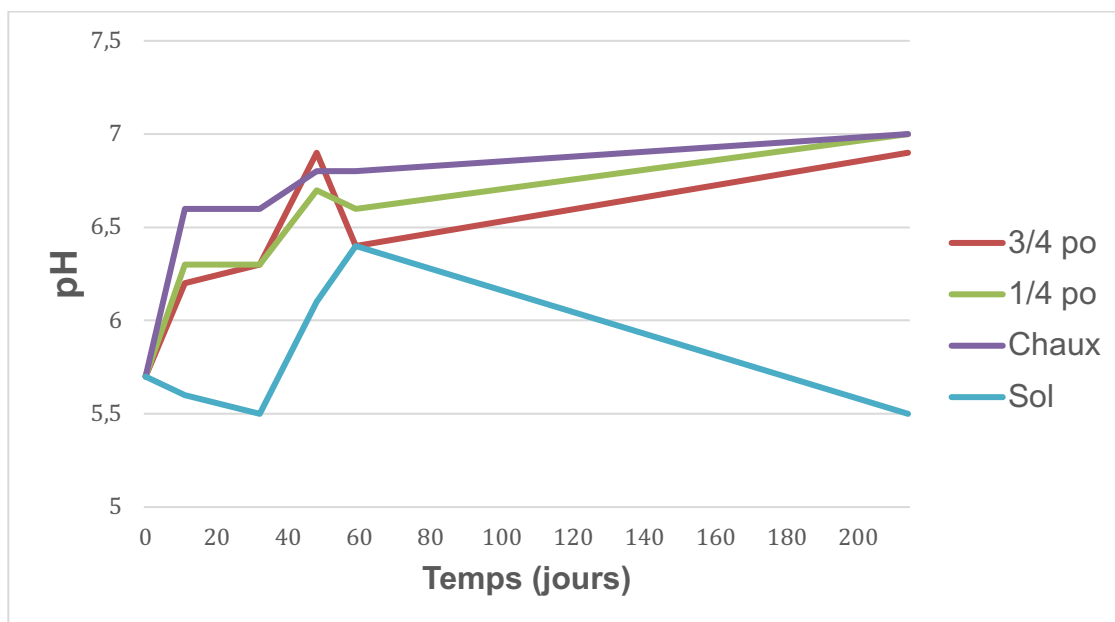


Figure 21. Évolution du pH des coquilles 3/4 po, des coquilles 1/4 po, de la chaux et du sol B

Il est possible d'observer que les doses équivalentes de coquilles 3/4 po, de coquilles 1/4 po et de la chaux appliquées pour remonter le pH à une valeur cible de 6,5 tendent vers une valeur légèrement supérieure variant entre 6,9 et 7,0. Il est possible que cette différence soit explicable par la méthode de calcul théorique qui ne considère que les particules inférieures à un diamètre de 2 mm comme actives. En pratique, il se peut que des particules plus grossières aient un effet sur le pH.

3.2.7. Performance des coquilles en champs

Des analyses de sols ont été faites au printemps 2019 avant l'application en champs de coquilles et un suivi du pH a été fait par la suite, soit le 5 novembre 2019. Les résultats sont présentés dans le tableau 11.

Tableau 11. Évolution du pH en champs

pH	Site 1		Site 2	Site 3
	Coquilles 1/4 po	Coquilles 3/4 po	Coquilles 3/4 po	Coquilles 3/4 po
Initial	5,1	5,1	4,8	3,9
Final	5,8	5,9	5,8	5,9

Il est possible d'observer que pour chacun des sites, les pH finaux varient de 5,8 à 5,9, soit des valeurs un peu plus élevées que le pH visé de 5,5. La même hypothèse que celle émise précédemment concernant la méthode de calcul des doses à appliquer pourrait expliquer les valeurs réelles légèrement plus élevées que celles espérées.

3.2.8. Fiabilité des résultats obtenus avec du matériel bon marché en comparaison à ceux en provenance de laboratoires agréés

Les figures 23 à 30 comparent les résultats obtenus par les étudiants du cégep à ceux en laboratoire. Il est possible d'observer que les résultats obtenus par les étudiants sont généralement semblables à ceux obtenus en laboratoires agréés. Toutefois, il est recommandé d'avoir recours à des analyses en laboratoire pour des résultats plus précis.

Valorisation agricole des coquilles de palourdes

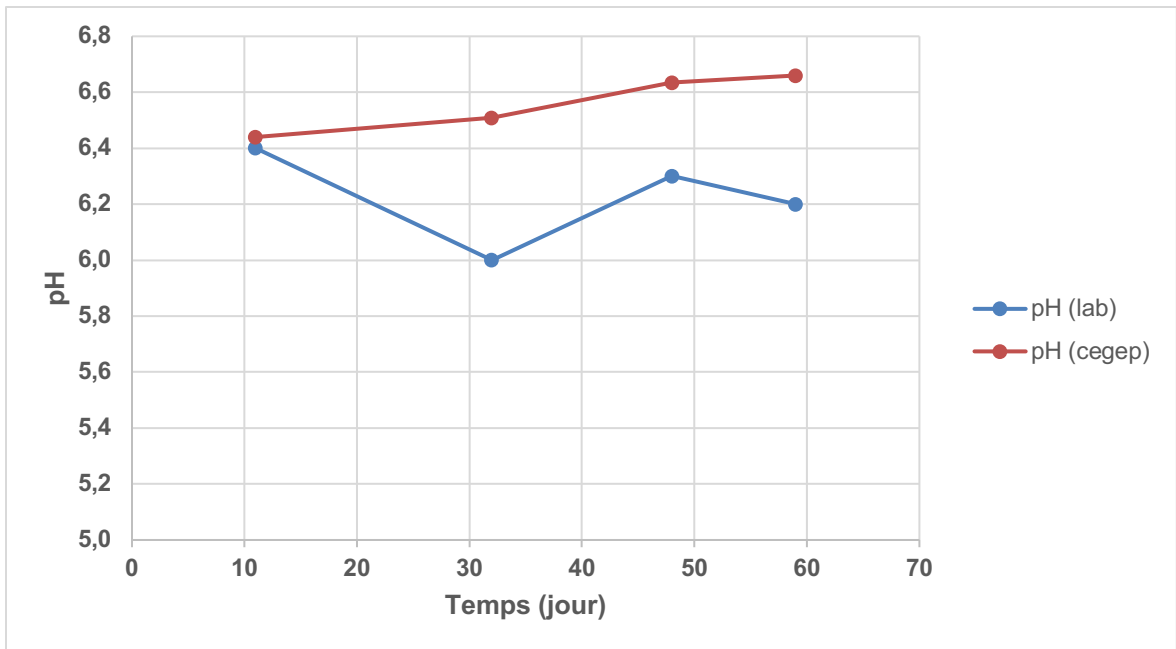


Figure 22. Comparaison cégep vs laboratoire (champ A : coquilles 3/4 po)

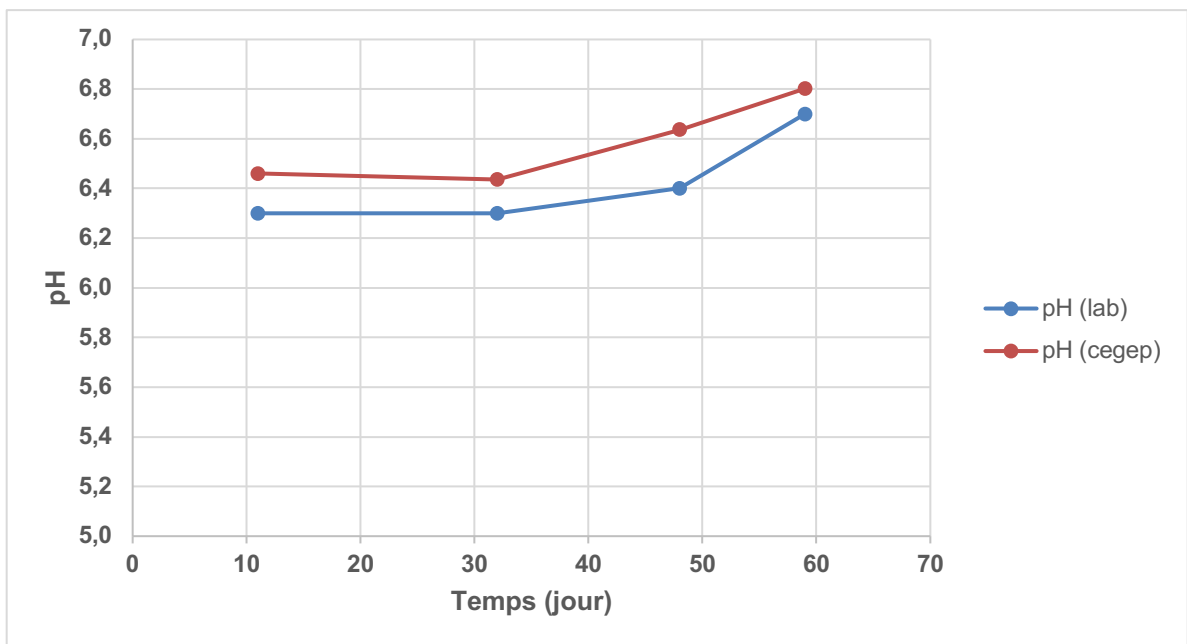


Figure 23. Comparaison cégep vs laboratoire (champ A : coquilles 1/4 po)

Valorisation agricole des coquilles de palourdes

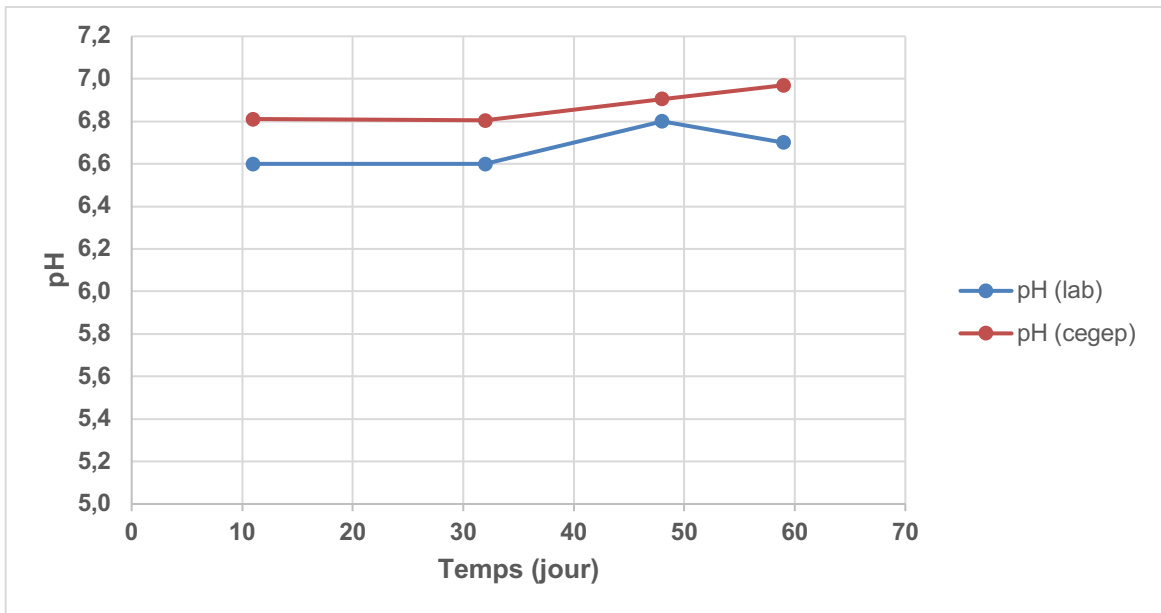


Figure 24. Comparaison cégep vs laboratoire (champ A : chaux)

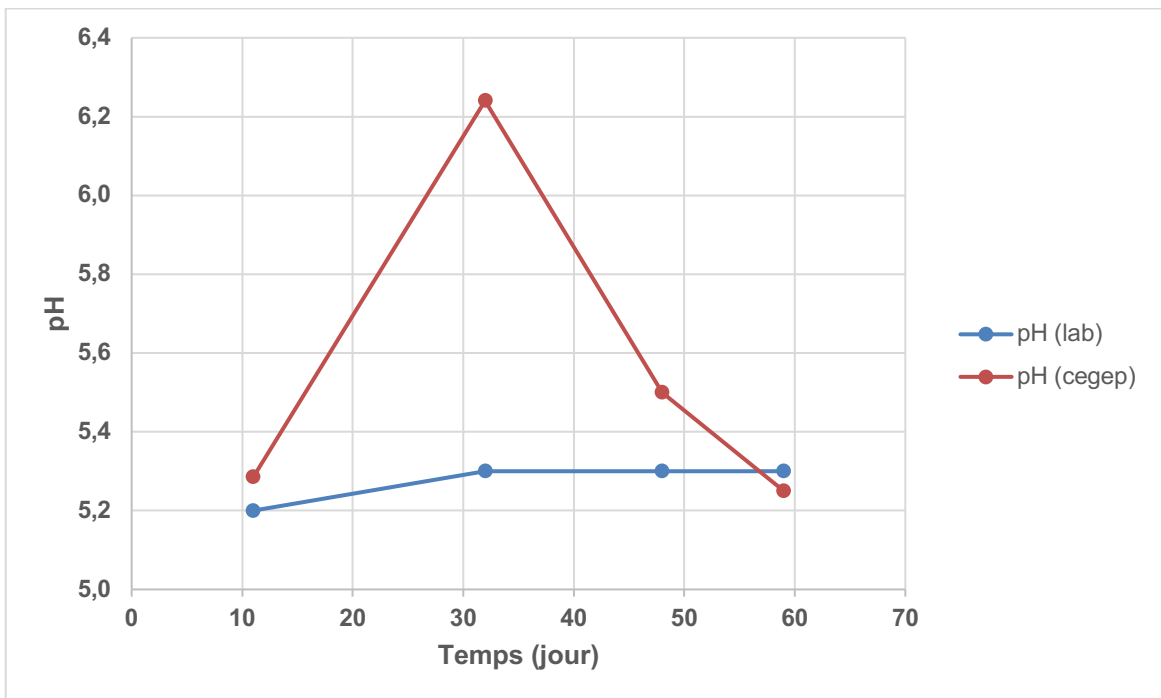


Figure 25. Comparaison cégep vs laboratoire (champ A : sol)

Valorisation agricole des coquilles de palourdes

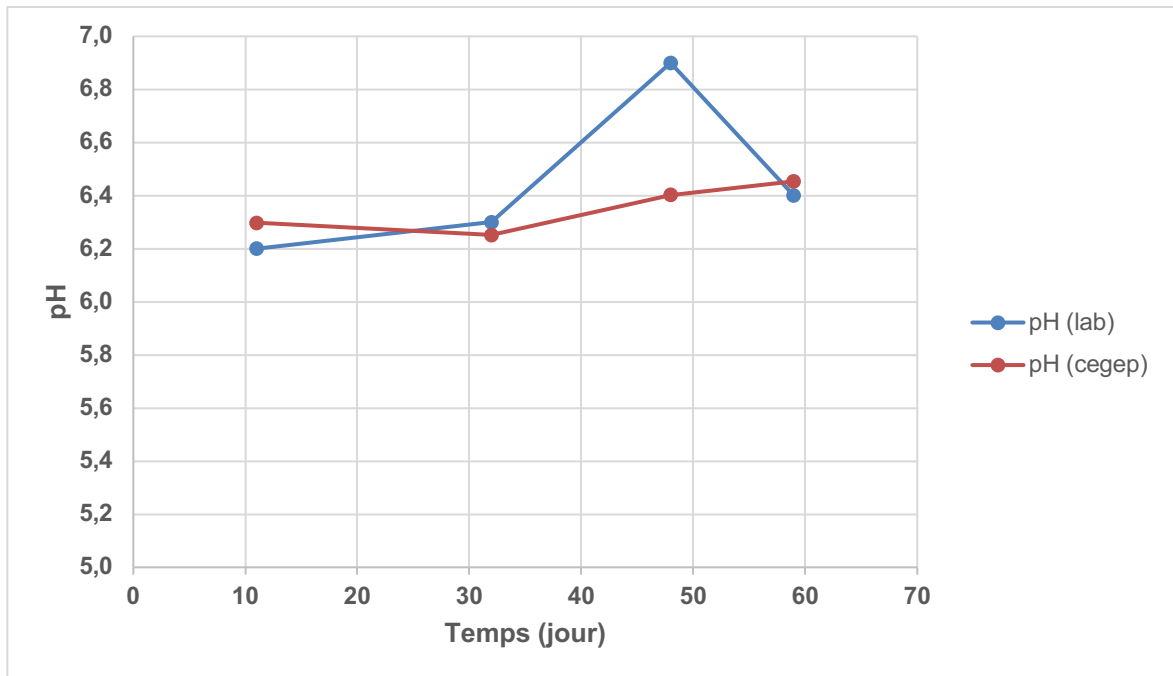


Figure 26. Comparaison cégep vs laboratoire (champ B : coquilles 3/4 po)

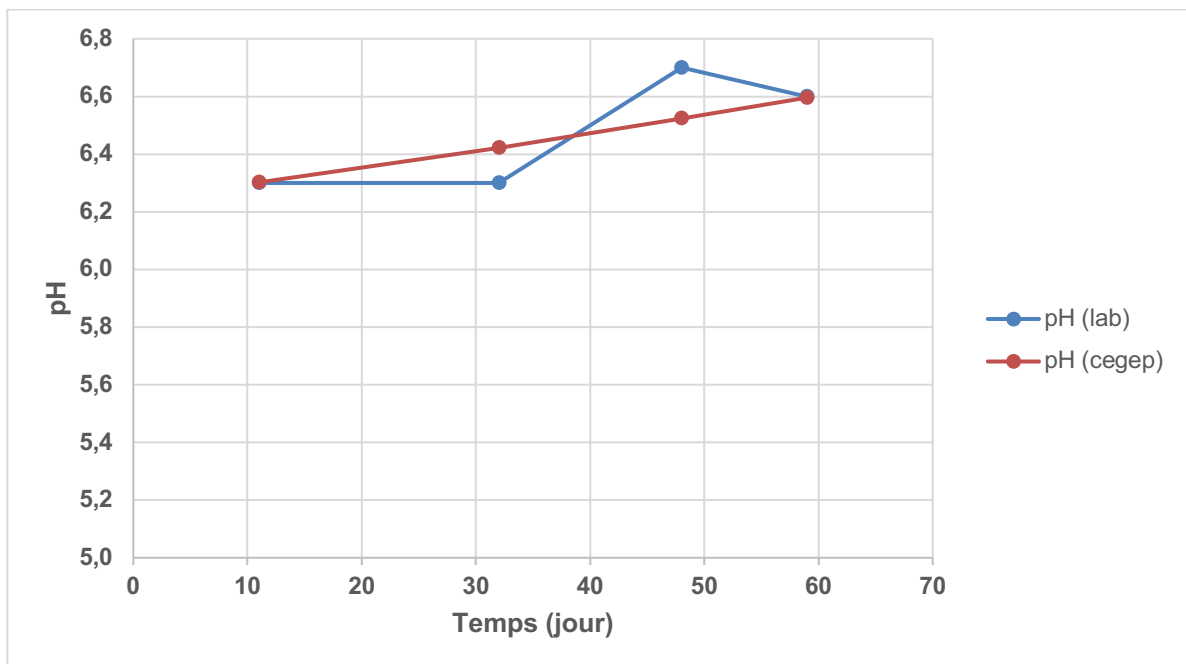


Figure 27. Comparaison cégep vs laboratoire (champ B : coquilles 1/4 po)

Valorisation agricole des coquilles de palourdes

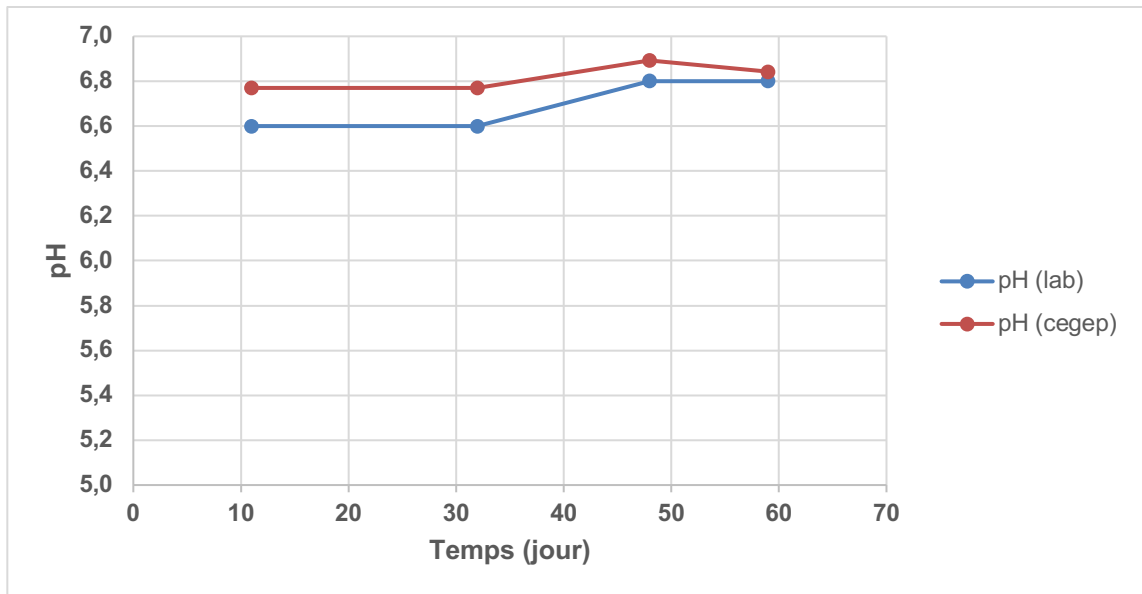


Figure 28. Comparaison cégep vs laboratoire (champ B : chaux)

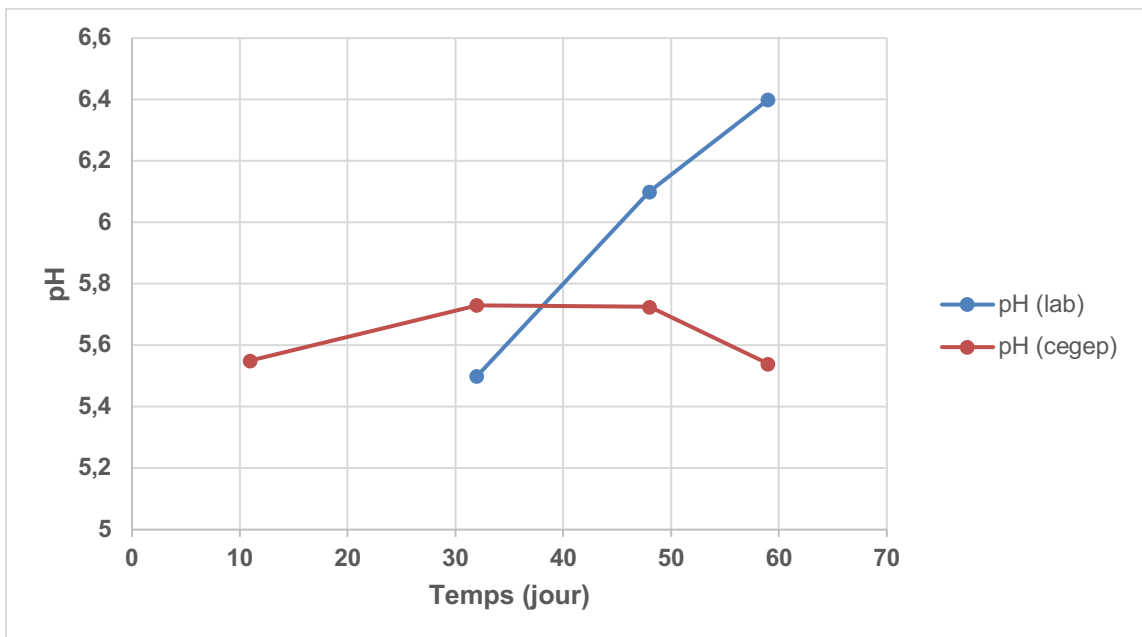


Figure 29. Comparaison cégep vs laboratoire (champ B : sol)

4. DÉPENSES ASSOCIÉES AU PROJET

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

5. CONCLUSIONS

Plusieurs obstacles ont été rencontrés tout au long du projet. Chaque élément a été considéré et noté pour être en mesure de mettre en place une filière rentable de valorisation. La disponibilité de la main d'œuvre et des équipements de broyage des entrepreneurs ainsi que le temps d'implication dans le projet des producteurs sont des facteurs à considérer. L'arrivée hâtive de la neige est aussi possible, c'est pourquoi cette filière doit être bien structurée pour assurer sa viabilité.

Les entrepreneurs ciblés pour faire fonctionner la filière de valorisation sont Les Entreprises Larebel inc. Ils ont été identifiés comme étant les plus polyvalents en ce qui a trait aux types d'équipements, aux lieux d'entreposage et au transport du produit conditionné en champs agricoles.

Par ailleurs, les besoins en chaux aux IDLM étant supérieurs aux quantités de coquilles disponibles comme matériel de substitution, écouler leur totalité n'est pas un problème.

En ce qui concerne l'efficacité en champs des coquilles en comparaison avec les recommandations théoriques qui tiennent compte de la granulométrie et du PN du matériel, les pH finaux montrent une assez bonne corrélation entre chaque essai en champs. Les résultats pratiques sont cependant légèrement supérieurs à ceux théoriques souhaités. Un facteur de correction concernant la méthode de calcul des doses pourrait être évalué avec le temps par une méthode empirique.

En outre, il serait intéressant de prendre de nouvelles données du pH en phase post-projet au cours de la prochaine saison de culture pour valider les hypothèses et faire un suivi de l'évolution temporelle du pH dans le sol.

Par ailleurs, dans le cas où la filière proposée de valorisation en champs agricoles ferait défaut, d'autres équipements servant au conditionnement des coquilles ont été identifiés et mis à l'essai et tous les renseignements nécessaires pour faire une analyse de rentabilité d'une filière de remplacement sont disponibles dans le présent rapport.

Finalement, d'autres avenues potentielles de valorisation touchant d'autres secteurs que l'agriculture ont été identifiées dans ce rapport. Des études plus approfondies qui pourraient faire l'objet d'autres projets seraient à prévoir dans le but de mettre sur pied des solutions alternatives à celle de substitut à la chaux agricole.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bureau de normalisation du Québec, 2015. *Amendements calciques ou magnésiens provenant de procédés industriels*, BNQ 0419-090/2015, 68 p.
- CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC. *Protocole d'échantillonnage de matières résiduelles fertilisantes et dispositions particulières reliées à l'accréditation*, DR-12-MRF-02, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2015, 24 p.
- HÉBERT, Marc. 2015. *Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes : Critères de références et normes réglementaires*, Édition 2015, Québec, ISBN – 978-2-550-72954-9, 216 p.
- LEBLANC, Jean-Michel, THIBODEAU, Mayka, DURBECQ, Thibaud et ROBITAILLE, Robert. 2017. *Validation pilote du pouvoir chaulant des coquilles de palourdes concassées. Projet expérimental dans les champs. Rapport final. Centre de recherche sur les milieux insulaires et maritimes, Îles-de-la-Madeleine, Québec, V, 29 p. + annexes.*
- Le Bulletin des agriculteurs. *Le pH et le chaulage des sols*, 2017. Repéré à <https://www.lebulletin.com/cultures/le-ph-et-le-chaulage-des-sols-89149>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. *Guide technique – Prélèvement d'eau soumis à l'autorisation municipale*, 2015, 58 p. [En ligne].
- PARENT, L.-É. et GAGNÉ, G. 2010. *Guide de référence en fertilisation*, 2^e édition, 2010, 473 p.
- Règlement sur les exploitations agricoles*, 2018, 60 p.
- ROBITAILLE, Robert. 2013. *Évaluation in vitro préliminaire du pouvoir chaulant des coquilles de palourdes*, MAPAQ, 9 p.
- ROBERT, Louis, agr., M. Sc., 2016. *Le chaulage : toujours d'actualité* (Conférence : Les journées Horticoles & Grandes Cultures, St-Rémi, 6 décembre 2016)
- VANASSE, Anne, agr., Ph. D. *La gestion du pH* (Conférence)

