



**Consommation de carburants et de combustibles à la ferme :
documentation par type d'usage afin de cerner les économies potentielles**

Rapport final

**Union des producteurs agricoles
Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques**

22 juin 2013

Équipe

Recherche, analyse et rédaction

Julie Louvel, M. Sc.
Analyste – Agroalimentaire et économie
de l'environnement
ÉcoRessources inc.

Renaud Sanscartier, M. Sc.
Analyste – Agroalimentaire et économie
de l'environnement
ÉcoRessources inc.

Natalie Lambert, Ph. D.
Chargée de projets – Énergie
ÉcoRessources inc.

Dany Lemieux
Directeur – Énergie
ÉcoRessources inc.

Mario Khater, M. Sc.
Analyste – Énergie et environnement
ÉcoRessources inc.

Catherine Lessard, M. Sc.
Chargée de projet – Agroalimentaire et
économie de l'environnement
ÉcoRessources inc.

Conseillers scientifiques

Stéphane Godbout, ing., P. Eng., agr., Ph. D.
Chercheur en génie agroenvironnemental
Institut de recherche et de développement
en agroenvironnement (IRDA)

Frédéric Pelletier, ing., M.Sc.
Professionnel de recherche
Institut de recherche et de développement
en agroenvironnement (IRDA)

Relecture

Vickie Bonsaint

Mise en page

Josée Messier
Adjointe administrative
ÉcoRessources inc.

Remerciements :

La consultation du *Module d'évaluation du coût d'utilisation de la machinerie agricole* du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) a grandement facilité le développement du modèle de consommation de carburants et de combustibles pour les productions de grandes cultures et de cultures fourragères. Les intervenants suivants ont également fourni des informations et des validations essentielles à la réalisation du mandat et nous les en remercions : Isabelle Bouffard (Union des producteurs agricoles), Geneviève Bélanger (Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques, ministère des Ressources naturelles), Pierre Beaudry (Institut de technologie agroalimentaire), Xavier Desmeules (Agrinova), Mario Tardif (Cégep de Lévis-Lauzon), Christian Bellerose (technologue professionnel et producteur avicole), Patrick Leclerc (Coop Fédérée), Francis Pouliot (Centre de développement du porc du Québec), Dany Provençal (Les Éleveurs de volailles du Québec), Marc Trudelle et Philippe Gougeon (Fédération des producteurs de porcs du Québec), Martine Labonté (Fédération des producteurs de lait du Québec), Alexandre Tourigny et Ayefouni Onouadje (Fédération de l'UPA de la Mauricie), Nicolas Milette (Beaudry Morin inc.), Jocelyn Labbé (Consultants Avi-Porc), Marco Tremblay (Solugaz), Neil McLaughlin (Agriculture et Agroalimentaire Canada), Georges Lamarre (ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec), Réal Chouinard (producteur avicole), Ginette Moreau (Fédération des groupes conseils agricoles du Québec), et Carl Bérubé (agronome). Enfin, nous remercions les producteurs qui ont accepté de nous consacrer quelques heures afin de tester notre modèle sur leur entreprise.

Une partie du financement de ce projet a été assurée par Agriculture et Agroalimentaire Canada, par l'entremise du Programme canadien d'adaptation agricole (PCAA). Au Québec, la part destinée au secteur de la production agricole est gérée par le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec.



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

« Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) est déterminé à travailler avec des partenaires de l'industrie. Les opinions exprimées dans le présent document ne sont pas nécessairement partagées par AAC et le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec. »

Table des matières

INTRODUCTION	1
1. VOLUMES ET DÉPENSES EN CARBURANTS ET COMBUSTIBLES RENOUVELABLES ET NON RENOUVELABLES DANS LE SECTEUR AGRICOLE QUÉBÉCOIS	3
1.1. CARBURANTS ET COMBUSTIBLES NON RENOUVELABLES	3
1.2. CARBURANTS ET COMBUSTIBLES RENOUVELABLES	4
2. MODÉLISATION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES SUR LES FERMES DU QUÉBEC	6
2.1. REVUE DES MODÈLES EXISTANTS DE CONSOMMATION D'ÉNERGIE EN AGRICULTURE	6
2.2. CONSTRUCTION DU MODÈLE DE CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES	8
2.2.1 Usages liés aux grandes cultures et aux cultures fourragères	9
2.2.2 Usages réalisés dans les bâtiments d'élevage en productions laitière, porcine et avicole	12
2.2.3 Autres usages	13
2.2.4 Utilité et limites du modèle	13
3. ÉVALUATION DE LA PRÉCISION DU MODÈLE	15
3.1. CONSOMMATION LIÉE AUX GRANDES CULTURES ET AUX FOURRAGES : OPÉRATIONS AU CHAMP ET SÉCHAGE DES GRAINS	16
3.2. CONSOMMATION LIÉE AUX PRODUCTIONS ANIMALES : CHAUFFAGE DES BÂTIMENTS D'ÉLEVAGE	25
3.3. ANALYSE DU MODÈLE	28
4. DÉFINITION DES FERMES TYPES	29
5. PORTRAIT DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES À LA FERME.....	32
5.1. FERMES TYPES EN GRANDES CULTURES	33
5.2. FERME TYPE EN ÉLEVAGE LAITIER	35
5.3. FERME TYPE EN ÉLEVAGE PORCIN.....	37
5.4. FERME TYPE EN ÉLEVAGE AVICOLE	38
5.5. SYNTHÈSE DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES SUR LES FERMES TYPES	40
5.6. CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES POUR L'ENSEMBLE DES SECTEURS DE PRODUCTION ÉTUDIÉS	41
5.6.1 Grandes cultures et cultures fourragères.....	41
5.6.2 Bâtiments d'élevage laitier, porcine et avicole	43
6. POTENTIEL D'OPTIMISATION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES ET PLAGES IDÉALES DE CONSOMMATION PAR TYPE D'USAGE	45
6.1. DÉMARCHE UTILISÉE ET MESURES TESTÉES	45
6.1.1 Usages liés aux productions végétales : opérations au champ et séchage des grains.....	45
6.1.2 Usages liés aux productions animales : chauffage de l'eau et des bâtiments.....	47
6.2. POTENTIEL D'OPTIMISATION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES SUR LES FERMES TYPES	49
6.2.1 Fermes types en grandes cultures.....	50
6.2.2 Ferme type en production laitière	52
6.2.3 Ferme type en production porcine	53
6.2.4 Ferme type en production avicole.....	55
6.3. PLAGES IDÉALES DE CONSOMMATION PAR TYPE D'USAGE	57
6.3.1 Plages idéales de consommation pour les opérations au champ.....	58
6.3.2 Plages idéales de consommation pour le chauffage des bâtiments	61
7. ACTIONS PRIORITAIRES POUR RÉDUIRE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES À LA FERME	62
7.1. ANALYSE DES MESURES DE RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES	62
7.1.1 Consommation liée aux productions végétales : opérations au champ et séchage des grains.....	62
7.1.2 Consommation liée aux productions animales : chauffage des bâtiments	68
7.1.3 Analyse de faisabilité des mesures de réduction de la consommation de carburants et de combustibles.....	71

7.2. AXES D'INTERVENTION À PRIORISER.....	72
7.3. COMMENT ENCOURAGER LA MISE EN APPLICATION DES INTERVENTIONS PRIORITAIRES?	74
CONCLUSION.....	78
BIBLIOGRAPHIE	79
ANNEXES.....	85
ANNEXE 1. ALGORITHMES ET DONNÉES UTILISÉS POUR MODÉLISER LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES EN PRODUCTION DE GRANDES CULTURES ET DE CULTURES FOURRAGÈRES	86
ANNEXE 2. ALGORITHMES ET DONNÉES UTILISÉS POUR MODÉLISER LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES DANS LES BÂTIMENTS D'ÉLEVAGE	91
ANNEXE 3. CARACTÉRISTIQUES DES EXPLOITATIONS EN GRANDES CULTURES UTILISÉES POUR TESTER LE MODÈLE	93
ANNEXE 4. CARACTÉRISTIQUES DES EXPLOITATIONS PORCINES UTILISÉES POUR TESTER LE MODÈLE.....	100
ANNEXE 5. CARACTÉRISTIQUES DES EXPLOITATIONS AVICOLES UTILISÉES POUR TESTER LE MODÈLE	102
ANNEXE 6. CARACTÉRISTIQUES DES EXPLOITATIONS LAITIÈRES UTILISÉES POUR TESTER LE MODÈLE.....	104
ANNEXE 7. DESCRIPTION DES FERMES TYPES	113
ANNEXE 8. TRACTEUR OPTIMAL EN TERMES DE CONSOMMATION DE CARBURANTS	135
ANNEXE 9. MODIFICATIONS APPORTÉES AUX ÉQUIPEMENTS POUR LES OPÉRATIONS CULTURALES AFIN DE RÉDUIRE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS	142

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES NON RENOUVELABLES PAR LE SECTEUR AGRICOLE, QUÉBEC, 2008	3
TABLEAU 2 : LISTES D'OPTIONS D'ÉQUIPEMENTS PAR USAGE POUR LES OPÉRATIONS CULTURALES POUR LA PRODUCTION DE GRANDES CULTURES ET DE CULTURES FOURRAGÈRES.....	10
TABLEAU 3 : USAGES RETENUS POUR LA MODÉLISATION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES DANS LES BÂTIMENTS D'ÉLEVAGE.....	12
TABLEAU 4 : PRIX D'ACHAT DES CARBURANTS ET DES COMBUSTIBLES UTILISÉS POUR LA MODÉLISATION, 2010.....	16
TABLEAU 5 : ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES ET RÉPARTITION PAR TYPE D'USAGE, EXPLOITATION EN GRANDES CULTURES N° 1	18
TABLEAU 6 : ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES ET RÉPARTITION PAR TYPE D'USAGE, EXPLOITATION EN GRANDES CULTURES N° 2	19
TABLEAU 7 : ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES ET RÉPARTITION PAR TYPE D'USAGE DE L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 1	20
TABLEAU 8 : ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES ET RÉPARTITION PAR TYPE D'USAGE DE L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 2.....	21
TABLEAU 9 : ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE PROPANE DE L'EXPLOITATION PORCINE N° 1	25
TABLEAU 10 : ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE PROPANE DE L'EXPLOITATION PORCINE N° 2	26
TABLEAU 11 : ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE GAZ NATUREL DE L'EXPLOITATION AVICOLE N° 1	26
TABLEAU 12 : ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE GAZ NATUREL DE L'EXPLOITATION AVICOLE N° 2	27
TABLEAU 13 : HYPOTHÈSES DE CULTURES PRATIQUÉES ET SUPERFICIES.....	30
TABLEAU 14 : PRIX D'ACHAT DES CARBURANTS ET DES COMBUSTIBLES UTILISÉS POUR LA MODÉLISATION, 2010.....	32
TABLEAU 15 : PRIX D'ACHAT DES CARBURANTS ET DES COMBUSTIBLES UTILISÉS POUR LA MODÉLISATION, 2035.....	33
TABLEAU 16 : CONSOMMATION PAR TYPE D'USAGE POUR L'EXPLOITATION TYPE A – SPÉCIALISÉE EN MAÏS-SOYA	33
TABLEAU 17 : CONSOMMATION EN CARBURANTS ET EN COMBUSTIBLES DANS L'EXPLOITATION TYPE B – CÉRÉALES (BLÉ, AVOINE, ORGE ET CANOLA)	34

TABLEAU 18 : CONSOMMATION EN CARBURANTS ET EN COMBUSTIBLES DANS L'EXPLOITATION TYPE EN PRODUCTION LAITIÈRE	35
TABLEAU 19 : CONSOMMATION EN CARBURANTS ET EN COMBUSTIBLES DANS L'EXPLOITATION TYPE EN PRODUCTION PORCINE	37
TABLEAU 20 : CONSOMMATION EN CARBURANTS ET EN COMBUSTIBLES DANS L'EXPLOITATION TYPE EN PRODUCTION AVICOLE – CAS SANS CULTURE DE MAÏS	38
TABLEAU 21 : CONSOMMATION EN CARBURANTS ET EN COMBUSTIBLES DANS L'EXPLOITATION TYPE EN PRODUCTION AVICOLE – CAS AVEC CULTURE DE MAÏS	39
TABLEAU 22 : SYNTHÈSE DES USAGES ÉNERGIVORES DANS LES SECTEURS DE PRODUCTION À L'ÉTUDE	40
TABLEAU 23 : CONSOMMATION DE DIESEL POUR LES PRINCIPALES PRODUCTIONS VÉGÉTALES, QUÉBEC, 2011, EN LITRES*	42
TABLEAU 24 : CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE CHAUFFAGE DES BÂTIMENTS PORCINS, QUÉBEC, 2011	43
TABLEAU 25 : CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE CHAUFFAGE DES BÂTIMENTS AVICOLES, QUÉBEC, 2009.....	44
TABLEAU 26 : RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION DE DIESEL SUR LES FERMES TYPES EN GRANDES CULTURES, SELON LA MESURE APPLIQUÉE.....	50
TABLEAU 27 : VARIATIONS DE LA CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE SÉCHAGE DU MAÏS-GRAIN SUR LA FERME TYPE A EN GRANDES CULTURES, EN FONCTION DU TYPE DE SÉCHOIR ET DU TAUX D'HUMIDITÉ DES GRAINS.....	51
TABLEAU 28 : RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION DE DIESEL SUR LA FERME TYPE LAITIÈRE, SELON LA MESURE APPLIQUÉE	52
TABLEAU 29 : VARIATIONS DE LA CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE SÉCHAGE DU MAÏS-GRAIN SUR LA FERME TYPE LAITIÈRE, EN FONCTION DU TYPE DE SÉCHOIR ET DU TAUX D'HUMIDITÉ DES GRAINS	53
TABLEAU 30 : RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION DE DIESEL SUR LA FERME TYPE PORCINE, SELON LA MESURE APPLIQUÉE.....	54
TABLEAU 31 : VARIATIONS DE LA CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE SÉCHAGE DU MAÏS-GRAIN SUR LA FERME TYPE PORCINE, EN FONCTION DU TYPE DE SÉCHOIR ET DU TAUX D'HUMIDITÉ DES GRAINS	55
TABLEAU 32 : VARIATIONS DE LA CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE CHAUFFAGE DES BÂTIMENTS SUR LA FERME TYPE PORCINE .	55
TABLEAU 33 : RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION DE DIESEL SUR LA FERME TYPE AVICOLE B (CAS AVEC MAÏS), SELON LA MESURE APPLIQUÉE.....	56
TABLEAU 34 : VARIATIONS DE LA CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE SÉCHAGE DU MAÏS-GRAIN SUR LA FERME AVICOLE TYPE AVEC CULTURE DE MAÏS, EN FONCTION DU TYPE DE SÉCHOIR ET DU TAUX D'HUMIDITÉ DES GRAINS.....	56
TABLEAU 35 : VARIATIONS DE LA CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE CHAUFFAGE DES BÂTIMENTS SUR LA FERME TYPE AVICOLE .	57
TABLEAU 36 : PLAGES IDÉALES « DE BASE » DE CONSOMMATION DE DIESEL SUR LES FERMES TYPES EN GRANDES CULTURES, PAR USAGE, POUR UN PASSAGE (L/HA), SANS OPTIMISATION DE L'USAGE DU PARC DE TRACTEURS.....	59
TABLEAU 37 : PLAGES IDÉALES « OPTIMALES » DE CONSOMMATION DE DIESEL SUR LES FERMES TYPES EN GRANDES CULTURES, PAR USAGE, POUR UN PASSAGE (L/HA), AVEC OPTIMISATION DE L'USAGE DU PARC DE TRACTEURS.....	60
TABLEAU 38 : PLAGES IDÉALES « DE BASE » DE CONSOMMATION DE DIESEL SUR LA FERME TYPE LAITIÈRE, PAR USAGE, POUR UN PASSAGE (L/HA), SANS OPTIMISATION DE L'USAGE DU PARC DE TRACTEURS	60
TABLEAU 39 : PLAGES IDÉALES « OPTIMALES » DE CONSOMMATION DE DIESEL SUR LA FERME TYPE LAITIÈRE, PAR USAGE, POUR UN PASSAGE (L/HA), AVEC OPTIMISATION DE L'USAGE DU PARC DE TRACTEURS	61
TABLEAU 40 : ANALYSE DES MESURES DE RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES.....	71
TABLEAU 41 : VALEURS DE E _T SELON LE TYPE DE SOL ET DE TRACTION	86
TABLEAU 42 : PARAMÈTRES SPÉCIFIQUES AUX ÉQUIPEMENTS	89
TABLEAU 43 : PARC DE TRACTEURS DE L'EXPLOITATION EN GRANDES CULTURES N° 1	93
TABLEAU 44 : CARACTÉRISTIQUES DES USAGES EFFECTUÉS PAR L'EXPLOITATION EN GRANDES CULTURES N° 1 ET ÉQUIPEMENTS UTILISÉS	94
TABLEAU 45 : CONSOMMATION RÉELLE EN DIESEL, EN ESSENCE ORDINAIRE ET EN PROPANE DE L'EXPLOITATION EN GRANDES CULTURES N° 1	96
TABLEAU 46 : PARC DE TRACTEURS DE L'EXPLOITATION EN GRANDES CULTURES N° 2	96
TABLEAU 47 : CARACTÉRISTIQUES DES USAGES EFFECTUÉS PAR L'EXPLOITATION EN GRANDES CULTURES N° 2 ET ÉQUIPEMENTS UTILISÉS	97
TABLEAU 48 : CONSOMMATION RÉELLE EN DIESEL, EN ESSENCE ORDINAIRE ET EN GAZ NATUREL DE L'EXPLOITATION EN GRANDES CULTURES N° 2	99
TABLEAU 49 : NOMBRE MOYEN D'ANIMAUX PRÉSENTS SUR L'EXPLOITATION PORCINE N° 1	100
TABLEAU 50 : CARACTÉRISTIQUES DES BÂTIMENTS D'ÉLEVAGE DE L'EXPLOITATION PORCINE N° 1	100
TABLEAU 51 : CONSOMMATION RÉELLE EN PROPANE DE L'EXPLOITATION PORCINE N° 1	100
TABLEAU 52 : NOMBRE MOYEN DE PORCS PRÉSENTS SUR L'EXPLOITATION PORCINE N° 2	101
TABLEAU 53 : CARACTÉRISTIQUES DES BÂTIMENTS DE L'EXPLOITATION PORCINE N° 2	101
TABLEAU 54 : CONSOMMATION RÉELLE EN PROPANE DE L'EXPLOITATION PORCINE N° 2	101
TABLEAU 55 : NOMBRE MOYEN D'ANIMAUX PRÉSENTS SUR L'EXPLOITATION AVICOLE N° 1	102
TABLEAU 56 : CARACTÉRISTIQUES DES BÂTIMENTS D'ÉLEVAGE DE L'EXPLOITATION AVICOLE – TEST N° 1.....	102

TABLEAU 57 : CONSOMMATION RÉELLE EN GAZ NATUREL DE L'EXPLOITATION AVICOLE N° 1	102
TABLEAU 58 : NOMBRE MOYEN D'ANIMAUX PRÉSENTS SUR L'EXPLOITATION AVICOLE N° 2.....	103
TABLEAU 59 : CARACTÉRISTIQUES DES BÂTIMENTS D'ÉLEVAGE DE L'EXPLOITATION AVICOLE – TEST N° 2.....	103
TABLEAU 60 : CONSOMMATION RÉELLE EN GAZ NATUREL DE L'EXPLOITATION AVICOLE N° 2	103
TABLEAU 61 : PARC DE TRACTEURS DE L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 1	104
TABLEAU 62 : CARACTÉRISTIQUES DES USAGES EFFECTUÉS PAR L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 1 ET ÉQUIPEMENTS UTILISÉS	105
TABLEAU 63 : CONSOMMATION RÉELLE EN DIESEL, EN ESSENCE ORDINAIRE ET EN PROPANE DE L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 1	109
TABLEAU 64 : PARC DE TRACTEURS DE L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 2	109
TABLEAU 65 : CARACTÉRISTIQUES DES OPÉRATIONS CULTURALES EFFECTUÉES ET DES ÉQUIPEMENTS UTILISÉS PAR L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 2	110
TABLEAU 66 : DÉTAILS DES USAGES LIÉS À LA GESTION DES FUMIERS SUR L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 2	112
TABLEAU 67 : CARACTÉRISTIQUES DES USAGES LIÉS À L'ALIMENTATION DES BOVINS SUR L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 2	112
TABLEAU 68 : CONSOMMATION RÉELLE EN DIESEL ET EN ESSENCE ORDINAIRE DE L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 2	112
TABLEAU 69 : RENDEMENTS DES GRANDES CULTURES	113
TABLEAU 70 : RENDEMENTS DES CULTURES FOURRAGÈRES	113
TABLEAU 71 : PROFONDEUR DE TRAVAIL DES OPÉRATIONS CULTURALES	114
TABLEAU 72 : CULTURES PRATIQUÉES SUR LES FERMES TYPES EN PRODUCTION DE GRANDES CULTURES ET SUPERFICIES	115
TABLEAU 73 : PARC DE TRACTEURS RETENU SUR LES FERMES TYPES EN PRODUCTION DE GRANDES CULTURES.....	116
TABLEAU 74 : CARACTÉRISTIQUES DE LA MACHINERIE UTILISÉE PAR LA FERME TYPE A EN PRODUCTION DE GRANDES CULTURES	116
TABLEAU 75 : USAGES CONSOMMATEURS DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES PRATIQUÉS SUR LA FERME TYPE A EN PRODUCTION DE GRANDES CULTURES.....	117
TABLEAU 76 : CARACTÉRISTIQUES DE LA MACHINERIE UTILISÉE PAR LA FERME TYPE B EN PRODUCTION DE GRANDES CULTURES	119
TABLEAU 77 : USAGES CONSOMMATEURS DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES PRATIQUÉS SUR LA FERME TYPE B EN PRODUCTION DE GRANDES CULTURES.....	120
TABLEAU 78 : CARACTÉRISTIQUES DE LA PRODUCTION PORCINE	121
TABLEAU 79 : CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE CHAUFFAGE DES BÂTIMENTS SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION PORCINE .	122
TABLEAU 80 : GESTION DES FUMIERS SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION PORCINE	122
TABLEAU 81 : CULTURES PRATIQUÉES SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION PORCINE ET SUPERFICIES.....	123
TABLEAU 82 : PARC DE TRACTEURS RETENU SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION PORCINE.....	123
TABLEAU 83 : CARACTÉRISTIQUES DE LA MACHINERIE UTILISÉE PAR LA FERME TYPE EN PRODUCTION PORCINE	124
TABLEAU 84 : USAGES CONSOMMATEURS DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES PRATIQUÉS SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION PORCINE	125
TABLEAU 85 : CARACTÉRISTIQUES DE LA PRODUCTION AVICOLE ET DE SES BÂTIMENTS	126
TABLEAU 86 : CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉQUIPEMENT.....	127
TABLEAU 87 : DÉTAILS DU NETTOYAGE ET DE LA GESTION DU FUMIER SUR L'EXPLOITATION AVICOLE TYPE	127
TABLEAU 88 : PARC DE TRACTEURS RETENU SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION AVICOLE	128
TABLEAU 89 : CARACTÉRISTIQUES DE LA MACHINERIE UTILISÉE PAR LA FERME TYPE AVICOLE B – AVEC CULTURE.....	129
TABLEAU 90 : USAGES CONSOMMATEURS DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES PRATIQUÉS POUR LA CULTURE DU MAÏS SUR LA FERME TYPE AVICOLE B – AVEC CULTURE	129
TABLEAU 91 : CARACTÉRISTIQUES DE LA PRODUCTION LAITIÈRE	130
TABLEAU 92 : CULTURES PRATIQUÉES SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION LAITIÈRE ET SUPERFICIES.....	130
TABLEAU 93 : PARC DE TRACTEURS RETENU SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION LAITIÈRE.....	131
TABLEAU 94 : CARACTÉRISTIQUES DE LA MACHINERIE UTILISÉE PAR LA FERME TYPE EN PRODUCTION LAITIÈRE	132
TABLEAU 95 : USAGES CONSOMMATEURS DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES PRATIQUÉS SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION LAITIÈRE	133
TABLEAU 96 : TRACTEUR UTILISÉ ET TRACTEUR OPTIMAL PAR USAGE SUR LA FERME TYPE A EN GRANDES CULTURES.....	135
TABLEAU 97 : TRACTEUR UTILISÉ ET TRACTEUR OPTIMAL PAR USAGE SUR LA FERME TYPE B EN GRANDES CULTURES.....	136
TABLEAU 98 : TRACTEUR UTILISÉ ET TRACTEUR OPTIMAL PAR USAGE SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION LAITIÈRE.....	138
TABLEAU 99 : TRACTEUR UTILISÉ ET TRACTEUR OPTIMAL PAR USAGE SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION PORCINE.....	140
TABLEAU 100 : TRACTEUR UTILISÉ ET TRACTEUR OPTIMAL PAR USAGE SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION AVICOLE (CAS AVEC MAÏS).....	141
TABLEAU 101 : ÉQUIPEMENT DE PLUS GRANDE CAPACITÉ UTILISÉ SUR LA FERME TYPE A EN GRANDES CULTURES	142
TABLEAU 102 : ÉQUIPEMENT DE PLUS GRANDE CAPACITÉ UTILISÉ SUR LA FERME TYPE B EN GRANDES CULTURES	142
TABLEAU 103 : ÉQUIPEMENT DE PLUS GRANDE CAPACITÉ UTILISÉ SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION LAITIÈRE	142
TABLEAU 104 : ÉQUIPEMENT DE PLUS GRANDE CAPACITÉ UTILISÉ SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION PORCINE	143

**TABLEAU 105 : ÉQUIPEMENT DE PLUS GRANDE CAPACITÉ UTILISÉ SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION AVICOLE (CAS AVEC CULTURE
DE MAÏS) 143**

Introduction

Plusieurs sources d'énergie sont nécessaires à la production agricole : carburants et combustibles fossiles (essence, diesel, propane, etc.), électricité et biomasse sont utilisés sur les exploitations pour assurer le fonctionnement des machines agricoles (tracteurs, équipements), le chauffage des bâtiments et diverses activités agricoles. De nombreux travaux de recherche se sont penchés sur la consommation d'énergie des entreprises agricoles et ont mis en évidence l'impact de cette consommation sur les dépenses d'exploitation. Les carburants et combustibles fossiles occupent une part importante de la consommation énergétique du secteur agricole, représentant près de 70 % de l'énergie consommée sur les fermes québécoises (OEE, 2012). Ceci se reflète dans la structure des coûts de production du secteur : en 2006, les dépenses liées aux carburants et au chauffage représentaient 90 % des dépenses énergétiques des entreprises de grandes cultures, et plus de 65 % de celles des entreprises laitières et porcines (Bouffard, 2008; nos calculs, 2012).

Le présent projet vise à comprendre la répartition de la consommation de carburants et de combustibles sur les fermes entre les différents types d'usages (opérations culturales, chauffage, etc.) de façon à appuyer la priorisation des efforts de réduction de la consommation de ces sources d'énergie. Plus précisément, le projet vise à :

- quantifier les volumes de carburants et de combustibles renouvelables et non renouvelables utilisés par le secteur agricole québécois et les dépenses liées à cette utilisation;
- répartir les dépenses et les volumes de carburants et de combustibles renouvelables et non renouvelables par type d'usage, de manière à déterminer lesquels sont les plus énergivores;
- établir des plages idéales de consommation de carburants et de combustibles pour chaque type d'usage;
- recommander des actions prioritaires pour réduire la consommation de carburants et de combustibles des entreprises agricoles du Québec.

Quatre secteurs de production ont été retenus pour l'analyse, à savoir les productions laitière, porcine, avicole ainsi que les grandes cultures. Dans le cadre de ce mandat, le secteur avicole se résume à la production de poulets de chair.

Pour nous assurer de l'atteinte des objectifs du mandat, nous avons développé un modèle afin de calculer, pour chacun des usages agricoles effectués au cours d'une année, la consommation de carburants et de combustibles. Après avoir testé la précision de ce modèle en le mettant en application sur des entreprises actives au Québec, le modèle a été appliqué à des fermes types représentatives de la réalité des entreprises québécoises spécialisées dans les secteurs de production étudiés. Cette approche nous a permis d'évaluer la répartition des carburants et des combustibles consommés par les entreprises agricoles, et de mettre en évidence les usages les plus énergivores.

Les étapes suivantes du mandat ont permis de déterminer les actions à prioriser pour réduire la consommation de carburants et de combustibles des entreprises agricoles du Québec pour ces usages fondamentaux. Pour ce faire, des mesures permettant de réduire la consommation de carburants et de combustibles ont été testées grâce au modèle, afin de mettre en évidence des économies potentielles de carburants et de combustibles sur les fermes types et d'identifier des plages de consommation idéales pour chacun des usages réalisés sur celles-ci. Finalement, une analyse de la faisabilité de ces plages de consommation idéales et une revue des programmes d'efficacité énergétique dans le secteur agricole appliqués à l'étranger ont permis d'identifier des axes d'intervention prioritaires pour réduire la consommation de carburants et de combustibles sur les fermes du Québec.

1. Volumes et dépenses en carburants et combustibles renouvelables et non renouvelables dans le secteur agricole québécois

Un combustible est défini comme une matière dont la combustion est utilisée comme source de chaleur ou d'énergie. Pour leur part, les carburants sont des combustibles utilisés dans les moteurs à explosion ou les moteurs à combustion interne.

1.1. Carburants et combustibles non renouvelables

Les principaux carburants non renouvelables retrouvés dans le secteur agricole québécois sont le diesel et l'essence, alors que les combustibles non renouvelables sont, principalement, le propane, le gaz naturel et le mazout léger.

Le diesel constitue la principale source d'énergie fossile en agriculture et sert principalement au fonctionnement de la machinerie agricole, de certains camions, et de divers petits équipements (pompes, génératrices, etc.). Pour sa part, l'essence est surtout utilisée pour faire fonctionner des véhicules (camions, camionnettes, véhicules tout terrain, etc.), des petits tracteurs, ainsi que divers petits équipements (pompes, génératrices, etc.) (Groupe AGÉCO, 2006). Pour leur part, le gaz naturel, le mazout et le propane sont principalement utilisés pour faire fonctionner des équipements de chauffage, que ce soit dans des bâtiments d'élevage, des serres, des séchoirs à grains ou encore pour le chauffage de l'eau (Groupe AGÉCO, 2006; Dyer et Desjardins, 2007). Le tableau 1 présente, pour l'année 2008, les quantités de carburants et de combustibles non renouvelables consommées sur les fermes du Québec, par source d'énergie fossile.

TABLEAU 1 : CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES NON RENOUVELABLES PAR LE SECTEUR AGRICOLE, QUÉBEC, 2008

Source d'énergie	Quantité d'énergie (PJ)	Volume approximatif	Prix moyen*	Dépenses approximatives (\$)
<u>Carburants non renouvelables :</u>				
• Carburant diesel	10,2	263 660 000 L	1,167 \$/L	307 691 000
• Essence automobile	7,4	213 294 000 L	1,194 \$/L	254 673 000
<u>Combustibles non renouvelables :</u>				
• Gaz naturel		10 800 000 m ³	0,355 \$/m ³	3 837 000
• Mazout léger	0,4	7 500 000 L	1,070 \$/L	8 025 000
• Propane	0,3	109 760 000 L	0,673 \$/L	73 868 000
CONSOMMATION TOTALE	21,3	-	-	644 262 000

* Prix moyens pour 2008, sauf pour le propane (prix moyen pour 2009).

Source : OEE (2012), MRN (2013), ÉcoRessources Consultants et EcoTec Consultants (2012), nos calculs.

On constate que le diesel est le principal combustible utilisé par le secteur agricole québécois, et qu'il représente environ 48 % des dépenses estimées en carburants et combustibles non renouvelables du secteur. L'essence arrive en deuxième position, avec près de 40 % de ces dépenses. Par ailleurs, le propane représente le principal combustible autre que les carburants, et accapare environ 11 % des dépenses du secteur.

1.2. Carburants et combustibles renouvelables

L'éthanol et le biodiesel sont les deux principaux carburants renouvelables retrouvés au Canada (Environnement Canada, 2011).

- Le Conseil québécois du biodiesel définit celui-ci comme étant « un biocarburant biodégradable [...] produit à partir de ressources renouvelables (huiles végétales, huiles de friture recyclées ou gras animal) et qui ne contient aucun produit pétrolier mais qui peut servir à remplacer le pétrodiesel dans les moteurs diesels. Il peut être utilisé pur à 100 % (B100) comme carburant de remplacement mais on l'utilise le plus souvent mélangé au pétrodiesel dans des concentrations de 2 % (B2), 5 % (B5) et 10 % (B10) » (CQB, 2012).
- Pour sa part, l'éthanol est « un alcool [...] issu de la fermentation du sucre ou de la conversion de l'amidon que contiennent les céréales et d'autres matières agricoles ou agroforestières ». Lorsqu'il est utilisé comme carburant, l'éthanol est mélangé à l'essence et peut être utilisé dans les moteurs à essence fabriqués depuis les années 1980. La plupart des véhicules à essence peuvent fonctionner sur un mélange contenant jusqu'à 10 % d'éthanol, disponible à certaines stations-service à travers le Canada. Bien que certains véhicules soient conçus de façon à être alimentés spécifiquement par de l'essence à l'éthanol qui contient jusqu'à 85 % d'éthanol, ce carburant est utilisé uniquement par des organisations qui ont de gros parcs automobiles, et n'est pas encore commercialisé au Canada (Ressources naturelles Canada, 2011).

La législation fédérale exige, depuis 2011, que les détaillants du secteur pétrolier incluent un minimum de 5 % d'éthanol à l'essence et un minimum de 2 % de biodiesel au diesel. Ces exigences portent toutefois sur l'ensemble des volumes vendus au Canada par ces détaillants. Or, les réglementations plus sévères retrouvées dans certaines provinces de l'Ouest (p. ex., minimum de 4 % de biodiesel dans le diesel en Colombie-Britannique) font en sorte que les autres provinces, dont le Québec, se retrouvent avec une moins grande possibilité d'avoir des biocarburants dans le diesel. Il est donc probable que les quantités de biodiesel utilisées en agriculture au Québec soient marginales. Néanmoins, le Conseil québécois du biodiesel souligne que certaines entreprises ont commencé à commercialiser le biodiesel pour utilisation dans le secteur agricole. Aucune donnée officielle n'est toutefois comptabilisée à ce sujet.

Pour leur part, les combustibles renouvelables sont constitués d'un ensemble varié de matières premières utilisées pour produire de l'énergie. Parmi celles-ci, mentionnons :

- le bois de chauffage utilisé, par exemple, dans les cabanes à sucre ou les serres. On estime notamment qu'environ 120 000 m³ de bois auraient été consommés pour l'acériculture en 2002 à l'échelle du Québec (Rhéaume, 2004).
- la biomasse forestière utilisée pour le chauffage. Bien que peu répandus, certains producteurs agricoles ont converti leur système de chauffage afin d'utiliser la biomasse forestière comme source d'énergie, notamment dans les secteurs acéricole, serricole et avicole (Roy, 2012). Aucun projet de chauffage à la biomasse n'a, jusqu'à maintenant, été recensé par la Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ, communication personnelle, 2012). Le secteur du chauffage à la biomasse demeure une filière naissante, ce qui se traduit notamment par un manque d'expertise en la matière chez les fournisseurs d'équipements de chauffage (Dumont, 2013). Pour l'instant, l'utilisation de biomasse forestière apparaît être marginale. Toutefois, aucune donnée officielle n'est disponible pour appuyer ce constat.
- le biogaz, produit grâce à la biométhanisation de certaines matières organiques telles que le lisier de porcs. En 2008, deux entreprises porcines produisant du biogaz grâce à des installations de digestion anaérobie étaient recensées au Québec. Sur la première, le biogaz était utilisé pour le chauffage de la pouponnière, alors qu'il servait à chauffer la maternité et à produire de l'électricité sur la seconde. Un essai de biométhanisation était également recensé dans le secteur avicole, mais le projet avait été abandonné pour des raisons techniques (Brodeur et collab., 2008).

Dans l'ensemble, l'utilisation de carburants et de combustibles renouvelables par le secteur agricole du Québec apparaît marginale, à l'exception du bois de chauffage en acériculture. Plusieurs initiatives actuelles visent toutefois à développer l'utilisation de ces sources d'énergie, notamment la biomasse forestière aux fins de chauffage, ce qui pourrait se traduire par le remplacement graduel des combustibles non renouvelables.

2. Modélisation de la consommation de carburants et de combustibles sur les fermes du Québec

Dans cette section nous présentons les données et les hypothèses qui sous-tendent les calculs effectués par le modèle.

2.1. Revue des modèles existants de consommation d'énergie en agriculture

Les modèles développés pour estimer ou prédire la consommation d'énergie varient selon l'objectif. La plupart d'entre eux concernent la consommation d'énergie dans son ensemble, et ne se limitent pas à la consommation de carburants et de combustibles. En outre, plusieurs modèles tiennent compte de la consommation indirecte d'énergie découlant de la fabrication et du transport d'intrants et de matériel nécessaires à la production agricole, ou encore de la main d'œuvre (Mousavi-Avval, 2011; Heidari *et collab.*, 2011; Daalgard *et collab.*, 2001; MAFF, 2000). Plusieurs approches ont été relevées :

- L'analyse par processus consiste à déterminer les activités et les processus nécessaires à la production d'un bien final et de calculer, pour chacun d'eux, la quantité d'énergie nécessaire à leur réalisation. L'énergie totale consommée est alors obtenue en faisant la somme de la consommation d'énergie pour chacun des processus (Fluck *et collab.*, 1991). Dalgaard *et collab.* (2001) utilisent une approche similaire à l'approche par processus décrite par Fluck *et collab.* (1991), où chacun des usages agricoles est découpé en fonction des opérations culturales pratiquées aux champs. La consommation de chaque opération culturale est une fonction linéaire du nombre d'hectares, du volume de récolte, ou encore de la distance au champ.
- Plusieurs auteurs distinguent les usages directs et indirects de l'énergie sur les fermes. Dalgaard *et collab.* (2001) décomposent l'utilisation d'énergie entre usages directs de diesel, usages directs d'autres sources d'énergie et usages indirects. Khythreotou *et collab.* (2012) font également la distinction entre usages directs et indirects.
- L'approche analytique par enveloppement des données (*Data Envelopment Analysis*) consiste à mesurer l'écart de consommation d'énergie entre les fermes les plus efficaces et les autres. L'objectif est d'analyser l'efficacité énergétique des fermes et de déterminer les postes de consommation pour lesquels la quantité d'énergie utilisée pourrait être réduite. Heidari *et collab.* (2011) a utilisé cette approche pour estimer la consommation d'énergie totale des fermes, y compris la consommation d'énergie indirecte. Mousavi-Avval (2011) a appliqué ce modèle à plusieurs grands types d'usages, incluant la consommation de diesel, les pesticides, la machinerie, l'irrigation, la consommation d'électricité et le travail.

- Les modèles de type réseau neuronal (*Neural network*) (Sana et Samiramingue, 2010; Rahimi-Adjadi et Abbaspour-Gilandeh, 2011) utilisent comme cadre d'analyse l'analogie avec les neurones et leur connexion au sein du cerveau. Le résultat obtenu permet de prédire la consommation d'énergie à partir de la taille de l'exploitation, de ses caractéristiques sociales et de sa consommation en intrants.
- L'utilisation de modèles économétriques pour estimer la consommation d'énergie, grâce, par exemple, à l'application de la méthode de la productivité physique marginale, a notamment été faite par Ramedani *et collab.* (2011).
- Enfin, certains modèles reposent sur l'utilisation d'une ferme virtuelle. Le modèle *Farm Fieldwork and Fossil Fuel Energy and Emissions* (F4E2), développé par Dyer (2002), a été créé dans le but d'évaluer l'utilisation de carburants mobiles (diesel et essence) sur les entreprises agricoles et les émissions de GES qui en découlent. Celui-ci simule une ferme virtuelle qui tient compte des particularités régionales du secteur agricole, telles que la superficie moyenne des fermes, les rendements moyens, le climat, etc. Ce modèle estime la puissance de tracteur requise pour les principales opérations culturales nécessaires aux cultures annuelles en fonction de divers paramètres, ce qui permet ensuite d'estimer l'énergie requise pour réaliser ces opérations. Il calcule ainsi l'énergie qui devrait être idéalement consommée pour telle ou telle opération culturale, et non pas celle qui est effectivement consommée, car il ne tient pas compte des équipements qui se trouvent habituellement sur les fermes.

Certaines méthodes, telles que celle appliquée par Khythreotou *et collab.* (2012) ou encore Veysset (2010), ont comme objectif d'estimer la consommation globale d'énergie par secteur, ou par unité produite (tonne ou tête de bétail). Ces méthodes se basent entre autres sur les données déjà disponibles dans la littérature pour estimer la consommation globale, mais comme elles ne permettent pas d'obtenir des résultats par type d'usage, elles sont peu pertinentes dans le cadre du présent mandat.

Safa *et collab.* (2010) mentionnent l'existence de plusieurs méthodes destinées à mesurer la consommation de carburant par la machinerie en se basant sur la puissance des tracteurs utilisés. Toutefois, ils précisent que ces méthodes sont difficilement exportables d'une région à l'autre en raison de facteurs spécifiques à chaque zone étudiée, tels que les conditions du sol, l'altitude, les conditions climatiques, la charge et l'âge du tracteur, etc. Rahimi-Adjadi *et collab.* (2011) utilisent les données issues des tests de tracteurs effectués par l'université du Nebraska pour modéliser la consommation des tracteurs.

Plusieurs chiffriers ont été conçus à l'aide du tableur Excel afin de permettre un calcul rapide de la consommation d'énergie d'une exploitation en fonction de divers critères. Ce type d'outil est en général destiné aux conseillers agricoles ou aux producteurs eux-mêmes afin d'évaluer leur propre consommation d'énergie par usage. Comme le souligne Safa *et collab.* (2010), étant donné que la plupart de ces outils ont été développés pour une région ou un pays spécifique, il est difficile de les transposer à des cas québécois.

Le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) a toutefois développé sur Excel un module d'évaluation qui permet d'estimer le coût d'utilisation de la machinerie au Québec pour la majorité des opérations culturales (CRAAQ, n.d.a). Les données utilisées dans ce module proviennent du *Standards Program* de l'ASABE (*American Society of Agricultural and Biological Engineers*), le principal organisme responsable du développement de normes en ingénierie agricole aux États-Unis. Ces normes apparaissent comme étant bien adaptées au contexte canadien, entre autres parce qu'on y retrouve généralement les mêmes fabricants de machinerie agricole (Pelletier, communication personnelle). Divers auteurs canadiens ont d'ailleurs utilisé ces données pour développer leurs modèles, notamment Dyer (2002).

Dans le cadre du présent mandat, le module du CRAAQ a servi de base au développement du modèle de consommation de carburants et de combustibles pour les productions végétales. Aucune autre forme de modèle spécifiquement développée pour le Québec n'a pu être relevée dans la littérature.

2.2. Construction du modèle de consommation de carburants et de combustibles

Le modèle développé pour ce mandat repose sur un tableur bâti avec le logiciel Microsoft Excel. Cet outil permet de modéliser la consommation des principaux carburants et combustibles retrouvés dans les secteurs de production étudiés, à savoir le diesel, l'essence et le propane.

Afin de modéliser la consommation de carburants et de combustibles dans les quatre secteurs de production visés, le modèle devait tenir compte de toutes les opérations consommatrices de carburants et de combustibles en lien avec les principales grandes cultures réalisées au Québec, avec les cultures fourragères (principalement pour le secteur laitier) ainsi qu'avec les bâtiments d'élevage. Pour ce faire, chaque onglet du tableur permet de modéliser les opérations liées à une production végétale spécifique (p. ex., maïs-grain, blé, foin sec, etc.) ou encore les opérations effectuées dans les bâtiments pour un secteur de production animale (lait, porc ou volaille). Sept options de grandes cultures¹ et cinq options de cultures fourragères² ont été incluses, en plus de trois onglets non identifiés qui pourront servir à modéliser d'autres grandes cultures ou cultures fourragères. En offrant ces choix, le modèle permet à l'utilisateur de faire appel à un seul onglet ou à toute combinaison d'onglets permettant de se rapprocher de la ferme à modéliser. Par exemple, un producteur de porcs, de maïs-grain et d'orge pourra utiliser uniquement les trois onglets nécessaires à ses productions. Enfin, un onglet « sommaire » offre un portrait global de la consommation de carburants et de combustibles de la ferme modélisée.

¹ Avoine, blé pour consommation humaine, blé pour consommation animale, canola, orge, maïs-grain ou soya.

² Foin sec, ensilage d'herbe, ensilage de soya, maïs fourrager, pâturage.

2.2.1 Usages liés aux grandes cultures et aux cultures fourragères

Plusieurs usages liés à l'exploitation des grandes cultures nécessitent la consommation de carburants (diesel, essence ou propane). L'approche par processus, décrite à la section 1.1, a été retenue pour modéliser la consommation de carburants et de combustibles dans la production de grandes cultures et de cultures fourragères.

Utilisation de la machinerie pour les opérations culturales

Afin de modéliser les opérations culturales, une sélection des cultures les plus communes sur les entreprises agricoles québécoises a d'abord été réalisée : blé pour consommation humaine ou animale, maïs-grain, maïs fourrager, soya, orge, avoine, canola, foin sec, ensilage d'herbe, ensilage de soya, pâturage. Dans un second temps, toutes les opérations culturales nécessaires à la production des cultures ciblées ont été déterminées et ont été regroupées par usage : préparation du sol, semis et plantation, traitement, manutention des déjections, fenaison, récolte des grains, transport, ensilage, séchage et transport par camion et camionnette. Par la suite, les équipements généralement utilisés pour réaliser chacune de ces opérations culturales ont été répertoriés. Le besoin de recourir ou non à un tracteur a également été noté, ainsi que le nombre de passages nécessaires pour réaliser une opération culturale donnée. Ces informations ont été recueillies à partir de diverses sources, notamment les budgets des cultures de Beaugard (CRAAQ, 2009a et 2009b) pour les grandes cultures et les cultures fourragères, le module d'évaluation du coût d'utilisation de la machinerie agricole développé par le CRAAQ (n.d.a) ainsi que l'AGDEX 740/825 du CRAAQ (2012a). Des échanges avec la Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (FPCCQ) ainsi qu'avec la Fédération des producteurs de lait du Québec (FPLQ) ont permis de valider et de compléter ces informations.

Les options d'équipement inclus dans le modèle pour chaque usage sont présentées dans le tableau 2.

**TABEAU 2 : LISTES D'OPTIONS D'ÉQUIPEMENTS PAR USAGE POUR LES OPÉRATIONS CULTURALES
 POUR LA PRODUCTION DE GRANDES CULTURES ET DE CULTURES FOURRAGÈRES**

Préparation du sol	Semis et plantation	Traitement	Manutention des déjections	Fenaison	Récolte des grains	Transport
Charrue Chisel Herse à disques Vibroculteur Cultivateur Sarcoir en rang Houe rotative Peigne (herse étrille) Sous-soleuse	Semoir céréales semis direct Semoir céréales type Brillon Semoir en ligne céréales Semoir maïs conventionnel Semoir maïs semis direct Rouleau type Brillon	Épandeur engrais minéral Pulvérisateur	Citerne à lisier Épandeur fumier	Faucheuse à disques Giro-faneur Giro-râteau Râteau fileur (à roues) Doubleur d'andains Presse petites balles rectangulaires Presse grosses balles rectangulaires Presse balles rondes Enrobeuse Fourragère ensilage foin Fourragère automotrice foin Fourragère ensilage maïs Fourragère automotrice maïs Souffleur à ensilage	Andaineuse à canola Moissonneuse-batteuse soya Moissonneuse-batteuse céréales Moissonneuse-batteuse maïs Moissonneuse-batteuse tractée	Boîte à grain Boîte à ensilage Plate-forme Remorque Transporteur de balles

Comme on peut le constater au tableau 2, certains usages peuvent comporter plusieurs étapes et recourir à des équipements variés selon la culture et les pratiques de la ferme. Par exemple, la préparation du sol peut impliquer plusieurs passages successifs avec divers équipements (charrue, vibroculteur, etc.) ou, à l'extrême, ne requérir aucun travail si l'entreprise pratique le semis direct. Similairement, la fenaison des fourrages peut impliquer un passage pour la coupe, un autre pour le fanage, puis un dernier pour le pressage en balles et la récolte. Par conséquent, la consommation de carburant est calculée pour chaque passage au champ en tenant compte de l'équipement utilisé, puis est additionnée pour évaluer la consommation totale liée à un usage donné.

Les algorithmes et paramètres utilisés pour modéliser la consommation de carburants et de combustibles de chacun des équipements répertoriés au tableau 2 proviennent des analyses effectuées par l'*American Society of Agricultural and Biological Engineers* (ASABE) (ASAE, 2003; 2006; ASABE, 2011). Ces algorithmes et paramètres sont présentés à l'annexe 1.

Autres usages consommateurs de carburants et de combustibles

En plus des opérations culturales détaillées ci-dessus, d'autres usages reliés à certaines productions végétales peuvent requérir l'utilisation de carburants ou de combustibles. Or,

- L'ensilage des fourrages (p. ex., herbe, maïs fourrager, etc.) peut, par exemple, nécessiter l'utilisation du tracteur pour faire fonctionner l'enrobeuse ou encore pour compacter les fourrages entreposés dans des silos-couloirs. Le modèle demande à l'utilisateur d'indiquer la puissance du tracteur utilisé ainsi que le temps de travail requis pour ensiler. Les algorithmes présentés à l'annexe 1 sont ensuite utilisés pour évaluer la consommation de carburant liée à cet usage. Toutefois, la variable X, soit le ratio de la puissance nécessaire pour effectuer le travail ($P_{\text{nécessaire}}$) à la puissance disponible par le tracteur (P_{tracteur}), est établie à 1 pour ces calculs. Ceci a pour effet de surestimer la consommation de carburant.
- Le modèle inclut la possibilité de calculer la consommation de carburants pour des passages de tracteur sans équipement. De cette façon, des usages peu fréquents comme l'enlèvement de roches peuvent être pris en considération de façon à évaluer la consommation de carburant qui en découle. Comme pour l'ensilage, les algorithmes utilisés pour ce faire sont les mêmes que ceux présentés à l'annexe 1, sauf que la variable X est établie à 1 pour ces calculs.
- Enfin, la consommation de combustibles due au séchage des grains a été modélisée grâce aux données techniques de l'AGDEX 736 (CRAAQ, 2010). L'utilisateur doit indiquer la teneur en eau initiale des grains et la quantité à sécher.

2.2.2 Usages réalisés dans les bâtiments d'élevage en productions laitière, porcine et avicole

De façon similaire à l'approche utilisée en grandes cultures, la première étape a permis de déterminer tous les usages nécessitant la consommation de carburants et de combustibles. Pour ce faire, diverses sources d'informations ont été mises à contribution, notamment des échanges avec des représentants de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) et la consultation de certains documents (ADEME, 2006; Groupe AGÉCO, 2006; Cuthbertson, 2006).

Or, contrairement aux productions végétales, la majorité des usages dans les bâtiments d'élevage utilisent l'électricité comme source d'énergie. De façon générale, seuls le chauffage et quelques usages secondaires nécessitent une source d'énergie autre que l'électricité. Par exemple, un tracteur est utilisé pour nettoyer les poulaillers, alors qu'en production laitière, un tracteur peut être utilisé pour faire fonctionner un système d'alimentation en fourrages. Par ailleurs, certains de ces usages peuvent nécessiter différentes sources d'énergie selon les choix d'équipements faits par le producteur. À titre d'exemple, certains équipements de chauffage de l'eau dans les laiteries fonctionnent à l'électricité, alors que d'autres utilisent plutôt le propane. Les usages inclus au modèle ont été validés auprès de la Fédération des producteurs de lait du Québec (FPLQ), la Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ) et les Éleveurs de volailles du Québec (ÉVQ), et sont présentés, par secteur, dans le tableau 3.

TABLEAU 3 : USAGES RETENUS POUR LA MODÉLISATION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES DANS LES BÂTIMENTS D'ÉLEVAGE

Production laitière	Production porcine	Production avicole
Chauffage de l'eau (pour le lavage du système de traite)	Chauffage des bâtiments	Chauffage des bâtiments Nettoyage

L'usage « nettoyage » a été inclus dans la production avicole, puisque celui-ci est souvent réalisé à l'aide d'un petit tracteur. La modélisation de cet usage repose sur la modélisation d'un passage de tracteur sans équipement, tel qu'expliqué à la section 1.2.1. Pour le chauffage de l'eau et celui des bâtiments, les algorithmes et paramètres utilisés pour modéliser la consommation de combustibles sont présentés à l'annexe 2.

2.2.3 Autres usages

Deux usages ont été inclus dans l'onglet « Sommaire » du tableur puisqu'ils n'étaient pas liés à une production spécifique :

- L'utilisation d'un camion ou d'une camionnette pour divers motifs (transport de matériel, déplacements liés au travail, etc.) a été incluse au modèle puisqu'il s'agit d'un usage fréquent sur les entreprises agricoles. Compte tenu des nombreux motifs justifiant cet usage, nous avons décidé d'utiliser une constante pour représenter la consommation de carburant qui lui est associée. Cette constante, présentée à l'annexe 7, a été calculée à partir de données publiées par Groupe AGÉCO (2006), qui portent sur l'ensemble du secteur agricole québécois pour l'année 1997. Ces données ont été ramenées par ferme afin d'estimer la consommation d'une ferme moyenne.
- Une part importante des entreprises agricoles ont recours à une génératrice pour des usages réalisés loin des bâtiments et donc loin des prises de courant électrique ou pour palier des pannes électriques. Compte tenu du caractère marginal de cette consommation et du fait que les pannes électriques peuvent être difficilement modélisées, nous avons décidé d'utiliser une constante pour chaque secteur de production étudié afin d'évaluer la consommation de carburant par les génératrices. Puisqu'aucune donnée de consommation suffisamment détaillée n'a pu être relevée dans la littérature, ces constantes ont été calculées sur la base des informations fournies par les exploitants des fermes sur lesquelles le modèle a été testé. Les données retenues pour chacune des fermes types sont présentées à l'annexe 7.

2.2.4 Utilité et limites du modèle

Le modèle bâti dans le cadre de ce mandat vise à calculer la consommation de combustibles et de carburants par les entreprises agricoles, et ce, par type d'usage. L'objectif principal de cette démarche, qui constitue également son avantage par rapport à d'autres modèles existants, est de pouvoir dresser un portrait de la répartition de la consommation de carburants et de combustibles sur les fermes de façon à comprendre où et à quel moment sont utilisées ces sources d'énergie. Ainsi, le modèle permet à l'utilisateur de mieux comprendre la consommation de carburants et de combustibles sur l'entreprise évaluée et de cerner les postes énergétiques les plus importants.

Toutefois, les résultats générés par le modèle sont à titre indicatif uniquement et ne doivent pas être interprétés comme reflétant précisément les quantités de carburants et de combustibles consommées dans chaque usage. En effet, la conception d'un tel modèle requiert de nombreuses hypothèses, telles que celles décrites ci-dessus. Par ailleurs, certains aspects méthodologiques limitent la précision des résultats, dont ceux décrits ci-dessous :

- Les paramètres et les algorithmes portant sur les productions végétales proviennent des analyses effectuées par l'ASABE (voir annexe 1). Ceux-ci ont été obtenus sur la base d'études empiriques, et il s'agit donc de moyennes reflétant un ensemble d'équipements usuels. Ainsi, bien que ces études soient reconnues comme étant la meilleure source d'informations et de données pour réaliser le type d'analyse requis par le présent mandat (McLaughlin, communication personnelle, 2013), la diversité des conditions retrouvées sur les entreprises agricoles limite la possibilité d'évaluer avec précision la consommation de carburants sur une ferme donnée. Par exemple, l'ASABE prévoit des marges d'erreur pouvant aller jusqu'à 50 % dans l'évaluation de la force nécessaire pour tirer certains équipements aratoires ou de la puissance nécessaire pour faire fonctionner certains équipements rotatifs (voir tableaux 1 et 2 dans ASABE, 2011).
- Peu importe le secteur étudié, plusieurs équipements auxquels pourraient recourir les producteurs agricoles n'ont pas été inclus parce qu'ils sont considérés comme étant peu courants, limitant ainsi l'application du modèle à des fermes utilisant des équipements communs.
- Pour plusieurs des variables utilisées dans le modèle, il a été nécessaire de limiter leur variabilité. C'est le cas, par exemple, des prix des combustibles et des carburants, pour lesquels le modèle demande une moyenne annuelle, alors que ceux-ci peuvent varier énormément au cours d'une même année. De façon similaire, un seul type de sol peut être indiqué, celui-ci devant se rapprocher autant que possible du type de sol « moyen » de l'entreprise agricole. Ces simplifications, bien que nécessaires pour rendre le modèle opérationnel, influencent la précision des résultats.
- Le calcul des quantités de combustibles consommées pour chauffer l'eau repose sur les valeurs de consommation des équipements publiées par les fournisseurs. La consommation réelle peut s'avérer différente selon l'âge de l'équipement, l'entretien, etc.
- Enfin, l'évaluation de la consommation de combustible pour chauffer les bâtiments d'élevage repose sur des données moyennes de consommation par truie ou porc dans le cas de la production porcine, et par kilogramme de poulet dans le cas de la production avicole. Encore une fois, la consommation réelle peut s'avérer différente selon l'équipement utilisé, l'âge de celui-ci, l'entretien, etc.

De nombreux choix méthodologiques ont dû être réalisés pour construire le modèle de consommation de carburants et de combustibles. Bien que certains de ces choix puissent limiter la précision des résultats, tels que ceux décrits ci-dessus, ils ont permis de mener à bien la construction du modèle sur des bases validées par des experts reconnus (voir section remerciements). **Ce modèle doit néanmoins être utilisé avec précaution en raison des possibilités d'écart entre les résultats et la réalité.** Les prochaines sections présentent les démarches mises en œuvre pour tester la précision du modèle.

3. Évaluation de la précision du modèle

Afin d'en évaluer la précision, le modèle de consommation de carburants et de combustibles a été testé en l'appliquant à des cas réels, soit deux entreprises québécoises par secteur de production visé, celles-ci ayant été identifiées par l'intermédiaire des fédérations spécialisées de l'UPA correspondantes ou de conseillers agricoles. Les producteurs ont été sélectionnés en fonction de leur disponibilité et, dans la mesure du possible, sur la base des similitudes que leurs exploitations partageaient avec les fermes types retenues comme modèles. Par ailleurs, les entreprises sélectionnées devaient avoir une idée précise des volumes de carburants et de combustibles consommés au cours d'une année type (l'année 2010 ou 2011 a servi de référence, selon les données dont disposait le producteur) et devaient être en mesure de fournir toutes les informations requises pour modéliser l'utilisation de ces sources d'énergie. En particulier, ces producteurs ne devaient pas offrir de services à forfait, à moins de tenir une comptabilité distincte entre les activités réalisées sur leur entreprise agricole et les activités réalisées à forfait.

La réalisation des tests auprès des producteurs consistait à rassembler auprès d'eux toute l'information nécessaire pour faire fonctionner le modèle. Pour les productions végétales, des données générales ont été collectées sur le type de sol, le parc de tracteurs, les cultures réalisées et les montants totaux dépensés annuellement en essence, en diesel, en propane, etc. Pour chaque culture pratiquée, des informations détaillées ont ensuite été récoltées sur les différentes étapes de production nécessitant l'usage de machinerie ou d'équipement consommateur de carburants : puissance et traction du tracteur utilisé, caractéristiques de la machinerie employée, nombre de passages pratiqués, temps de travail et profondeur de travail, le cas échéant. Pour certaines cultures, le temps de séchage, le volume de grains à sécher ainsi que les teneurs en humidité ont été relevés. Pour d'autres, des données permettant de modéliser l'ensilage ont été recueillies (tracteur utilisé, temps de travail, etc.).

Pour les usages effectués dans les bâtiments d'élevage, des informations ont été recueillies sur le nombre d'animaux, le type de système de chauffage, la puissance et la consommation des équipements de chauffage, les dépenses de consommation de combustibles destinés au chauffage, etc. Des informations sur certains usages secondaires tels que l'utilisation d'une génératrice ou le nettoyage des bâtiments ont également été relevées. Les détails des informations collectées auprès de chacune des exploitations figurent aux annexes 3 à 6. Afin d'estimer la consommation de carburants pour le chauffage des bâtiments d'élevage dans les secteurs avicole et porcin, plusieurs tentatives de modélisation ont été faites. Les différentes informations recueillies auprès des producteurs rencontrés ont permis de tester l'efficacité du modèle aux différents stades de son élaboration. Ainsi, bien que le format final du calcul de la consommation pour le chauffage requière uniquement de préciser le nombre moyen d'animaux présents sur l'entreprise, d'autres informations ont été collectées sur l'exploitation afin de tester l'efficacité des différentes tentatives d'élaboration du modèle.

Le tableau 4 présente les prix des carburants et des combustibles utilisés pour réaliser ces tests. Ceux-ci sont les prix moyens pour l'année 2010 (2009 pour le gaz naturel) dans l'ensemble du Québec. Dans le cas du diesel, son utilisation dans le cadre d'une activité agricole permet au producteur d'obtenir un remboursement de la taxe provinciale sur les carburants. En 2010 (l'année de référence), cette taxe était établie à 0,162 \$ par litre (Revenu Québec, 2012), et ce montant a donc été soustrait du prix moyen du diesel. Pour les carburants, les prix ont été obtenus auprès de la Régie de l'énergie du Québec. Le prix du propane, quant à lui, provient de ÉcoRessources Consultants et d'EcoTec Consultants (2012), alors que celui du gaz naturel provient du ministère des Ressources naturelles (MRN, 2012). Toutefois, lorsque possible, les prix effectivement payés par les producteurs ont été utilisés, afin de réduire la marge d'erreur entre les résultats du modèle et la consommation réelle en volume. C'est le cas des tests réalisés sur les fermes avicoles, où les prix unitaires du gaz naturel ont été fournis par les éleveurs.

TABLEAU 4 : PRIX D'ACHAT DES CARBURANTS ET DES COMBUSTIBLES UTILISÉS POUR LA MODÉLISATION, 2010

Carburant ou combustible	Prix d'achat (2010)
Diesel	0,899 \$/litre
Essence	1,059 \$/litre
Propane	0,673 \$/litre
Gaz naturel*	0,4538 \$/m ³

* Donnée pour 2009.

Sources : Régie de l'énergie du Québec (2011b et 2011d);
ÉcoRessources Consultants et EcoTec Consultants (2012);
MRN (2012).

Les prochaines sections présentent les constats tirés de cette évaluation. Ces constats permettent ensuite d'alimenter une analyse de la précision du modèle, présentée en fin de chapitre.

3.1. Consommation liée aux grandes cultures et aux fourrages : opérations au champ et séchage des grains

La modélisation de la consommation de carburants et de combustibles pour les productions végétales repose sur les algorithmes présentés à l'annexe 1. Quatre entreprises ont été visitées pour tester ce volet du modèle, soit deux entreprises spécialisées en grandes cultures et deux entreprises de production laitière.

Les prochaines sections présentent d'abord les résultats des tests effectués sur ces fermes. Pour se faire, les données fournies par les entreprises visitées ont été compilées et entrées dans le modèle (type de travail, temps de travail, équipements utilisés et ses caractéristiques, etc.). Par la suite, les résultats obtenus ont été comparés à la consommation réelle de l'entreprise afin d'évaluer la précision de ce volet du modèle.

Entreprises spécialisées en grandes cultures

En grandes cultures, les deux exploitations retenues produisent chacune du maïs-grain, du soya et du blé. Elles ne pratiquent pas de travaux à forfait et ne font pas ou peu appel à ce type de service, de sorte que la quasi-totalité du diesel consommé pour les opérations de cultures se retrouve comptabilisée dans le montant total des dépenses en diesel de l'exploitation.

La première entreprise utilise le propane pour sécher ses grains de maïs, alors que la seconde utilise plutôt le gaz naturel. Puisque les données techniques utilisées dans le modèle pour cet usage concernent le propane (CRAAQ, 2010), une conversion a été nécessaire pour estimer la quantité de gaz naturel consommé. Pour ce faire, la quantité de propane calculée par le modèle a été convertie en unités énergétiques (MJ), ce qui a par la suite permis d'évaluer le volume de gaz naturel nécessaire pour obtenir la même quantité d'énergie³.

Sur ces deux entreprises, les opérations de préparation du sol et le labour sont les usages qui consomment le plus de carburant. Ces opérations culturales nécessitent des tracteurs de forte puissance et de l'équipement de labour et de travail du sol particulièrement énergivore. Ainsi, dans les deux exploitations visitées, la préparation du sol et le labour sont à l'origine de 45 % et de 59 % de la consommation totale de diesel en volume. Quant à lui, le séchage consomme une part importante des dépenses totales en carburants et en combustibles sur ces deux entreprises (56 % et 33 %).

³ Les facteurs de conversion utilisés sont de 25,53 MJ/L pour le propane et de 37,89 MJ/m³ pour le gaz naturel.

Les résultats des tests effectués sur ces exploitations sont présentés aux tableaux 5 et 6.

TABLEAU 5 : ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES ET RÉPARTITION PAR TYPE D'USAGE, EXPLOITATION EN GRANDES CULTURES N° 1

Usage	Volume consommé (litres)	Dépenses (\$)	Répartition des dépenses par type d'usage (%)
Préparation du sol – automne	3 208	2 884	9,1
Préparation du sol – printemps	1 331	1 197	3,8
Semis	543	489	1,5
Épandage engrais minéraux	77	70	0,2
Contrôle des ennemis des cultures	377	339	1,1
Épandage engrais organique (fumier de poulet)	498	448	1,4
Récolte des grains	1 610	1 448	4,5
Transport	818	735	2,3
Autres usages*	1 679	1 510	4,7
Total diesel	10 142	9 117	28,6
Camions de ferme	4 700	4 977	15,6
Total essence	4 700	4 977	15,6
Séchage	26 400	17 767	55,8
Total propane	26 400	17 767	55,8
Total	n. d.	31 862	100,0

* Autres usages : enlèvement de roches, nivelage, etc.

TABLEAU 6 : ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES ET RÉPARTITION PAR TYPE D'USAGE, EXPLOITATION EN GRANDES CULTURES N° 2

Usage	Volume consommé (litres)	Dépenses (\$)	Répartition des dépenses par type d'usage (%)
Préparation du sol – automne	4 379	3 936	17,6
Préparation du sol – printemps	3 270	2 940	13,1
Semis	1 162	1 045	4,7
Épandage engrais minéraux	116	104	0,5
Contrôle des ennemis des cultures	374	336	1,5
Récolte des grains	2 155	1 937	8,7
Transport	980	881	3,9
Autres usages*	595	534	2,4
Total diesel	13 030	11 714	52,4
Camions de ferme	3 000	3 177	14,2
Total essence	3 000	3 177	14,2
Séchage	16 474	7 476	33,4
Total gaz naturel	16 474	7 476	33,4
Total	n. d.	22 367	100,0

* Autres usages : remplissage et vidange du silo, etc.

Pour la première exploitation, les dépenses en consommation de diesel réelles pour l'année 2010 étaient de 12 800 \$, tandis que le résultat du modèle indique des dépenses en diesel de 9 117 \$. Pour la deuxième exploitation, les dépenses en consommation de diesel réelles se sont élevées à environ 12 000 \$ en 2010, alors que le modèle a plutôt estimé des dépenses de l'ordre de 11 714 \$. Dans l'ensemble, nous avons donc constaté une sous-estimation allant de 2,4 % à 28,8 % par rapport à la consommation réelle en diesel des exploitations modélisées.

Entreprises spécialisées en production laitière

Deux exploitations laitières ont été sollicitées pour tester la partie du modèle consacrée plus spécifiquement aux fourrages. La première exploitation laitière retenue pour tester le modèle possède 80 vaches en lactation et 230 ha de terres en culture. Elle produit du maïs-grain, du maïs-ensilage, du soya, du blé, de l'avoine, de l'orge, du foin ensilé et du foin sec. L'exploitation consomme du propane pour sécher les grains de maïs. Le tableau 7 présente les résultats de la modélisation de cette entreprise.

TABLEAU 7 : ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES ET RÉPARTITION PAR TYPE D'USAGE DE L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 1

Usage	Volume consommé (litres)	Dépenses (\$)	Répartition des dépenses par type d'usage (%)
Préparation du sol – automne	242	217	0,8
Préparation du sol – printemps	1 359	1 222	4,5
Semis	873	785	2,9
Épandage engrais minéraux	22	20	0,1
Contrôle des ennemis des cultures	219	197	0,7
Manutention des déjections	1 359	1 221	4,5
Fenaison	9 933	8 930	32,7
Récolte des grains	663	596	2,2
Transport	473	425	1,6
Ensilage	3 265	2 935	10,8
Autres usages	1 091	981	3,6
Total diesel	19 497	17 528	64,2
Camions de ferme	8 146	8 627	31,6
Total essence	8 146	8 627	31,6
Séchage	1 697	1 142	4,2
Total propane	1 697	1 142	4,2
Total	n. d.	27 296	100,0

* Autres usages : brassage de la fosse, remplissage des silos à grains, remplissage du silo meule et récupération de l'ensilage, etc.

La seconde exploitation laitière produit des céréales mélangées, du maïs fourrager et du foin sec et humide sur un total de 70 hectares. L'exploitation ne consomme pas de propane ou d'autres combustibles dans ses bâtiments. Les résultats des tests effectués sur cette entreprise sont présentés au tableau 8.

TABEAU 8 : ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES ET RÉPARTITION PAR TYPE D'USAGE DE L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 2

Usage	Volume consommé (litres)	Dépenses (\$)	Répartition des dépenses par type d'usage (%)
Préparation du sol – automne	618	556	9,4
Préparation du sol – printemps	318	286	4,8
Semis	154	138	2,3
Contrôle des ennemis des cultures	48	43	0,7
Manutention des déjections	300	270	4,5
Fenaison	1 204	1 083	18,2
Récolte des grains	445	400	6,7
Transport	644	579	9,7
Ensilage	14	12	0,2
Autres usages*	1 661	1 494	25,1
Total diesel	5 406	4 860	81,8
Camions de ferme	1 022	1 082	18,2
Total essence	1 022	1 082	18,2
Total	n. d.	6 818	100,0

* Autres usages : gestion du fumier (autre qu'épandage) et alimentation des bovins (transport des balles, etc.).

Pour la première exploitation laitière, les dépenses en consommation de diesel réelles pour l'année 2011 étaient de 20 430 \$, tandis que le résultat du modèle indique des dépenses en diesel de 17 528 \$. Pour la seconde exploitation laitière, le modèle a estimé les dépenses en diesel à 4 860 \$, alors que la consommation réelle s'est élevée à 9 356 \$ en 2011. Dans l'ensemble, nous avons donc constaté une sous-estimation allant de 14,2 % à 48,1 % par rapport à la consommation réelle en diesel des exploitations modélisées.

Séchage des grains

Trois des entreprises visitées (deux entreprises de grandes cultures et une entreprise laitière) avaient recours à des séchoirs pour sécher leurs grains de maïs.

Sur la première entreprise en grandes cultures, le séchage est fait au propane. La consommation de propane estimée par le modèle s'élève à 26 400 litres pour sécher 880 tonnes de maïs, ce qui équivaut à une dépense de 17 767 \$, alors que les dépenses réelles de l'exploitation, pour 2010, s'élevaient à 10 500 \$. Sur la seconde exploitation spécialisée en grandes cultures, le séchage fonctionne au gaz naturel. Pour l'année 2010, des dépenses de consommation réelles d'environ 5 500 \$ ont été constatées sur cette entreprise, alors que la consommation calculée par le modèle équivaut, quant à elle, à 7 476 \$. Enfin, l'entreprise laitière utilise le propane pour sécher ses grains. Les dépenses pour la consommation réelle de propane pour l'année 2010 étaient de 1 502 \$, tandis que le résultat du modèle indique des dépenses en diesel de 1 142 \$.

Dans l'ensemble, nous avons donc constaté un écart allant de -24,0 % à 69,2 % entre les résultats du modèle et la consommation réelle en combustibles pour le séchage des grains sur les exploitations visitées.

Analyse

En plus des éléments présentés à la section 2.2.3, plusieurs raisons peuvent expliquer les écarts constatés :

- Les paramètres fournis par l'ASABE ne tiennent pas compte du fait que certaines recommandations concernant la gestion de la machinerie agricole ne sont pas toujours respectées par les producteurs agricoles (p. ex., que les pneus des tracteurs et des autres machineries soient gonflés à la pression recommandée, et qu'un bloc de masse soit utilisé de façon adéquate lorsque les besoins en traction et les conditions du sol l'exigent).
- Le modèle tient compte de l'efficacité au champ d'un équipement agricole, qui est définie comme le ratio entre la productivité d'une machine dans des conditions réelles et la productivité maximale théorique. Des pertes normales d'efficacité sont liées, notamment, à la non-utilisation de la largeur totale de l'équipement⁴, au fait de devoir tourner au bout des rangs, à la manutention de semences, d'engrais, etc., au besoin de nettoyer l'équipement bouché et d'attendre les autres machines. Des pertes d'efficacité sont également dues au voyage vers le champ et à partir de ce dernier. Le modèle tient compte de ces pertes en utilisant une constante en fonction de l'usage modélisé (p. ex., des pertes de 15 % pour le labour) (ASABE, 2011). Toutefois, l'efficacité au champ n'est pas une constante pour une machinerie donnée (elle varie avec la taille et la forme du champ, le mode d'opération de la machinerie, les rendements des cultures, etc.), de sorte qu'un écart peut apparaître entre les résultats du modèle et la consommation réelle de l'entreprise.
- Étant donné la grande diversité de machineries agricoles sur le marché, plusieurs machines utilisées par les exploitations tests ont des caractéristiques différentes de celles retenues pour construire le modèle. Dans cette situation, la machine avec les caractéristiques les plus rapprochées a été sélectionnée dans le modèle pour effectuer les calculs, et la consommation obtenue peut différer légèrement. Par ailleurs, certains équipements présents sur les exploitations tests n'étaient pas inclus dans le modèle (p. ex., souffleur à ensilage, vis à grains). Dans ce cas, la consommation approximative peut être évaluée en calculant la consommation d'un passage du tracteur sans équipement. Par défaut, le modèle considère que la pleine puissance du tracteur est utilisée lors de ces passages, et surestime donc la consommation réelle.

⁴ Une étude réalisée au Lac-Saint-Jean a démontré, par exemple, que l'utilisation d'un système d'autoguidage par GPS pouvait entraîner une variation de la consommation de diesel pouvant atteindre 0,74 L/ha selon l'usage agricole, grâce à la diminution du chevauchement lors des passages de la machinerie. Une hausse a toutefois été observée pour certains usages tels que la fertilisation puisque l'opérateur avait tendance à surestimer la largeur d'épandage lorsqu'il opérait la machine sans système d'autoguidage (St-Pierre, 2013).

- Certains paramètres utilisés par le modèle, tels que la profondeur de travail, sont difficilement évaluables avec précision par un producteur agricole. Ainsi, un faible écart entre la profondeur réelle du labour et celle entrée dans le modèle peut avoir un impact important sur les résultats des calculs. De la même façon, les particularités d'un sol donné peuvent avoir un impact important sur la puissance de tirage nécessaire. Or, le modèle prévoit uniquement trois types de sol, ce qui ne permet pas de refléter toute la diversité des caractéristiques de sol retrouvées sur les fermes du Québec (McLaughlin, communication personnelle, 2013).
- Le temps de travail estimé par le producteur pour chacune des opérations lors de l'entrevue peut différer légèrement du temps de travail réel. Aussi, il existe un décalage entre les consommations enregistrées dans le budget de l'exploitation, qui sont totalisées sur une année civile, et les consommations modélisées, qui sont basées sur un cycle de culture allant d'octobre à septembre.
- Les comparaisons sont faites sur la base des dépenses en carburants et en combustibles. Or, le modèle utilise un prix moyen alors que les producteurs peuvent payer un prix qui varie au cours de l'année et d'une région à l'autre. Cet élément peut être à la base d'une surestimation ou d'une sous-estimation.

Malgré ces sources d'écart, des intervenants possédant une bonne connaissance du génie agricole et des standards de l'ASABE conviennent qu'un écart d'environ 20 % entre les résultats du modèle et la consommation réelle d'une entreprise agricole s'avère acceptable (McLaughlin, communication personnelle, 2013; Pelletier, communication personnelle, 2013).

En ce qui concerne plus spécifiquement le séchage des grains, le modèle utilise les données techniques de l'AGDEX 736 (CRAAQ, 2010). Celui-ci présente des données moyennes de consommation de combustibles en fonction du type de séchoir utilisé et du taux d'humidité initial des grains. Quatre taux d'humidité sont indiqués : 25 %, 30 %, 35 % et 40 %. Ce nombre limité de choix restreint la capacité du modèle à refléter la réalité des entreprises, dont les grains pourraient avoir un taux d'humidité différent des choix disponibles.

En conclusion, pour les opérations culturales réalisées sur les quatre exploitations visitées (deux entreprises en grandes cultures et deux entreprises laitières) et qui consomment du diesel, le modèle a produit des résultats plus faibles que la consommation réelle de diesel des exploitations visitées. Ces écarts allaient de -48,1 % à -2,4 %. Pour le séchage des grains, l'écart entre les résultats du modèle et la consommation réelle des entreprises visitées allait de -24,0 % à +69,2.

3.2. Consommation liée aux productions animales : chauffage des bâtiments d'élevage

La modélisation de la consommation de propane pour le chauffage des bâtiments en productions porcine et avicole repose, tel que mentionné à l'annexe 2, sur l'utilisation de ratios fixes de consommation de propane en \$ par tête ou par kg d'animaux. Quatre entreprises ont été visitées pour tester ce volet du modèle, soit deux entreprises porcines et deux entreprises avicoles. Les tests ont été concentrés sur la consommation pour le chauffage, étant donné que ce poste est particulièrement important dans ces secteurs. La consommation totale de propane ainsi que le nombre de têtes d'animaux ont été relevés sur les exploitations. Le nombre d'animaux, dans le cas des porcins, et le nombre de kg de poulet dans le cas du secteur avicole ont ensuite été entrés dans le modèle pour obtenir une estimation de la consommation de propane ou de gaz naturel de l'exploitation.

Élevages porcins

En élevage porcin, deux exploitations ont été examinées pour tester le modèle. Les caractéristiques détaillées des exploitations sont présentées à l'annexe 4. La première exploitation est un élevage naisseur-finisser indépendant qui comporte trois bâtiments d'élevage, dont une maternité-pouponnière et deux bâtiments d'engraissement. La consommation de carburants et de combustibles est en grande majorité du gaz propane destiné au chauffage des bâtiments. La maternité-pouponnière est chauffée à l'aide de lampes infrarouges électriques et d'éleveuses au propane. Le premier bâtiment d'engraissement est chauffé à l'aide d'aérothermes et d'éleveuses au propane. Le deuxième bâtiment d'engraissement, quant à lui, n'est équipé d'aucun système de chauffage. L'élevage comporte 90 truies et a une capacité de 600 porcs à l'engraissement, avec un rythme de trois rotations par an. Selon les résultats du modèle, le chauffage est responsable d'une consommation totale de 9 833 litres de propane par an, pour une dépense estimée à 6 618 \$ (tableau 9). Par ailleurs, 55 % de la consommation de propane est destiné au chauffage de la maternité-pouponnière par du propane, alors que 45 % s'applique au chauffage du premier bâtiment d'engraissement.

TABLEAU 9 : ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE PROPANE DE L'EXPLOITATION PORCINE N° 1

Usage	Volume consommé (litres)	Dépenses (\$)
Chauffage des bâtiments – maternité et pouponnière	5 420	3 648
Chauffage des bâtiments – premier bâtiment d'engraissement	4 413	2 970
TOTAL	9 833	6 618

La seconde exploitation spécialisée en élevage porcin qui a été utilisée pour tester le modèle est un finisseur qui élève des animaux à forfait. L'engraissement des porcs se fait à partir de 30 kg jusqu'à la finition. L'exploitation comporte trois bâtiments d'engraissement chauffés à l'aide d'aérothermes au propane *LB White* ou de type équivalent. Seule la consommation de propane a été estimée sur cette exploitation, car la gestion du fumier se fait à l'aide de matériel totalement électrique. L'exploitation

agricole comporte également la production de grandes cultures et de lait, mais celle-ci n'a pas été incluse dans les calculs.

Le modèle évalue la consommation totale de propane à 14 821 litres, pour une dépense de 9 974 \$ (tableau 10).

TABLEAU 10 : ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE PROPANE DE L'EXPLOITATION PORCINE N° 2

Usage	Volume consommé (litres)	Dépenses (\$)
Chauffage des bâtiments	14 821	9 974

Pour la première exploitation, les dépenses de consommation réelles de propane pour l'année 2010 étaient de 7 780 \$, tandis que le résultat du modèle indique des dépenses de 6 618 \$. Pour la deuxième exploitation, la consommation de propane s'est élevée à environ 7 656 \$ en 2010, alors que le modèle a plutôt estimé celle-ci à 9 974 \$. Dans l'ensemble, nous avons donc constaté un écart allant de -14,9 % à 30,3 % entre les résultats du modèle et la consommation réelle en combustibles pour le chauffage des bâtiments sur les exploitations visitées.

Élevages avicoles

Deux exploitations avicoles ont été choisies pour tester le modèle. Dans les deux cas, le système de chauffage fonctionne au gaz naturel.

La première exploitation avicole, située en Montérégie, est un site d'élevage qui compte cinq poulaillers. Il fait partie d'un groupe qui comporte plusieurs sites de production situés dans des localités différentes. Le site a été étudié isolément du reste du groupe, car il possède une comptabilité propre, notamment en ce qui concerne les factures de consommation de carburants et de combustibles. Le groupe pratique également des grandes cultures et des protéagineux (maïs, blé, soya, maïs sucré, petits pois). Les opérations nécessaires à ces cultures n'ont toutefois pas été modélisées, notamment parce que plusieurs d'entre elles sont effectuées à l'aide d'équipements dont l'usage est partagé entre plusieurs sites du groupe. Pour cette exploitation, le modèle évalue la consommation de gaz naturel à 280 955 m³, ce qui correspond à une facture de 127 498 \$ (tableau 11).

TABLEAU 11 : ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE GAZ NATUREL DE L'EXPLOITATION AVICOLE N° 1

Usage	Volume consommé (m ³)	Dépenses* (\$)
Chauffage des bâtiments	280 955	127 498

(*) Calculées sur la base du prix moyen du gaz naturel payé par l'éleveur, relevé sur l'exploitation : 0,2039 \$/m³

La seconde exploitation possède au total 11 bâtiments d'élevage, répartis sur plusieurs sites, ainsi qu'un abattoir. Le test a été effectué sur un site comportant 2 bâtiments. La production est uniquement du poulet de chair. Le tableau 12 présente les résultats de la modélisation de cette exploitation. Le modèle estime une consommation de 118 498 m³ de gaz naturel, pour une dépense s'élevant à 33 784 \$.

TABLEAU 12 : ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE GAZ NATUREL DE L'EXPLOITATION AVICOLE N° 2

Usage	Volume consommé (m ³)	Dépenses* (\$)
Chauffage des bâtiments	118 498	33 784

(*) Calculées sur la base du prix moyen du gaz naturel payé par l'éleveur, relevé sur l'exploitation : 0,2851 \$/m³

Pour la première exploitation, les dépenses de consommation réelles de gaz naturel pour l'année 2009 étaient de 89 700 \$, tandis que le résultat du modèle indique des dépenses de 127 498 \$. Pour la seconde exploitation, les dépenses de consommation de gaz naturel se sont élevées à environ 50 726 \$ en 2011-2012, alors que le modèle a plutôt estimé celles-ci à 33 784 \$. Dans l'ensemble, nous avons donc constaté un écart allant de -33,4 % à 42,1 % entre les résultats du modèle et la consommation réelle en combustibles pour le chauffage des bâtiments sur les exploitations visitées.

Analyse

L'évaluation de la quantité de combustible utilisée pour le chauffage des espaces repose sur l'utilisation de données sur les dépenses moyennes en chauffage par animal, obtenues auprès du CDPQ (2011) et du CRAAQ (2008f). À la suite de la modélisation des deux entreprises porcines et des deux entreprises avicoles visitées, l'écart entre les résultats du modèle et la consommation réelle de l'entreprise allait de -33,4 % à +42,1 %.

3.3. Analyse du modèle

Bien qu'elles soient encourageantes, les comparaisons présentées ci-dessus ne permettent pas de tirer des conclusions statistiquement significatives quant à la précision des résultats du modèle puisqu'elles reposent sur l'évaluation d'un nombre limité de fermes (échantillon trop petit). Pour les productions végétales, le modèle utilise des algorithmes et des paramètres provenant de sources fiables et reconnues, mais ils ont été établis sur la base d'évaluations empiriques réalisées sur un certain nombre de fermes. Malgré les précautions prises dans la sélection des entreprises pour réaliser les tests, il est impossible de connaître leur degré d'écart par rapport à la moyenne des entreprises agricoles. Afin d'assurer la précision des résultats du modèle, il serait nécessaire de procéder à une évaluation plus approfondie, notamment avec un échantillon plus important d'entreprises agricoles.

Par ailleurs, certains producteurs sont plus rigoureux dans le suivi de la comptabilité de leurs exploitations et ont des connaissances plus profondes concernant les caractéristiques et les performances de leurs équipements, de sorte que la précision des données peut varier d'une entreprise à l'autre.

Les comparaisons effectuées nous indiquent néanmoins que le modèle peut estimer la consommation de carburants et de combustibles dans les divers usages réalisés sur des entreprises agricoles avec un certain degré de précision. **Une analyse plus poussée serait nécessaire afin d'identifier avec précision les sources des écarts.**

4. Définition des fermes types

Le premier objectif du projet étant d'évaluer la consommation de carburants et de combustibles par une ferme spécialisée dans l'un des quatre secteurs considérés, une méthodologie basée sur l'utilisation de fermes types a été mise de l'avant. Ces fermes types permettaient de travailler avec un cas jugé représentatif des fermes québécoises, bien qu'il soit évident que peu de fermes québécoises ressemblent en tous points aux fermes types développées dans le cadre de ce projet. Néanmoins, cette pratique est courante en analyse agroéconomique. Par exemple, la Environmental Protection Agency (EPA) utilise le modèle *Concentrated Animal Feeding Operations* pour l'analyse coûts-avantages des réglementations environnementales. Cette approche permet de parvenir efficacement à des constats sur un ensemble en portant l'analyse sur un nombre limité de cas représentatifs de cet ensemble. La représentativité des fermes types évaluées dans le présent mandat a été assurée en combinant des données provenant de la littérature avec des informations fournies par des représentants des fédérations spécialisées de l'UPA concernées. Les caractéristiques finales des fermes types ont été validées par ces dernières.

Selon le secteur étudié, un ou deux modèles de fermes types ont donc été bâtis, et la consommation de chacune de ces fermes a été calculée grâce au modèle. Les caractéristiques des fermes types reposent sur un certain nombre d'hypothèses qui se posent en termes de taille, de rendement, de régie culturale, d'équipement et de type de cultures pratiquées. Ces hypothèses ont été établies à partir de sources diverses. Les budgets et les documents techniques publiés par le CRAAQ (2008a; 2008b; 2008c; 2008d; 2008e; 2008f; 2009a; 2009b; 2010; 2012a; 2012b) ont servi de base pour identifier les usages consommateurs de carburants et de combustibles devant être modélisés. Des échanges avec des membres de l'IRDA et plusieurs intervenants des fédérations spécialisées de l'UPA pour les secteurs concernés ont permis de compléter et de valider cette liste d'usages. Ces sources ont également été utilisées pour déterminer un parc d'équipement type pour chacune des fermes. Lorsque cela s'est avéré nécessaire, les informations recueillies auprès des exploitations tests ont également été utilisées pour faire des hypothèses réalistes quant au choix d'équipement ou au temps de travail consacré à chaque opération.

Par ailleurs, le parc de tracteurs utilisé sur les exploitations est un facteur important dans le calcul de la consommation, puisque la consommation de carburants et de combustibles varie en fonction de la puissance et du type de traction du tracteur utilisé. En moyenne, une exploitation au Québec compte 3,8 tracteurs (Statistique Canada, 2011). À partir de ces données de base, des hypothèses au sujet de la puissance et du type de traction des tracteurs présents sur l'exploitation ont été faites pour chacun des secteurs étudiés.

Pour l'ensemble des fermes types, nous avons posé l'hypothèse que les cultures étaient pratiquées sur un sol de type loameux.

Les prochaines sections présentent les principales hypothèses utilisées dans la construction des fermes types. Le parc d'équipements retenu pour chacune des fermes types est inclus de façon plus détaillée dans l'annexe 7.

Fermes types en grandes cultures

Deux fermes types ont été établies pour le secteur des grandes cultures. Les rendements moyens en production de grandes cultures ont été établis à partir de Beauregard (2009), alors que les superficies cultivées ont été déterminées à la suite d'échanges avec des représentants de la FPCCQ. Le tableau 13 présente les deux modèles de fermes types retenus en grandes cultures.

TABLEAU 13 : HYPOTHÈSES DE CULTURES PRATIQUÉES ET SUPERFICIES

Cultures pratiquées sur la ferme type	Superficie (ha)
Ferme type A : Ferme spécialisée en maïs-grain et soya	
Maïs-grain	175
Soya	115
Blé	20
Orge	20
Total	330
Ferme type B: Ferme spécialisée en céréales	
Orge	100
Avoine	100
Blé	50
Canola	50
Total	300

Les détails concernant le parc de tracteurs, les opérations culturales pratiquées ainsi que les équipements utilisés autres que les tracteurs sont présentés à l'annexe 7.

Ferme type en production porcine

Plusieurs données techniques concernant la ferme type en production porcine ont été établies par la FPPQ, notamment le nombre d'animaux et le nombre de bâtiments d'élevage. Les budgets publiés par le CRAAQ (2008e) ont permis de déterminer les superficies cultivées, alors que les rendements ont été obtenus grâce au CRAAQ (2009a et 2009b).

La ferme porcine type retenu dans le cadre de ce mandat est un système naisseur-finisser qui comporte trois bâtiments : un bâtiment avec une fosse pour la maternité-pouponnière, ainsi que deux bâtiments avec chacun leur fosse pour la finition des porcs. Les deux bâtiments d'engraissement ont une capacité de 1 000 porcs chacun. Trois élevages par an sont pratiqués, ce qui correspond à la sortie de 6 000 porcs finis par année. Le bâtiment maternité et pouponnière héberge 300 truies et environ 1 000 porcelets.

La ferme porcine type possède 266 hectares de terres en cultures où elle produit du maïs, du soya et de l'orge destinés à l'alimentation du bétail. Toutefois, une part des fermes porcines québécoises ne pratique aucune culture. Les détails de la production de l'exploitation ainsi que de l'équipement présent sur la ferme sont présentés à l'annexe 7.

Ferme type en production avicole

Les Éleveurs de volailles du Québec ont fourni la plupart des données nécessaires pour définir la ferme type en production avicole, spécialisée en production de poulets de chair. Celle-ci comporte trois poulaillers d'une capacité de 15 000 oiseaux chacun. Les bâtiments possèdent un étage s'étendant sur une superficie de 200 m² et sont chauffés par un système d'aérothermes fonctionnant au propane.

La production annuelle de l'exploitation est de près de 300 000 oiseaux, soit 100 000 oiseaux par poulailler. Deux options ont par ailleurs été considérées : 1) l'exploitation ne dispose d'aucune terre en culture et 2) l'exploitation cultive 50 hectares destinés à la production de maïs pour l'alimentation des volailles. Les caractéristiques détaillées de l'exploitation type avicole sont présentées à l'annexe 7.

Ferme type en production laitière

En production laitière, la taille de l'exploitation type a été établie grâce à des données provenant des recensements agricoles de Statistiques Canada (2012a), et le mode de stabulation a été défini à partir des données du MAPAQ (2009). Les superficies cultivées et les rendements ont, quant à eux, été établis par des représentants de la FPLQ sur la base des données fournies par l'enquête de Groupe AGÉCO (2011).

La ferme laitière type comporte 60 vaches en lactation, en stabulation entravée, pour un total de plus de 110 têtes de bétail présentes sur l'exploitation. Des cultures fourragères sont pratiquées sur 91 hectares, principalement afin de fournir une partie de l'alimentation du bétail. Les principales cultures sont du foin sec et du foin ensilage, ainsi que de l'orge. La ferme produit également un peu de maïs-grain et de maïs fourrager.

L'exploitation possède un parc de machinerie, trois tracteurs ainsi qu'une camionnette à essence destinée aux transports quotidiens et une génératrice au diesel. Elle ne pratique pas de travaux à forfait. L'étable et la laiterie fonctionnent pour la plus grande partie à l'électricité. Seul le chauffe-eau, destiné notamment au chauffage de l'eau utilisée pour nettoyer les équipements de traite, fonctionne au propane. Le détail du cheptel, des superficies cultivées et des équipements utilisés figure à l'annexe 7.

La prochaine section présente les résultats découlant de l'application du modèle aux fermes types présentées ci-dessus.

5. Portrait de la consommation de carburants et de combustibles à la ferme

Les sections suivantes présentent les résultats de l'application du modèle de consommation de carburants et de combustibles aux fermes types présentées au chapitre précédent. Pour chacun des usages modélisés, les informations suivantes sont fournies : les volumes de carburant ou de combustible consommés, les coûts d'achat de ces volumes, la part des dépenses totales en carburants et en combustibles de chacun des usages. Enfin, les dépenses énergétiques associées à chacun des usages sont projetées à l'horizon 2035 afin de visualiser leur évolution prochaine.

Les prix du diesel et de l'essence ordinaire sont les prix moyens pour l'année 2010 dans l'ensemble du Québec et ont été obtenus auprès de la Régie de l'énergie du Québec. Le prix du propane, quant à lui, provient de ÉcoRessources Consultants et d'EcoTec Consultants (2012) (tableau 14). Dans le cas du diesel, son utilisation dans le cadre d'une activité agricole permet au producteur d'obtenir un remboursement de la taxe provinciale sur les carburants. En 2010 (l'année de référence), cette taxe était établie à 0,162 \$ par litre (Revenu Québec, 2012), et ce montant a donc été soustrait du prix moyen du diesel.

TABEAU 14 : PRIX D'ACHAT DES CARBURANTS ET DES COMBUSTIBLES UTILISÉS POUR LA MODÉLISATION, 2010

Carburant ou combustible	Prix d'achat (2010)
Diesel	0,899 \$/litre
Essence	1,059 \$/litre
Propane	0,673 \$/litre

Sources : Régie de l'énergie du Québec (2011b et 2011d); ÉcoRessources Consultants et EcoTec Consultants (2012).

En 2010, le prix du baril de pétrole brut a été en moyenne de 78 \$. En retenant une projection de 116 \$/baril (moyenne des projections du ministère canadien des Ressources naturelles, du *U. S. Energy Information Administration* (EIA) et de l'Agence internationale de l'énergie), nous obtenons une hausse de 38 \$/baril (+48,7 %) au cours des 25 prochaines années, soit une hausse annuelle moyenne de 1,60 % (ÉcoRessources Consultants et EcoTec Consultants, 2012). Cette hausse moyenne a été appliquée aux prix de l'essence et du diesel. En l'absence de prévisions pour le prix du propane, nous avons posé l'hypothèse qu'il augmentera dans la même proportion que le prix du gaz naturel entre 2010 et 2035. En considérant la moyenne des projections de RNCan et de EIA, nous obtenons une hausse annuelle moyenne de 4,7 % au cours des 25 prochaines années⁵. Cette hypothèse est la même que celle utilisée dans ÉcoRessources Consultants et EcoTec Consultants (2012). Les prévisions de prix des sources d'énergie utilisées dans ce mandat sont présentées au tableau 15⁶.

⁵ La hausse annuelle moyenne observée au cours de la période 1990-2010 était de 6,04 % (ÉcoRessources Consultants et EcoTec Consultants, 2012).

⁶ Les prévisions des prix des sources d'énergie étant sujettes à de nombreuses incertitudes, les organisations qui les publient réévaluent fréquemment celles-ci, de manière à tenir compte des dernières informations pertinentes. Les prévisions présentées ici sont les estimations les plus récentes qui étaient disponibles au moment de réaliser nos calculs.

TABLEAU 15 : PRIX D'ACHAT DES CARBURANTS ET DES COMBUSTIBLES UTILISÉS POUR LA MODÉLISATION, 2035

Carburant ou combustible	Augmentation annuelle moyenne	Prix d'achat (2035)
Diesel	1,60 %	1,34 \$/litre
Essence	1,60 %	1,58 \$/litre
Propane	4,70 %	2,12 \$/litre

Source : ÉcoRessources Consultants et EcoTec Consultants (2012)

5.1. Fermes types en grandes cultures

Le tableau 16 présente les résultats de la consommation de carburants et de combustibles dans la ferme type A, spécialisée en maïs-soya.

TABLEAU 16 : CONSOMMATION PAR TYPE D'USAGE POUR L'EXPLOITATION TYPE A – SPÉCIALISÉE EN MAÏS-SOYA

	Volume consommé (litres)	Dépenses en 2010 (\$)	Répartition des dépenses en 2010 (%)	Prévisions des dépenses en 2035 (\$)
Préparation du sol – automne	6 354	5 713	11,7	8 515
Préparation du sol – printemps	1 241	1 115	2,3	1 663
Semis	1 662	1 495	3,1	2 228
Contrôle des ennemis des cultures	338	304	0,6	453
Fertilisation	783	704	1,4	1 049
Récolte des grains	5 537	4 978	10,2	7 420
Transport	969	871	1,8	1 298
Autres usages*	871	783	1,6	1 167
Total diesel	17 755	15 962	32,8	23 792
Camions de ferme	1 500	1 589	3,3	2 370
Total essence	1 500	1 589	3,3	2 370
Séchage	46 200	31 093	63,9	97 944
Total propane	46 200	31 093	63,9	97 944
Total	n. d.	48 643	100,0	124 106

* Autres usages : remplissage et vidange du silo pour le blé, le maïs-grain, l'orge et le soya.

La consommation totale en carburants et en combustibles de l'exploitation s'élève à 48 643 \$ en 2010. La consommation de propane, utilisé uniquement pour le séchage du maïs, représente à elle seule plus de 60 % des dépenses en carburants et en combustibles de l'exploitation. Parmi les usages nécessitant

du diesel, l'usage de la charrue est le plus énergivore puisqu'il compte à lui seul pour 12 % de la consommation totale de l'exploitation, alors que la récolte des grains occupe 10 % de celle-ci. On constate également que, en 2035, les dépenses de l'exploitation A pourraient s'élever à près de 125 000 \$, soit une augmentation d'environ 150 % par rapport à 2010. Celle-ci est due principalement à la hausse du prix du propane, qui accaparerait, alors, environ 79 % des dépenses totales en énergie de l'entreprise.

Le tableau 17 présente la consommation en carburants et en combustibles de la ferme type B, spécialisée en céréales.

TABLEAU 17 : CONSOMMATION EN CARBURANTS ET EN COMBUSTIBLES DANS L'EXPLOITATION TYPE B – CÉRÉALES (BLÉ, AVOINE, ORGE ET CANOLA)

	Volume consommé (litres)	Dépenses en 2010 (\$)	Répartition des dépenses en 2010 (%)	Prévisions des dépenses en 2035 (\$)
Préparation du sol – automne	5 777	5 193	34,8	7 741
Préparation du sol – printemps	1 128	1 014	6,8	1 511
Semis	932	838	5,6	1 249
Contrôle des ennemis des cultures	320	287	1,9	428
Fertilisation	862	775	5,2	1 155
Récolte des grains	4 557	4 097	27,5	6 107
Transport	569	512	3,4	762
Autres usages	682	613	4,1	913
Total diesel	14 826	13 328	89,4	19 866
Camions de ferme	1 500	1 589	10,6	2 370
Total essence	1 500	1 589	10,6	2 370
Total	n. d.	14 917	100,0	22 236

* Autres usages : remplissage et vidange du silo pour le blé, l'avoine, l'orge et le canola.

Le montant total de la consommation de carburants et de combustibles en 2010 s'élève à 14 917 \$. Sur l'exploitation, il n'y a pas de consommation de propane, car le séchage des grains n'est pas pratiqué. Par conséquent, la quasi-totalité de la consommation de carburants et de combustibles provient de l'utilisation du diesel pour effectuer les opérations aux champs. En l'absence de séchage, la part de la consommation d'énergie destinée au fonctionnement de la charrue est encore plus importante, celle-ci occupant 35 % de la consommation totale de l'exploitation. La récolte, quant à elle, accapare 28 % de la consommation totale de carburant de l'entreprise. En 2035, les dépenses en carburants de l'exploitation B pourraient croître d'environ 50 % pour atteindre un peu plus de 22 000 \$. L'absence de propane sur l'exploitation explique le fait que cette hausse soit moins importante que celle observée sur l'exploitation A.

5.2. Ferme type en élevage laitier

Le tableau 18 présente les résultats de la consommation de carburants et de combustibles sur la ferme type laitière.

TABLEAU 18 : CONSOMMATION EN CARBURANTS ET EN COMBUSTIBLES DANS L'EXPLOITATION TYPE EN PRODUCTION LAITIÈRE

	Volume consommé (litres)	Dépenses en 2010 (\$)	Répartition des dépenses en 2010 (%)	Prévisions des dépenses en 2035 (\$)
Préparation du sol – automne	906	815	8,0	1 215
Préparation du sol – printemps	140	126	1,2	188
Semis	267	240	2,4	358
Contrôle des ennemis des cultures	54	48	0,5	72
Fertilisation	487	438	4,3	652
Fenaison	1 479	1 565	13,0	2 337
Récolte des grains	485	436	4,3	650
Transport des grains	72	65	0,6	97
Transport des fourrages	794	713	7,0	1 063
Ensilage du maïs	238	214	2,1	319
Génératrice	700	629	6,2	938
Autres usages*	74	66	0,6	99
Total diesel	5 696	6 026	50,1	8 999
Camions de ferme	1 500	1 598	13,3	2 370
Total essence	1 500	1 589	13,3	2 370
Séchage	2 904	1 954	16,3	6 156
Chauffage de l'eau (laiterie)	3 635	2 446	20,3	7 706
Total propane	6 539	4 401	36,6	13 863
Total	n. d.	12 024	100,0	25 232

* Autres usages : remplissage et vidange du silo pour le maïs-grain et l'orge.

La consommation totale de l'exploitation en carburants et en combustibles s'élève à 12 024 \$ par an. Le propane utilisé pour le séchage des grains et le chauffage de l'eau occupe 37 % des dépenses en carburants et en combustibles, alors que le diesel consommé pour les opérations culturales représente 50 % de celles-ci. Parmi les usages nécessitant du diesel, les opérations de fenaison (récolte des fourrages) sont les plus énergivores et représentent 13 % des dépenses totales de l'exploitation, suivies des opérations de préparation des sols qui occupent près de 9 % de celles-ci.

La fenaison se décline en plusieurs opérations (fauchage, fanage, andainage, pressage) et est réalisée deux fois par année sur la ferme type⁷, ce qui permet d'expliquer son importance dans les dépenses en carburants et en combustibles de l'entreprise.

L'évolution des prix de l'énergie pourrait mener à des dépenses d'un peu plus de 25 000 \$ en 2035 sur l'exploitation laitière type, soit une hausse d'environ 110 %. L'utilisation de propane pour sécher les grains et chauffer l'eau explique en bonne partie cette hausse, et les dépenses en propane pourraient occuper plus de la moitié des dépenses totales en 2035.

⁷ Plusieurs entreprises québécoises peuvent réaliser jusqu'à trois récoltes de fourrages par année.

5.3. Ferme type en élevage porcin

Le tableau 19 présente les résultats de la consommation de carburants et de combustibles dans la ferme type porcine.

TABLEAU 19 : CONSOMMATION EN CARBURANTS ET EN COMBUSTIBLES DANS L'EXPLOITATION TYPE EN PRODUCTION PORCINE

	Volume consommé (litres)	Dépenses en 2010 (\$)	Répartition des dépenses en 2010 (%)	Prévisions des dépenses en 2035 (\$)
Préparation du sol – automne	5 122	4 605	6,5	6 863
Préparation du sol – printemps	1 072	964	1,4	1 436
Semis	1 424	1 280	1,8	1 908
Contrôle des ennemis des cultures	234	211	0,3	314
Fertilisation	1 036	931	1,3	1 388
Récolte des grains	4 466	4 015	5,6	5 985
Transport	949	853	1,2	1 271
Génératrice	700	629	0,9	938
Brassage des lisiers	1 315	1 182	1,7	1 762
Autres usages*	699	628	0,9	937
Total diesel	17 017	15 299	21,5	22 803
Camions de ferme	2 500	2 648	3,7	3 950
Total essence	2 500	2 648	3,7	3 950
Séchage	46 464	31 270	43,9	98 504
Chauffage des bâtiments – maternité et pouponnière	18 067	12 159	17,1	38 302
Chauffage des bâtiments – engraissement	14 710	9 900	13,9	31 186
Total propane	79 241	53 329	74,8	167 991
Total	n. d.	71 275	100,0	194 744

* Autres usages : remplissage et vidange du silo pour le maïs-grain, l'orge et le soya.

La consommation totale de l'exploitation en carburants et en combustibles s'élève à 71 275 \$ par an. Le diesel utilisé pour les opérations culturales représente environ le quart des dépenses en carburants et en combustibles, alors que le propane représente plus de 70 % de celles-ci. La consommation de propane est principalement destinée au séchage des grains (44 % des dépenses totales), le reste étant utilisé pour le chauffage des bâtiments. Le séchage est donc le principal usage consommateur de propane sur cette entreprise, devant le chauffage. Parmi les usages nécessitant du diesel, l'utilisation de la charrue demeure le plus énergivore et représente 7 % des dépenses totales de l'exploitation.

En 2035, les dépenses totales de l'exploitation porcine type en carburants et combustibles pourraient s'élever à environ 195 000 \$, ce qui représente une hausse importante d'environ 175 % en comparaison à 2010. La part importante occupée par le propane dans les dépenses énergétiques de l'exploitation explique en grande partie cette hausse. Par ailleurs, la part du propane dans ces dépenses pourrait alors passer de 70 % à plus de 85 %.

5.4. Ferme type en élevage avicole

Le tableau 20 présente les résultats de la consommation de carburants et de combustibles sur la première ferme type avicole, qui ne réalise aucune production végétale.

TABLEAU 20 : CONSOMMATION EN CARBURANTS ET EN COMBUSTIBLES DANS L'EXPLOITATION TYPE EN PRODUCTION AVICOLE – CAS SANS CULTURE DE MAÏS

	Volume consommé (litres)	Dépenses en 2010 (\$)	Répartition des dépenses en 2010 (%)	Prévisions des dépenses en 2035 (\$)
Nettoyage des bâtiments	584	525	1,3	783
Gestion et entreposage du fumier	2 024	1 819	4,5	2 712
Génératrice	700	629	1,5	938
Total diesel	3 308	2 974	7,3	4 432
Camions de ferme	1 500	1 598	3,9	2 370
Total essence	1 500	1 589	3,9	2 370
Chauffage des poulaillers	53 784	36 197	87,7	114 023
Total propane	53 784	36 197	88,8	114 023
Total	n. d.	40 759	100,0	120 825

Sans culture de maïs, les dépenses de consommation totales en carburants et en combustibles de l'exploitation avicole s'élèvent à 40 759 \$ par an. La consommation de diesel représente 7 % des dépenses en carburants et en combustibles, alors que le propane représente 89 % de celles-ci. En 2035, ces dépenses totales pourraient atteindre 121 000 \$, soit une hausse de près de 200 %, qui est largement expliquée par l'augmentation du prix du propane.

Le tableau 21 présente la consommation de carburants et de combustibles sur la seconde ferme type avicole, qui produit du maïs sur 50 hectares.

TABEAU 21 : CONSOMMATION EN CARBURANTS ET EN COMBUSTIBLES DANS L'EXPLOITATION TYPE EN PRODUCTION AVICOLE – CAS AVEC CULTURE DE MAÏS

	Volume consommé (litres)	Dépenses en 2010 (\$)	Répartition des dépenses en 2010 (%)	Prévisions des dépenses en 2035 (\$)
Préparation du sol – automne	960	863	1,7	1 286
Préparation du sol – printemps	154	139	0,3	207
Semis	255	229	0,4	341
Contrôle des ennemis des cultures	197	177	0,3	264
Transport des grains	197	177	0,3	263
Nettoyage des poulaillers	584	525	1,0	783
Gestion et entreposage du fumier	2 024	1 819	3,5	2 712
Génératrice	700	629	1,2	938
Autres usages*	223	200	0,4	299
Total diesel	5 294	4 759	9,3	7 094
Camions de ferme	1 500	1 598	3,1	2 370
Total essence	1 500	1 589	3,1	2 370
Séchage	13 200	8 884	17,3	27 984
Chauffage des bâtiments	53 784	36 197	70,4	114 023
Total propane	66 984	45 080	87,7	142 007
Total	n. d.	51 428	100,0	151 471

* Autres usages : remplissage et vidange du silo pour le maïs-grain.

Dans le second cas, avec culture de maïs, les dépenses de consommation totales de l'exploitation en carburants et en combustibles s'élèvent à 51 428 \$ par an. La consommation de diesel pour les opérations culturales représente 9 % de ces dépenses⁸, alors que le propane compte pour 88 %. Le chauffage des bâtiments représente 70 % des dépenses totales en carburants et en combustibles de l'exploitation, alors que le séchage des grains occupe 17 % de ces dépenses. Enfin, les dépenses de l'entreprise en 2035 pourraient s'élever à un peu plus de 150 000 \$, représentant une hausse d'environ 195 % par rapport à 2010.

⁸ Aucun carburant n'est consommé pour la récolte des grains puisque cette opération est réalisée à forfait.

5.5. Synthèse de la consommation de carburants et de combustibles sur les fermes types

Le tableau 22 présente une synthèse des usages accaparant une part significative des dépenses en carburants et combustibles dans les secteurs de production étudiés.

TABLEAU 22 : SYNTHÈSE DES USAGES ÉNERGIVORES DANS LES SECTEURS DE PRODUCTION À L'ÉTUDE

Secteur de production	Principaux usages consommateurs de carburants et de combustibles* et part des dépenses totales en carburants et combustibles
Grandes cultures	<p><u>Ferme spécialisée en maïs-soya :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Préparation du sol – automne : 11,7 % • Récolte des grains : 10,2 % • Séchage : 63,9 % <p><u>Ferme spécialisée en céréales :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Préparation du sol – automne : 34,8 % • Semis : 5,6 % • Récolte des grains : 27,5 % • Camions de ferme : 10,6 %
Laitier	<ul style="list-style-type: none"> • Préparation du sol – automne : 7,4 % • Fenaison : 11,0 % • Transport des fourrages : 6,5 % • Génératrice : 5,7 % • Camions de ferme : 14,4 % • Séchage : 17,8 % • Chauffage de l'eau : 22,3 %
Porcin	<ul style="list-style-type: none"> • Préparation du sol – automne : 6,5 % • Récolte des grains : 5,6 % • Séchage : 43,9 % • Chauffage des bâtiments – maternité-pouponnière : 17,1 % • Chauffage des bâtiments – engraissement : 13,9 %
Avicole	<p><u>Cas sans maïs :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Chauffage des bâtiments : 87,7 % <p><u>Cas avec maïs :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Chauffage des bâtiments : 70,4 % • Séchage des grains : 17,3 %

* Usages représentant au moins 5 % des dépenses totales en carburants et combustibles sur la ferme type.

Les résultats présentés au tableau 22 découlent directement des hypothèses utilisées dans la construction des fermes types, présentées à la section 3 et à l'annexe 7. **Ce faisant, ils ne représentent pas la situation de toutes les entreprises agricoles spécialisées dans ces secteurs de production.** Néanmoins, ces résultats permettent de tirer plusieurs constats sur la consommation énergétique des fermes du Québec :

- Dans un premier temps, les usages générateurs de chaleur, en particulier le chauffage des bâtiments et le séchage des grains, accaparent une proportion importante des dépenses énergétiques des entreprises agricoles sur lesquelles on les retrouve. C'est le cas notamment des entreprises avicoles et porcines, et des entreprises spécialisées en grandes cultures qui font sécher une quantité importante de grains.
- Certaines opérations culturales, notamment le travail automnal du sol (labour) et la récolte des grains, s'avèrent être des usages importants dans la consommation énergétique des fermes, particulièrement en l'absence d'usages générateurs de chaleur, comme sur la ferme type en grandes cultures spécialisée en céréales.
- La ferme laitière se démarque par une répartition plus équilibrée des dépenses en carburants et combustibles entre les usages agricoles. On remarque par ailleurs que les opérations liées à la fenaison et au transport des fourrages peuvent accaparer une part significative des dépenses énergétiques de l'entreprise. Ceci s'explique par le fait que les fourrages sont récoltés deux (parfois trois) fois par saison, et que les volumes récoltés sont généralement importants, de sorte que leur transport peut s'avérer très énergivore. Enfin, le chauffage de l'eau peut également être responsable d'une proportion importante des dépenses en carburants et combustibles lorsqu'il est réalisé au moyen de propane.

5.6. Consommation de carburants et de combustibles pour l'ensemble des secteurs de production étudiés

La présente section vise à évaluer la consommation de carburants et de combustibles à l'échelle de la province québécoise dans les secteurs de production visés. Pour ce faire, une extrapolation des résultats provenant de l'application du modèle aux fermes types a été réalisée. Les résultats de cette approche offrent une indication de la consommation attribuable aux différents usages agricoles réalisés sur les fermes de la province. **En raison des hypothèses sur lesquelles repose cette approche, elle comporte une marge d'erreur importante dont le lecteur doit être conscient.**

5.6.1 Grandes cultures et cultures fourragères

La consommation de diesel calculée pour chaque opération culturale sur les fermes types spécialisées en production de grandes cultures et en production laitière (pour les fourrages) a été rapportée à l'échelle d'un hectare, et ce, pour chacune des cultures prises en considération.

Ceci a permis d'évaluer la consommation de carburants et de combustibles par hectare, par type d'usage et par culture. Ces résultats ont ensuite été extrapolés à l'échelle provinciale en les multipliant par les superficies totales récoltées en 2011 sur l'ensemble du territoire du Québec (ISQ, 2012a) pour chaque culture visée.

Enfin, les résultats de ces extrapolations ont été comparés à des données tirées de la littérature lorsque celles-ci étaient disponibles. Ainsi, pour les grandes cultures, les données sur la consommation de diesel coloré par hectare présentées dans CECPA (2011) sont extrapolées de la même façon, soit en les multipliant par les superficies totales récoltées en 2011 sur l'ensemble du territoire du Québec (ISQ, 2012a) pour chaque culture visée. Les résultats sont présentés au tableau 23.

TABLEAU 23 : CONSOMMATION DE DIESEL POUR LES PRINCIPALES PRODUCTIONS VÉGÉTALES, QUÉBEC, 2011, EN LITRES*

	Extrapolation des résultats de la modélisation	Extrapolation des données de CECPA (2011)
Grandes cultures		
Avoine	3 983 260	4 884 681
Blé	1 961 716	2 345 290
Canola	826 136	1 121 292
Maïs-grain	18 783 009	25 956 257
Orge	3 763 350	4 737 710
Soya	13 221 657	15 504 029
Total grandes cultures	42 539 128	54 549 259
Fourrages		
Foin sec	10 832 109	n. d.
Ensilage d'herbe	12 767 846	n. d.
Maïs fourrager	4 823 580	n. d.
Total fourrages	28 423 535	n. d.
Total grandes cultures et fourrages	70 962 664	n. d.

* En 2011, 353 500 hectares de maïs-grain, 42 400 hectares de blé, 79 000 hectares d'orge, 89 000 hectares d'avoine, 299 000 hectares de soya, 17 000 hectares de canola, 830 000 hectares de foin (divisés également entre le foin sec et l'ensilage d'herbe) et 58 500 hectares de maïs fourrager ont été cultivés au Québec (ISQ, 2012a).

Les données présentées au tableau précédent démontrent que près de 60 % de la consommation de diesel pour la production de grandes cultures et de cultures fourragères seraient dus à la production de grandes cultures. Ces résultats offrent une indication de ce à quoi ressemblerait la consommation de diesel dans ces secteurs de production si toutes les entreprises concernées étaient similaires aux fermes types évaluées dans le présent mandat. Ces résultats doivent donc être pris avec un certain recul puisqu'ils ne permettent pas de refléter certaines pratiques mises en œuvre par plusieurs producteurs agricoles, telles que le semis direct, qui permet d'éviter le passage de la charrue.

Pour le séchage du maïs-grain, une seule ferme type était concernée et elle a consommé en moyenne 29,7 litres de propane par tonne de maïs. La production totale de maïs-grain à l'échelle provinciale en 2011 était évaluée à 2,93 millions de tonnes (ISQ, 2012a). Or, aucune estimation de la part de cette production qui a nécessité du séchage n'a pu être obtenue. Il nous a donc été impossible d'évaluer la consommation totale liée au séchage des grains.

5.6.2 Bâtiments d'élevage laitier, porcin et avicole

En production laitière, les principaux usages consommant des carburants ou des combustibles sont liés aux cultures (grandes cultures et cultures fourragères). Seuls quelques usages peuvent reposer sur l'utilisation de combustibles, tels que le chauffage de l'eau. Toutefois, cette pratique n'est pas généralisée dans les entreprises laitières. Pour cette raison, aucune extrapolation spécifique pour les usages réalisés dans les bâtiments d'élevage de bovins laitiers ne s'avère nécessaire.

Pour les bâtiments d'élevage porcin et avicole, seul le chauffage a été extrapolé à l'échelle provinciale, les autres usages consommateurs de carburants et de combustibles s'avérant soit marginaux en termes de consommation énergétique, soit non généralisés dans les entreprises.

Pour effectuer cette extrapolation, les données sur la consommation moyenne de propane par truie et par porc (CDPQ, 2011) ont été respectivement multipliées par le nombre de truies (360 000) et le nombre de porcs de plus de 20 kg (2 397 600) au Québec en 2011 (ISQ, 2012b). Une approche similaire a été préconisée pour les bâtiments d'élevage avicoles : une dépense moyenne de consommation pour le chauffage de 7,5 cents par kg de poulet (CRAAQ, 2008f) a été multipliée par la production totale réalisée au Québec en 2009, à savoir 280 millions de kg (MAPAQ, 2011). Les résultats sont présentés aux tableaux 24 et 25.

TABLEAU 24 : CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE CHAUFFAGE DES BÂTIMENTS PORCINS, QUÉBEC, 2011

Secteur de production	Dépense moyenne en propane (CDPQ, 2011)	Dépense en propane à l'échelle de la province (\$)	Consommation de propane à l'échelle de la province (L)*
Production porcine – maternité	40,53 \$/truie	14 590 800	21 680 238
Production porcine – engraissement	1,65 \$/porc	3 956 040	5 878 217
TOTAL		18 546 840	27 558 455

* Nous avons utilisé un prix de 0,673 \$/L pour faire la conversion.

TABLEAU 25 : CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE CHAUFFAGE DES BÂTIMENTS AVICOLES, QUÉBEC, 2009

Secteur de production	Dépense moyenne pour le chauffage (CRAAQ, 2008f)	Dépense pour le chauffage à l'échelle de la province (\$)	Consommation de propane à l'échelle de la province (L)*
Production avicole	0,075 \$/kg de poulet	21 000 000	31 203 566

* Nous supposons que cette consommation porte uniquement sur du propane, et nous avons utilisé un prix de 0,673 \$/L pour faire la conversion.

L'ensemble de ces résultats peuvent être comparés à la consommation totale de carburants et de combustibles fossiles réalisée par le secteur agricole québécois. En 2008, environ 263 millions de litres de diesel et 110 millions de litres de propane ont été consommés par le secteur (OEE, 2012; nos calculs).

6. Potentiel d'optimisation de la consommation de carburants et de combustibles et plages idéales de consommation par type d'usage

Après avoir modélisé la consommation de carburants et de combustibles par type d'usage sur les fermes types dans les quatre secteurs de production à l'étude, la seconde étape du projet visait à élaborer des recommandations permettant d'optimiser cette consommation. Pour ce faire, l'incidence de certains choix de gestion faits par les producteurs sur la consommation de carburants ou de combustibles a été évaluée. De nombreuses technologies offrent aux producteurs la possibilité de réduire leur consommation de carburants et combustibles sur les exploitations. La présente étude ne vise pas à réaliser une analyse exhaustive de l'ensemble des technologies existantes, mais plutôt à se concentrer sur l'analyse d'un petit nombre de mesures possibles. Ainsi, nous avons volontairement laissé hors du champ de l'étude des technologies telles que le séchage au crib, les systèmes de récupération de chaleur dans les élevages laitiers, la culture sur billon, ou encore l'utilisation de murs solaires dans les poulaillers. Les mesures retenues pour l'analyse sont présentées en détail ci-après. Ces analyses ont ensuite permis d'évaluer le potentiel total de réduction de la consommation de carburants ou de combustibles sur les fermes types. Les méthodologies et sources d'informations utilisées pour y parvenir sont également présentées dans les sections suivantes.

6.1. Démarche utilisée et mesures testées

6.1.1 Usages liés aux productions végétales : opérations au champ et séchage des grains

Pour les productions végétales, le modèle développé durant la première étape du mandat permettait de tester différents scénarios menant à des réductions de la consommation de carburants et de combustibles par rapport au scénario de référence, c'est-à-dire la consommation des fermes types telle que présentée à la section 5. Afin de définir les mesures de réduction à tester, les paramètres pouvant être modifiés sur le modèle ont d'abord été identifiés : pratiques agricoles, puissance des tracteurs, profondeur de travail, caractéristiques des équipements agricoles (p. ex., largeur de la charrue, capacité des épandeurs) et temps de travail. Il est à noter que le modèle n'inclut pas une prise en compte exhaustive de toutes les technologies existantes, et que par conséquent certaines sont absentes de la modélisation. Par exemple, des technologies telles que le séchage en crib, les systèmes de récupération de chaleur dans les laiteries, les murs solaires, le Polymair, etc. sont exclues.

Par la suite, divers intervenants ont été consultés afin de définir les variations pouvant être appliquées à ces paramètres, en tenant compte des contraintes auxquelles font face les producteurs agricoles.

La modification de la profondeur de travail avait été envisagée initialement comme variable à considérer dans les analyses de sensibilité. En effet, d'une manière générale, plus la profondeur de travail d'un équipement donné est réduite, plus la consommation de carburant de cet équipement diminue. Par exemple, lorsque, dans le modèle, on applique une réduction de cinq centimètres à la profondeur de labour (de 15 cm à 10 cm) sur les fermes types en grandes cultures, cela permet des économies de consommation de diesel l'ordre de 7 % à 8 % pour l'ensemble du diesel consommé sur l'exploitation.

Toutefois, la profondeur de travail n'a pas été retenue comme variable lors de la réalisation des analyses de sensibilité. La raison est que les producteurs ont peu de marge de manœuvre sur la profondeur de travail à appliquer avec un équipement donné. Tout d'abord, le choix d'une profondeur pour réaliser un travail de préparation du sol dépend en priorité de facteurs agronomiques. De plus, celle-ci varie selon le modèle et les caractéristiques de l'équipement utilisé pour les opérations culturales, mais est en général donnée pour chaque machine. Ainsi, une modification de la profondeur est généralement associée à l'utilisation d'un modèle ou d'un type de machinerie différent. En pratique, la notion d'efficacité énergétique n'est pas un critère qui entre dans le choix de la profondeur de travail des opérations (Lamarre, communication personnelle, 2013).

Ces consultations ont ainsi permis d'identifier huit mesures différentes pouvant être testées, grâce au modèle, dans les productions de grandes cultures et de fourrages :

1. **Utilisation optimale du parc de tracteurs disponibles sur l'entreprise.** La mesure consiste à réaliser chacun des usages avec un tracteur plus petit (en termes de puissance), lorsque disponible sur la ferme type. Il serait également possible d'utiliser un tracteur avec une puissance supérieure à la puissance nécessaire pour réaliser l'opération mais en l'utilisant à une vitesse réduite. En effet, la vitesse du moteur influe également sur la consommation de carburant du tracteur. Une vitesse de moteur inadaptée peut entraîner une surconsommation et faire en sorte qu'un tracteur moins puissant consomme plus de carburant qu'un tracteur avec une puissance supérieure opérant à vitesse réduite⁹. Cet aspect n'est toutefois pas pris en considération dans les analyses présentées ici, puisque le modèle bâti dans le cadre de ce mandat ne le permettait pas. L'analyse s'en tient donc à l'utilisation d'un tracteur plus petit présent sur l'entreprise. Le tracteur qui s'est avéré optimal pour chaque usage est présenté à l'annexe 8. Cette analyse a été réalisée à vitesses de moteur égales.
2. **Réduction de la puissance des tracteurs.** Au lieu de limiter l'analyse au parc de tracteurs disponibles sur la ferme, la seconde mesure consistait à réduire d'un pourcentage uniforme la puissance des tracteurs et des moissonneuses-batteuses, soit de 10 %¹⁰. Comme pour la première mesure, la puissance nécessaire pour réaliser l'opération ne devait pas être supérieure à la puissance fournie par le nouveau tracteur.
3. **Utilisation d'équipements de plus grande capacité pour les opérations culturales.** Compte tenu de la puissance du tracteur utilisé dans le scénario de référence, il était parfois possible d'utiliser un équipement de plus grande capacité (p. ex., équipement plus large), sans que la puissance nécessaire pour réaliser l'opération ne soit supérieure à la puissance fournie par le tracteur. Pour certains usages, l'utilisation d'un équipement de plus grande capacité permettait

⁹ L'utilisation d'un tracteur surdimensionné par rapport à la puissance nécessaire pour réaliser une opération agricole peut, sous certaines conditions, mener à une consommation de carburant similaire à celle qui découlerait de l'utilisation d'un tracteur moins puissant, notamment grâce à un contrôle adéquat de la vitesse du moteur (Beaudry et Desmeules, communications personnelles, 2013). Par exemple, le test no 1905 de l'université du Nebraska, pour le tracteur John Deere 5603, donne comme résultats, pour une même puissance d'environ 64 HP, une consommation horaire plus faible (en L/h) et une efficacité de conversion de l'énergie plus élevée (en kWh/L) avec un régime moteur de 1715 RPM par rapport à 2400 RPM (University of Nebraska – Lincoln, 2007).

¹⁰ Voir note précédente.

de réduire le temps de travail, de sorte que la consommation de carburants liée à cet usage était alors réduite. Les modifications d'équipements qui ont été testées sont présentées à l'annexe 9.

4. **Modification des pratiques de préparation du sol – Travail réduit du sol.** Cette mesure consiste à remplacer la préparation du sol, qui comprend un passage de charrue et deux passages de cultivateurs sur les fermes types, par un passage de chisel et deux passages de vibroculteur.
5. **Modification des pratiques de préparation du sol – Semis direct.** Pour cette mesure, la préparation du sol est complètement éliminée, soit le passage de charrue et les deux passages de cultivateurs. Dans ce cas, le semis est réalisé avec un semoir adapté en remplacement d'un semoir conventionnel.
6. **Réduction du temps de travail pour le transport des récoltes.** Le temps de travail pour le transport des récoltes a été réduit de 10 %, de façon à estimer l'impact d'un réaménagement des champs d'une entreprise agricole qui permettrait de réduire la distance à parcourir. Évidemment, un tel réaménagement aurait aussi un impact sur la consommation liée aux autres usages, mais le modèle ne permettait pas de faire varier le temps de travail pour ceux-ci.
7. **Séchage des grains – Modification du type de séchoir.** Le séchoir à recirculation d'air utilisé sur les fermes types est remplacé par un silo-séchoir.
8. **Séchage des grains – Réduction du taux d'humidité initial des grains.** Les grains sont amenés au séchoir à un taux d'humidité plus faible, de façon à réduire la quantité d'énergie requise pour les sécher adéquatement.

Des intervenants et producteurs agricoles ont enfin été consultés une fois les tests réalisés, de façon à évaluer le réalisme et la faisabilité des réductions ainsi calculées, et à recueillir leurs points de vue sur les constats tirés de ces analyses. Ces constats sont présentés dans la section 7.

6.1.2 Usages liés aux productions animales : chauffage de l'eau et des bâtiments

Pour les bâtiments d'élevage, deux usages sont à l'origine de la majorité de la consommation de combustibles sur les fermes types : le chauffage de l'eau sur la ferme laitière type, et le chauffage des bâtiments sur les fermes porcines et avicoles types.

Le remplacement d'un chauffe-eau au propane ou au gaz naturel par un chauffe-eau électrique permet, sans surprise, d'éliminer complètement la consommation de combustible liée à cet usage. Par ailleurs, une part importante des producteurs laitiers québécois utilise déjà des chauffe-eau électriques dans leur laiterie, et cet équipement est commun dans les bâtiments québécois. Pour ces raisons, aucun test supplémentaire n'a été fait en lien avec cet usage.

Pour le chauffage des bâtiments, le modèle permettait de tester d'autres scénarios en remplaçant les ratios fixes de consommation de propane en dollars par tête (troupe ou porc) ou par kilogramme d'animaux (poulet) utilisés dans le scénario de référence par des ratios plus faibles. Alors que les ratios utilisés dans le scénario de référence étaient des données de consommation moyenne par animal recueillies auprès du CDPQ (2011) pour la production porcine et de CRAAQ (2008f) pour la production avicole, les nouveaux ratios ont été obtenus de deux façons :

- Dans le cas de la production porcine, une base de données de la Fédération des producteurs de porcs du Québec, utilisée dans l'évaluation annuelle du coût de production pour le secteur, a été mise à profit (Moreau, communication personnelle, 2013; Gougeon, communication personnelle, 2013). Les entreprises de cette base de données ont d'abord été classées en fonction de leurs dépenses pour le chauffage des bâtiments par troupe ou par porc, selon l'atelier. Un groupe composé de 25 % des entreprises les plus efficaces, c'est-à-dire celles dont les dépenses étaient les plus faibles, a alors été formé et les dépenses moyennes en chauffage par animal ont été calculées pour ce groupe. Cette moyenne a ensuite été comparée à la moyenne du groupe composé de 75 % des entreprises les plus efficaces, de façon à obtenir le pourcentage d'écart entre les consommations pour le chauffage de ces deux groupes, et cette réduction a ensuite été appliquée à la consommation de la ferme type.
- Dans le cas de la production avicole, aucune donnée similaire aux données disponibles pour la production porcine n'a pu être recueillie. Pour pallier cela, des intervenants travaillant dans le secteur ont été contactés afin de recueillir leurs estimations de ce qui constituerait un niveau de consommation de propane optimal pour le chauffage des bâtiments. Le recoupage des informations obtenues auprès de ces intervenants a alors permis d'identifier un ratio de consommation qui faisait consensus.

Les valeurs ainsi obtenues ont été considérées comme étant des cibles à atteindre en matière de chauffage des bâtiments porcins et avicoles, et ont été insérées dans le modèle pour évaluer la réduction de la consommation de propane sur les fermes types porcines et avicoles. Ces valeurs sont présentées ci-dessous :

- Pour la production porcine, une réduction de 38 % a été appliquée à la consommation par troupe de la ferme type pour l'atelier « maternité-pouponnière », et une réduction de 35 % a été appliquée à la consommation par porc pour l'atelier « engraissement ». Les valeurs ainsi calculées sont :
 - pour l'atelier « maternité-pouponnière » : 37,6 L/troupe (soit 25,14 \$/troupe avec un prix moyen de 0,673 \$/L pour le propane);
 - pour l'atelier « engraissement » : 1,6L/porc (soit 1,07 \$/porc avec un prix moyen de 0,673 \$/L pour le propane).
- Pour la production avicole, une cible de 0,052 L/kg de poulet (soit 3,5 cents/kg de poulet un prix moyen de 0,673 \$/L pour le propane) a été retenue, ce qui représente une diminution d'environ 50 % par rapport à la consommation originale de la ferme type, qui était de 7,5 cents/kg de poulet.

Bien que les réductions ainsi testées apparaissent réalistes, puisqu'elles sont fondées sur des données provenant de producteurs québécois, elles reposent sur un ensemble d'actions permettant d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Par ailleurs, certaines contraintes peuvent limiter la possibilité pour un producteur donné d'obtenir de tels rendements sans une modification en profondeur de ses bâtiments, pouvant aller jusqu'à la reconstruction complète si le bâtiment s'avère inapproprié. Des consultations ont donc été réalisées avec des intervenants et des producteurs agricoles de façon à identifier les actions que devraient entreprendre les fermes porcines et avicoles types afin d'atteindre ces rendements ainsi que les principales contraintes à prendre en considération. Ces consultations ont également permis de recueillir leurs points de vue sur les constats tirés de ces analyses. L'ensemble de ces considérations fait l'objet de discussions dans la section 7.

6.2. Potentiel d'optimisation de la consommation de carburants et de combustibles sur les fermes types

Les résultats des analyses réalisées sur la base des critères présentés à la partie précédente sont présentés dans les tableaux ci-après. Pour chaque ferme type, le pourcentage de réduction des quantités de carburants et de combustibles consommées a été calculé pour chacune des mesures testées¹¹.

¹¹ Ces résultats dépendent des caractéristiques des différentes fermes types utilisées dans le cadre de ce mandat. Les réductions présentées dans cette section reflètent donc uniquement l'impact théorique des mesures testées sur les fermes types; l'application de ces mesures sur une autre entreprise pourrait mener à des résultats différents.

6.2.1 Fermes types en grandes cultures

Le tableau 26 présente les résultats portant sur les opérations réalisées dans les champs sur les deux fermes types en grandes cultures.

TABLEAU 26 : RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION DE DIESEL SUR LES FERMES TYPES EN GRANDES CULTURES, SELON LA MESURE APPLIQUÉE

		Utilisation optimale du parc de tracteurs	Utilisation d'un équipement de plus grande capacité	Travail réduit du sol	Semis direct	Réduction de 10 % de la puissance des tracteurs	Réduction de 10 % du temps de transport
Ferme type A (spécialisée en maïs-soya)	Blé humain	-6,4 %	-2,7 %	-5,9 %	-44,6 %	-3,2 %	-0,2 %
	Orge	-6,4 %	-2,7 %	-5,9 %	-44,6 %	-3,2 %	-0,2 %
	Maïs-grain	-5,5 %	-9,8 %	-5,2 %	-33,5 %	-3,0 %	-1,1 %
	Soya	-6,3 %	-2,8 %	-6,1 %	-41,3 %	-3,2 %	-0,6 %
Ferme type B (spécialisée en céréales)	Avoine	-7,2 %	-2,4 %	-6,3 %	-45,0 %	-5,4 %	-0,4 %
	Blé humain	-6,6 %	-2,7 %	-6,1 %	-45,5 %	-5,7 %	-0,3 %
	Canola	-8,5 %	-2,1 %	-5,8 %	-41,3 %	-3,5 %	-0,3 %
	Orge	-6,8 %	-2,4 %	-6,2 %	-44,4 %	-3,2 %	-0,4 %

Note : Les pourcentages de réductions apportées par les mesures présentées ne sont pas cumulatifs dans le cas où plusieurs mesures seraient mises en place simultanément sur l'exploitation.

Dans le secteur des grandes cultures, l'application du semis direct est la pratique qui pourrait permettre la réduction de consommation de carburant la plus importante. L'abandon des usages liés à la préparation du sol, qui requièrent des équipements (charrue et cultivateur) fortement consommateurs de carburant, permet une réduction de la consommation de diesel en volume allant de 33 % à 45 % en grandes cultures (voir tableau 26). Dans une moindre mesure, le travail réduit du sol permet également des réductions de consommation non négligeables, allant de 5 % à 6 %.

L'ajustement de la puissance des tracteurs permet également de réduire significativement la consommation de carburant, et ce, tout en réalisant un travail similaire à celui réalisé dans le scénario de référence (équipement similaire, profondeur de travail inchangée, temps de travail similaire, etc.). D'une part, l'utilisation optimale du parc de tracteurs, telle que déterminée dans les tests réalisés avec le modèle, permet de réduire la consommation de 5 % à 9 %, selon les cultures. D'autre part, l'utilisation d'un nouveau parc de tracteurs d'une puissance inférieure de 10 % par rapport à l'ancien parc permettrait de diminuer la consommation de 3 % à 6 %, pour un travail équivalent.

L'usage d'un équipement de plus grande capacité entraîne des réductions de consommation globalement plus faibles. Les réductions de consommation sont le résultat de la modification de certains équipements en particulier (voir annexe 9). Dans les grandes cultures, les modifications d'équipement ont porté sur le cultivateur et sur le pulvérisateur dans le cas de la ferme spécialisée en maïs-soya. De plus, le remplacement d'une moissonneuse-batteuse 8 rangs par une moissonneuse-batteuse 12 rangs dans la culture du maïs-grain a une répercussion significative sur la consommation de diesel utilisée pour la production de cette culture. Le volume de diesel consommé pour la culture de maïs-grain diminue de 9,7 %, alors dans les autres cultures où la réduction est de l'ordre de 2 % à 3 %.

Quant à elle, la diminution uniforme du temps de transport de 10 % entre les différents sites de l'exploitation n'offre qu'une économie relativement faible (moins de 1 % dans la plupart des cas). Le tableau 27 présente les résultats portant sur le séchage des grains réalisé sur la ferme type A en grandes cultures.

TABLEAU 27 : VARIATIONS DE LA CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE SÉCHAGE DU MAÏS-GRAIN SUR LA FERME TYPE A EN GRANDES CULTURES, EN FONCTION DU TYPE DE SÉCHOIR ET DU TAUX D'HUMIDITÉ DES GRAINS

Type de séchoir	Consommation de propane (litres)		Variation (%)
	Taux d'humidité de 30 %	Taux d'humidité de 25 %	
Séchoir à colonnes (fournées ou continu)	76 384	52 514	-31,3
Séchoir à recirculation d'air	67 144 (Par rapport au séchoir à colonnes : -12,1 %)	46 200 (Par rapport au séchoir à colonnes : -12,0 %)	-31,2
Silo-séchoir	50 512 (Par rapport au séchoir à recirculation d'air : -24,8 %)	34 804 (Par rapport au séchoir à recirculation d'air : -24,7 %)	-31,1

Deux éléments permettent de faire varier la consommation de propane pour le séchage du maïs-grain : la modification du taux d'humidité initial et le changement du type de séchoir. L'utilisation d'un silo-séchoir en remplacement du séchoir à recirculation d'air utilisé sur la ferme type permet de réduire la consommation de propane de 25 %, mais le silo-séchoir n'est pas recommandé dans le cas d'une humidité initiale supérieure à 30 %. Le taux d'humidité initial utilisé dans la modélisation des fermes types est de 25 %, ce qui permet de consommer environ 30 % moins de propane que si le taux d'humidité avait été de 30 %.

6.2.2 Ferme type en production laitière

Le tableau 28 présente les résultats portant sur les opérations réalisées dans les champs sur la ferme type en production laitière.

TABLEAU 28 : RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION DE DIESEL SUR LA FERME TYPE LAITIÈRE, SELON LA MESURE APPLIQUÉE

	Utilisation optimale du parc de tracteurs	Utilisation d'un équipement de plus grande capacité	Semis direct	Réduction de 10 % de la puissance des tracteurs	Réduction de 10 % du temps de transport
Orge	-3,2 %	-2,3 %	-34,5 %	-5,6 %	-0,1 %
Maïs-grain	-5,0 %	-17,8 %	-29,2 %	-2,7 %	-0,6 %
Foin sec	-19,2 %	-5,7 %	s. o.	-5,7 %	-1,1 %
Ensilage d'herbe	-16,5 %	-4,0 %	s. o.	-5,6 %	-0,9 %
Maïs fourrager	-3,9 %	-1,4 %	-21,7 %	-2,9 %	-0,8 %

Note : Les pourcentages de réductions apportées par les mesures présentées ne sont pas cumulatifs dans le cas où plusieurs mesures seraient mises en place simultanément sur l'exploitation.

Tout comme dans le secteur des grandes cultures, l'application du semis direct est la pratique qui permet la réduction de consommation de carburant la plus importante sur la ferme type laitière. La réduction de la consommation de carburant varie de 22 % à 34 % selon la culture pratiquée. Quant au travail réduit du sol, il s'est avéré non pertinent, puisque le tracteur le plus puissant disponible sur la ferme type ne parvenait pas à tirer le plus petit chisel.

L'usage d'un équipement de plus grande capacité permet une diminution de la consommation particulièrement importante dans le cas de la culture du maïs-grain (-17 %). Cette réduction découle principalement de l'utilisation d'une moissonneuse-batteuse 12 rangs plutôt que d'une moissonneuse-batteuse 8 rangs pour la récolte. En ce qui concerne les cultures fourragères de la ferme laitière, la sélection d'un équipement de plus grande capacité inclut la modification du cultivateur, de l'épandeur, du pulvérisateur et de la moissonneuse-batteuse, ainsi qu'une modification de la faucheuse à disques, du giro-faneur et du giro-râteau (voir annexe 9).

L'optimisation du parc de tracteurs existant est surtout bénéfique pour la culture du foin sec et de l'ensilage d'herbe, en offrant une diminution de carburant respectivement de 19 % et de 16 % dans ces deux cultures (voir tableau 28). Pour ces deux types de fourrages, la diminution de la consommation est plus forte que pour les grandes cultures, car il s'est avéré que l'usage des tracteurs lors de la fenaison n'était pas optimal. Or, étant donné que la fenaison est une opération qui requiert un temps de travail des machines important, l'ajustement de la puissance du tracteur utilisé pour ces opérations a permis d'obtenir une économie de carburant significative. Toutefois, il faut garder à l'esprit que les réductions obtenues ici dépendent des hypothèses retenues pour les pratiques appliquées par la ferme type, et ne sont pas calculées par rapport à des pratiques moyennes. Ainsi, dans ce cas-ci le producteur utilise presque toujours un tracteur plus gros que nécessaire, ce qui explique que l'ajustement du parc de tracteur permette d'obtenir des économies conséquentes. Cet exemple illustre que le gain d'énergie peut être relativement important pour des producteurs qui utiliseraient systématiquement des tracteurs plus puissants que nécessaire. Le tableau 29 présente les résultats portant sur le séchage des grains réalisé sur la ferme type laitière.

TABLEAU 29 : VARIATIONS DE LA CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE SÉCHAGE DU MAÏS-GRAIN SUR LA FERME TYPE LAITIÈRE, EN FONCTION DU TYPE DE SÉCHOIR ET DU TAUX D'HUMIDITÉ DES GRAINS

Type de séchoir	Consommation de propane (litres)		Variation (%)
	Taux d'humidité de 30 %	Taux d'humidité de 25 %	
Séchoir à colonnes (fournées ou continu)	4 801	3 301	-31,3%
Séchoir à recirculation d'air	4 220 (Par rapport au séchoir à colonnes : -12,1 %)	2 904 (Par rapport au séchoir à colonnes : -12,0 %)	-31,2 %
Silo-séchoir	3 175 (Par rapport au séchoir à colonnes : -33,9 %)	2 188 (Par rapport au séchoir à colonnes : -33,7 %)	-31,1 %

6.2.3 Ferme type en production porcine

La consommation de carburants et de combustibles sur les exploitations d'élevage porcin se répartit principalement entre la consommation de diesel pour le fonctionnement de la machinerie et les dépenses en propane destiné au chauffage des bâtiments et au séchage des grains.

Sur la ferme type porcine, comme l'a montré l'analyse réalisée dans la section 5, la consommation de propane destinée au chauffage et au séchage des grains représente 75 % des dépenses en carburants et combustibles, tandis que la consommation du diesel destiné au fonctionnement de la machinerie représente 22 % des dépenses.

Le tableau 30 présente d'abord les résultats portant sur les opérations réalisées dans les champs sur la ferme type en production porcine.

TABEAU 30 : RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION DE DIESEL SUR LA FERME TYPE PORCINE, SELON LA MESURE APPLIQUÉE

	Utilisation optimale du parc de tracteurs	Utilisation d'un équipement de plus grande capacité	Travail réduit du sol	Semis direct	Réduction de 10 % de la puissance des tracteurs	Réduction de 10 % du temps de transport
Orge	-11,1 %	-2,7 %	-5,9 %	-42,9 %	-3,1 %	-0,2 %
Mais-grain	-5,7 %	-9,7 %	-5,2 %	-33,4 %	-3,1 %	-0,3 %
Soya	-11,9 %	-3,0 %	-5,7 %	-39,2 %	-3,4 %	-0,2 %

Note : Les pourcentages de réductions apportées par les mesures présentées ne sont pas cumulatifs dans le cas où plusieurs mesures seraient mises en place simultanément sur l'exploitation.

Encore une fois, l'application du semis direct permet la plus importante réduction de consommation de carburant sur la ferme type porcine, celle-ci allant de 33 % à 43 % selon la culture. Le travail réduit du sol, quant à lui, permet des réductions de 5 à 6 % de cette consommation.

L'optimisation de l'utilisation du parc actuel de tracteurs permet des réductions atteignant 12 %. La réduction s'avère moins importante dans la culture du maïs, parce qu'il s'est avéré impossible de changer le tracteur utilisé lors du semis, alors que les deux autres cultures offraient cette possibilité. Pour sa part, l'usage d'un équipement de plus grande capacité permet une diminution de la consommation particulièrement importante dans le cas de la culture du maïs-grain (-10 %). Ceci est dû principalement à l'utilisation d'une moissonneuse-batteuse à 12 rangs plutôt qu'à 8 rangs.

Enfin, une réduction de 10 % de la puissance de tous les tracteurs mène à une diminution d'environ 3 % de la consommation de diesel, alors que la réduction de 10 % du temps de transport permet une économie marginale. Le tableau 31 présente les résultats portant sur le séchage des grains réalisé sur la ferme type porcine.

TABLEAU 31 : VARIATIONS DE LA CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE SÉCHAGE DU MAÏS-GRAIN SUR LA FERME TYPE PORCINE, EN FONCTION DU TYPE DE SÉCHOIR ET DU TAUX D'HUMIDITÉ DES GRAINS

Type de séchoir	Consommation de propane (litres)		Variation (%)
	Taux d'humidité de 30 %	Taux d'humidité de 25 %	
Séchoir à colonnes (fournées ou continu)	76 820	52 814	-31,3%
Séchoir à recirculation d'air	67 528 (Par rapport au séchoir à colonnes : -12,1 %)	46 464 (Par rapport au séchoir à colonnes : -12,0 %)	-31,2
Silo-séchoir	50 801 (Par rapport au séchoir à colonnes : -33,9 %)	35 003 (Par rapport au séchoir à colonnes : -33,7 %)	-31,1

Enfin, le tableau 32 présente les résultats portant sur le chauffage des bâtiments sur la ferme type porcine.

TABLEAU 32 : VARIATIONS DE LA CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE CHAUFFAGE DES BÂTIMENTS SUR LA FERME TYPE PORCINE

Atelier	Consommation initiale (litres)	Consommation optimale (litres)	Variation (%)
Atelier « maternité-pouponnière »	18 067	11 205	-38,0
Atelier « engraissement »	14 710	9 563	-35,0
Total	32 777	20 769	-36,6

On constate que, avec la consommation par animal calculée à l'étape précédente, la ferme type pourrait réduire sa consommation de propane pour le chauffage des bâtiments d'environ 37 %.

6.2.4 Ferme type en production avicole

Sur les exploitations avicoles types, la consommation de propane pour le chauffage des bâtiments représente entre 70 % (dans le cas de l'élevage avec culture de maïs) et 89 % (dans le cas sans maïs) des dépenses en carburants et combustibles. Dans le cas avec maïs, le diesel utilisé dans la machinerie agricole représente 9 % de la consommation totale de l'entreprise, et le propane utilisé pour sécher les grains, 17 %.

Le tableau 33 présente les résultats des mesures appliquées lors des opérations réalisées dans les champs sur la ferme type avicole avec maïs.

TABLEAU 33 : RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION DE DIESEL SUR LA FERME TYPE AVICOLE B (CAS AVEC MAÏS), SELON LA MESURE APPLIQUÉE

	Utilisation optimale du parc de tracteurs	Utilisation d'un équipement de plus grande capacité	Travail réduit du sol	Semis direct	Réduction de 10 % de la puissance des tracteurs	Réduction de 10 % du temps de transport
Maïs-grain	-1,4 %	-2,7 %	-18,0 %	-44,7 %	-3,9 %	-1,0 %

Note : Les pourcentages de réductions apportées par les mesures présentées ne sont pas cumulatifs dans le cas où plusieurs mesures seraient mises en place simultanément sur l'exploitation.

Sur la ferme type avicole, le semis direct et le travail réduit du sol offrent les meilleures perspectives pour réduire la consommation de diesel (45 % pour le semis direct et 18 % pour le travail réduit du sol). Dans l'ensemble, les autres mesures offrent des réductions plus limitées allant de 1 à 4 %.

Le tableau 34 présente les résultats portant sur le séchage des grains réalisé sur la ferme type avicole avec culture de maïs.

TABLEAU 34 : VARIATIONS DE LA CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE SÉCHAGE DU MAÏS-GRAIN SUR LA FERME AVICOLE TYPE AVEC CULTURE DE MAÏS, EN FONCTION DU TYPE DE SÉCHOIR ET DU TAUX D'HUMIDITÉ DES GRAINS

Type de séchoir	Consommation de propane (litres)		Variation (%)
	Taux d'humidité de 30 %	Taux d'humidité de 25 %	
Séchoir à colonnes (fournées ou continu)	21 824	15 004	-31,3
Séchoir à recirculation d'air	19 184 (Par rapport au séchoir à colonnes : -12,1 %)	13 200 (Par rapport au séchoir à colonnes : -12,0 %)	-31,2
Silo-séchoir	14 432 (Par rapport au séchoir à colonnes : -33,9 %)	9 944 (Par rapport au séchoir à colonnes : -33,7 %)	-31,1

Enfin, le tableau 35 présente les résultats portant sur le chauffage des bâtiments sur la ferme type avicole.

TABLEAU 35 : VARIATIONS DE LA CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE CHAUFFAGE DES BÂTIMENTS SUR LA FERME TYPE AVICOLE

	Consommation initiale (litres)	Consommation optimale (litres)	Variation (%)
Chauffage des bâtiments	53 784	25 099	-53,3

On constate que, avec la consommation par kilogramme de poulet obtenue suite à la consultation de spécialistes du secteur, la ferme type pourrait réduire sa consommation de propane pour le chauffage des bâtiments d'environ 53 %.

6.3. Plages idéales de consommation par type d'usage

Les réductions présentées dans les sections précédentes permettent d'identifier une plage idéale de consommation de carburants ou de combustibles pour la majorité des usages réalisés sur les fermes types. Ces plages idéales, présentées en volume de carburants ou combustibles par hectare ou par unité animale (selon la production concernée), représentent des objectifs jugés plausibles en matière de consommation d'énergie pour les producteurs agricoles. **Elles dépendent toutefois des hypothèses utilisées dans la construction des fermes types. Les producteurs agricoles qui voudraient utiliser ces plages dans l'évaluation de la performance énergétique de leur entreprise devront prendre en considération les différences entre les caractéristiques de leur ferme et celles des fermes types.**

Les sections suivantes présentent les méthodologies utilisées pour définir ces plages, ainsi que les résultats obtenus. Aucune plage n'a été calculée pour le séchage des grains. En effet, dans le cas du séchage, les analyses de sensibilité ont été réalisées uniquement en modifiant le taux d'humidité des grains. Il s'agit d'un paramètre qui est très dépendant des conditions climatiques et pour lequel il est donc difficile de déterminer une valeur « idéale » qui correspondrait à une page idéale de consommation. Lorsque les conditions climatiques le permettent, la situation idéale serait d'éviter la consommation de propane en séchant les grains à l'air libre, en ayant recours au séchage au crib par exemple. Un point de repère pour estimer à quoi devrait s'élever la consommation maximale de propane d'une exploitation par tonne récoltée serait de se baser sur les consommations par tonne présentées dans la fiche « séchage » du CRAAQ (CRAAQ, 2010), qui ont servi de base aux calculs dans le modèle.

6.3.1 Plages idéales de consommation pour les opérations au champ

Dans le cas des opérations réalisées dans les champs, deux niveaux de plages idéales ont été définis. Tout d'abord, une plage idéale « de base » a été calculée, afin d'illustrer la consommation minimale qui peut être atteinte lorsque le producteur utilise les mêmes équipements et les mêmes pratiques culturales, mais en appliquant les bonnes pratiques d'utilisation des tracteurs et de la machinerie. La borne minimale de cette plage, ou la consommation optimale, est atteinte lorsque les pratiques permettant d'améliorer l'efficacité énergétique lors de l'utilisation de la machinerie sont respectées (CRAAQ, 2008b). Or, les équations utilisées dans le modèle reflètent, selon différents intervenants, une utilisation des tracteurs et de la machinerie qui respecte la majorité de ces bonnes pratiques de gestion (p. ex., les pneus sont gonflés à la pression recommandée, un bloc de masse est utilisé lorsque les besoins en traction et les conditions du sol l'exigent, les tracteurs et la machinerie sont inspectés et entretenus à la fréquence recommandée). Ainsi, les consommations calculées pour les différents usages réalisés sur les fermes types répondaient déjà à ces conditions. Les données de consommation optimales sont donc les résultats obtenus directement dans le modèle. La borne de consommation maximale de la plage, intitulée consommation initiale, a été obtenue en augmentant la consommation optimale de 62 %, qui est l'augmentation de consommation estimée d'une exploitation qui ne respecterait pas ces bonnes pratiques. Ce pourcentage d'augmentation a été estimé à partir du cumul des estimations d'économies de carburants qui découleraient de l'application des bonnes pratiques en grandes cultures (CRAAQ, 2008b)¹².

Dans un second temps, une plage « idéale » de consommation optimale a été estimée, afin d'intégrer, pour un usage donné, la consommation de diesel par hectare la plus faible que les fermes types pourraient réaliser à court terme, sans changer de pratiques culturales et avec l'équipement auquel elles ont accès en ce moment¹³. Ces plages intègrent un usage optimal de l'équipement dont dispose le producteur.

La borne de consommation maximale, ou consommation initiale, est la même que pour la plage précédente, à savoir qu'elle reflète la consommation d'une exploitation qui ne respecterait pas les bonnes pratiques. La borne de consommation minimale (consommation optimale), reflète la consommation d'une exploitation qui applique les bonnes pratiques et qui optimise l'usage de son parc de tracteurs. Tel que démontré à la section précédente, le parc de tracteurs disponibles sur la ferme n'était pas toujours utilisé de façon optimale, car dans certains cas, le choix d'un tracteur différent de celui utilisé permettait de réduire la consommation. Ainsi, les consommations de diesel par hectare ont été recalculées lorsque nécessaire en utilisant le tracteur optimal parmi le parc de tracteurs disponibles. La valeur minimale de chaque plage représente donc la nouvelle consommation calculée avec le tracteur

¹² Cumul des économies d'énergie découlant de l'application des bonnes pratiques suivantes : utilisation d'un tracteur de puissance appropriée pour chaque machinerie utilisée, utilisation de moins de 70% de la puissance du tracteur, les pneus des tracteurs et autres machineries sont gonflés à la pression recommandée, le bloc de masse du tracteur est utilisé seulement lorsque les besoins en traction et les conditions du sol l'exigent, les tracteurs sont équipés de pneus à carcasse radiale (CRAAQ, 2008b).

¹³ Des consommations plus faibles pourraient être obtenues en appliquant les autres mesures présentées dans les sections précédentes (p. ex., semis direct).

optimal. Lorsque le tracteur optimal était déjà utilisé, la consommation calculée représente uniquement les économies réalisées grâce à l'application des bonnes pratiques.

Ces évaluations ont été faites pour les fermes types en grandes cultures et pour la ferme type laitière, puisqu'elles présentaient des caractéristiques différentes, notamment au sujet des cultures pratiquées et des équipements utilisés. Les fermes types en production porcine et avicole n'ont pas été retenues pour ces analyses. Dans le cas de la ferme type porcine, ses caractéristiques étaient jugées suffisamment similaires à celles de la ferme type A en grandes cultures, alors que les opérations au champ étaient marginales sur la ferme type en production avicole.

Les tableaux 36 à 39 présentent les résultats de cette analyse pour les fermes types en grandes cultures et en production laitière. Pour certains usages, les plages se sont avérées identiques pour plusieurs cultures; dans ces cas, les plages sont regroupées pour alléger les tableaux.

TABLEAU 36 : PLAGES IDÉALES « DE BASE » DE CONSOMMATION DE DIESEL SUR LES FERMES TYPES EN GRANDES CULTURES, PAR USAGE, POUR UN PASSAGE (L/HA), SANS OPTIMISATION DE L'USAGE DU PARC DE TRACTEURS

	Ensemble des grandes cultures											
	Consommation initiale (C.I)						Consommation optimale (C.O)					
Préparation du sol – automne	31,2						19,3					
Préparation du sol – printemps	6,1						3,7					
	Avoine - Blé - Canola - Orge								Maïs		Soya	
	Consommation initiale				Consommation optimale				C.I.	C.O.	C.I.	C.O.
Fertilisation	4,6				2,9				4,6	2,9	2,3	1,4
Semis*	5,0				3,1				9,2	5,7	7,7	4,7
	Avoine		Blé		Canola		Orge		Maïs		Soya	
	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.
Contrôle des ennemis des cultures	1,5	0,9	2,9	1,8	1,5	0,9	1,5	0,9	1,5	0,9	1,5	0,9
							2,9	1,8				
Récolte des grains**	22,8	14,1	23,6	14,6	31,6	19,5	23,4	14,5	27,9	17,2	26,8	16,5
			25,2	15,6			25,0	15,5				

* Le semis du soya inclut un passage de rouleau de type Brillon.

** Les deux fermes types en grandes cultures cultivaient du blé et de l'orge. Toutefois, les batteuses utilisées sur ces deux entreprises sont de puissances différentes, de sorte que la consommation à l'hectare pour la récolte des grains diffère également.

TABLEAU 37 : PLAGES IDÉALES « OPTIMALES » DE CONSOMMATION DE DIESEL SUR LES FERMES TYPES EN GRANDES CULTURES, PAR USAGE, POUR UN PASSAGE (L/HA), AVEC OPTIMISATION DE L'USAGE DU PARC DE TRACTEURS

	Ensemble des grandes cultures											
	Consommation initiale (C.I)						Consommation optimale (C.O)					
Préparation du sol – automne	31,2						19,3					
Préparation du sol – printemps	6,1						2,4					
	Avoine - Blé - Canola - Orge						Maïs		Soya			
	Consommation initiale			Consommation optimale			C.I.	C.O.	C.I.	C.O.		
Fertilisation	4,6			2,4			4,6	2,4	2,3	1,2		
Semis*	5,0			2,1			9,2	5,0	7,7	3,5		
	Avoine		Blé		Canola		Orge		Maïs		Soya	
	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.
Contrôle des ennemis des cultures	1,5	0,7	2,9	1,5	1,5	0,7	1,5	0,7	1,5	0,7	1,5	0,7
							2,9	1,5				
Récolte des grains**	22,8	14,1	23,6	14,6	31,6	18,3	23,4	14,5	27,9	17,2	26,8	16,5
			25,2	15,6			25,0	15,5				

* Le semis du soya inclut un passage de rouleau de type Brillon.

** Les deux fermes types en grandes cultures cultivaient du blé et de l'orge. Toutefois, les batteuses utilisées sur ces deux entreprises sont de puissances différentes, de sorte que la consommation à l'hectare pour la récolte des grains diffère également.

TABLEAU 38 : PLAGES IDÉALES « DE BASE » DE CONSOMMATION DE DIESEL SUR LA FERME TYPE LAITIÈRE, PAR USAGE, POUR UN PASSAGE (L/HA), SANS OPTIMISATION DE L'USAGE DU PARC DE TRACTEURS

	Ensemble des cultures									
	Consommation initiale (C.I)					Consommation optimale (C.O.)				
Préparation du sol – automne	30,7					19,0				
Préparation du sol – printemps	4,8					2,9				
	Orge		Maïs-grain		Foin sec		Ensilage d'herbe		Maïs fourrager*	
	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.
Fertilisation	4,5	2,8	5,2	3,2	10,5	6,5	10,5	6,5	10,5	6,5
Semis	8,4	5,2	10,6	6,5	1,7	1,0	1,7	1,0	9,2	5,7
Contrôle des ennemis des cultures	1,8	1,1	1,8	1,1	0,4	0,2	0,4	0,2	1,8	1,1
Récolte des grains	23,4	14,5	33,1	20,4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Fenaison**	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	23,2	11,3	21,8	10,4	n.a.	n.a.

* Le maïs fourrager étant récolté à forfait sur la ferme type, aucune plage idéale n'a été calculée pour cet usage.

** La fenaison regroupe plusieurs opérations pouvant inclure, selon la culture, le fauchage, le fanage, le râtelage, le pressage et l'enrobage.

TABLEAU 39 : PLAGES IDÉALES « OPTIMALES » DE CONSOMMATION DE DIESEL SUR LA FERME TYPE LAITIÈRE, PAR USAGE, POUR UN PASSAGE (L/HA), AVEC OPTIMISATION DE L'USAGE DU PARC DE TRACTEURS

	Ensemble des cultures									
	Consommation initiale (C.I.)					Consommation optimale (C.O.)				
Préparation du sol – automne	30,7					19,0				
Préparation du sol – printemps	4,8					1,9				
	Orge		Maïs-grain		Foin sec		Ensilage d'herbe		Maïs fourrager*	
	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.	C.I.	C.O.
Fertilisation	4,5	2,8	5,2	2,8	10,5	5,5	10,5	5,5	10,5	5,5
Semis	8,4	5,2	10,6	5,6	1,7	1,0	1,7	1,0	9,2	5,0
Contrôle des ennemis des cultures	1,8	0,7	1,8	0,7	0,4	0,1	0,4	0,1	1,8	0,7
Récolte des grains	23,4	14,5	33,1	20,4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Fenaison**	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	23,2	11,3	21,8	10,4	n.a.	n.a.

* Le maïs fourrager étant récolté à forfait sur la ferme type, aucune plage idéale n'a été calculée pour cet usage.

** La fenaison regroupe plusieurs opérations pouvant inclure, selon la culture, le fauchage, le fanage, le râtelage, le pressage et l'enrobage.

Ces plages idéales ont été calculées en se basant sur le principe que le producteur pouvait les atteindre sans investissement supplémentaire et sans changer fondamentalement ses pratiques agricoles. Au-delà de cela, des réductions supplémentaires peuvent être atteintes grâce aux mesures présentées dans les analyses de sensibilité en section 6.1, qui impliquent une modification de matériel ou de pratiques. Les réductions obtenues par ces mesures ne sont pas forcément cumulatives et il importe que la faisabilité de ces mesures soit étudiée au préalable sur chaque exploitation individuellement avant d'estimer les réductions de consommation potentielles totales qui pourraient être atteintes.

6.3.2 Plages idéales de consommation pour le chauffage des bâtiments

Pour le chauffage des bâtiments, les cibles calculées à la section 6.1 ont été retenues comme étant les plages idéales de consommation de combustibles :

- Pour la production porcine :
 - pour l'atelier « maternité-pouponnière » : 37,6 L/truie;
 - pour l'atelier « engraissement » : 1,6L/porc.
- Pour la production avicole : 0,052 L/kg de poulet.

Compte tenu de la façon avec laquelle ces cibles ont été déterminées (voir section 6.1), elles ne représentent pas nécessairement un niveau de consommation de propane que les fermes types pourraient réaliser à court terme, avec l'équipement présent, contrairement aux plages idéales calculées pour les opérations au champ. En effet, il s'agit plutôt d'une cible à long terme que pourraient viser à atteindre les producteurs agricoles spécialisés en production porcine et avicole.

7. Actions prioritaires pour réduire la consommation de carburants et de combustibles à la ferme

Cette section présente les recommandations d'actions à privilégier afin de réduire la consommation de carburants et de combustibles à la ferme. Dans un premier temps, les mesures permettant de réduire la consommation de carburants et de combustibles sont analysées afin de cibler celles démontrant le meilleur potentiel et de mettre en relief les principaux obstacles à leur mise en œuvre. Ceci permet, par la suite, d'identifier des axes d'intervention prioritaires qui sont mis en relation avec des programmes d'efficacité énergétique dans le secteur agricole appliqués à l'étranger et qui pourraient être adaptés au Québec.

7.1. Analyse des mesures de réduction de la consommation de carburants et de combustibles

7.1.1 *Consommation liée aux productions végétales : opérations au champ et séchage des grains*

Constat n° 1 : Toute pratique permettant de réduire le nombre de passages dans les champs permet de réduire la consommation de carburant, mais le passage au semis direct est la pratique qui offre le gain potentiel le plus élevé en termes d'économie de carburants sur l'exploitation

Toute pratique permettant de réduire le nombre de passages dans les champs permet de réduire la consommation de carburant : semis direct, travail réduit du sol, utilisation d'équipement de plus grande largeur, train de machinerie (où plusieurs opérations sont réalisées dans un même passage), etc. Or, parmi les mesures testées, le passage au semis direct est la pratique qui offre le gain potentiel le plus élevé en termes d'économie de carburants sur l'exploitation.

Dans les deux fermes types en grandes cultures ainsi que pour les cultures de céréales pratiquées par la ferme laitière, le semis direct est la pratique de rechange qui procure l'économie de carburants la plus importante. Le travail réduit du sol fournit également des économies significatives. La réduction ou la suppression des opérations de labour est un élément central pour permettre la réduction de la consommation de carburants.

Le passage au semis direct implique plusieurs modifications pour le producteur. Il nécessite de remplacer l'usage du semoir conventionnel par un semoir à semis direct. Il implique également une modification des rotations, de l'utilisation de pesticides et de la gestion des mauvaises herbes (CRAAQ, 2008e). Le passage au semis direct ou au travail réduit du sol nécessite que le producteur se familiarise avec ces nouvelles techniques et les maîtrise.

Le choix de pratiques de semis direct ou de travail réduit du sol se fait pour plusieurs raisons. Les avantages agronomiques sont une des raisons principales. La qualité biologique du sol est améliorée en favorisant le développement des micro-organismes et en diminuant la compaction due au passage répété des tracteurs. Le semis direct permet également de réduire l'érosion du sol, de diminuer le temps passé au champ en éliminant les étapes de préparation du sol et de réduire le parc de machinerie (CPVQ, 2000; CRAAQ, 2008e).

L'usage du semis direct modifie plusieurs aspects de la gestion des cultures et du travail réalisé sur l'exploitation. Le producteur doit pouvoir maîtriser et mettre en œuvre ces changements afin que l'ensemble de ses pratiques soit adapté à une régie en semis direct. Tout d'abord, l'implantation du semis direct requiert une préparation spécifique du sol, notamment afin d'assurer un drainage et un nivellement adéquats. Ensuite, dans une production en semis direct, les techniques de fertilisation peuvent différer du système conventionnel, par exemple dans le cas où l'engrais est appliqué en même temps que le semis. La gestion des résidus de cultures doit également être adaptée ainsi que les rotations, étant donné que le semis direct génère une quantité de résidus plus importante que les pratiques conventionnelles (CPVQ, 2000). De plus, ces pratiques impliquent une modification de l'utilisation de pesticides et d'herbicides. Par conséquent, le passage au semis direct nécessite une période de transition pour le producteur, ainsi que l'accompagnement et l'information adéquats pour réussir le changement de régie.

Un investissement financier peut être nécessaire lors de l'adoption du semis direct si le producteur décide d'acquérir le semoir et ne fait pas appel à du travail à forfait pour le semis. En effet, le semis direct requiert l'usage d'un semoir à semis direct en remplacement du semoir conventionnel. Selon le type de cultures et les rotations pratiquées, le producteur peut avoir besoin d'un semoir équipé d'outils spécifiques (coutres ou tasse-résidus). Un équipement pour le travail du sol en bande avant le semis peut également être utilisé (CPVQ, 2000). Par ailleurs, le passage au semis direct permet de ne pas avoir à investir dans l'achat d'une charrue ou de revendre éventuellement les équipements de labour déjà présents sur l'exploitation (Groupe AGÉCO, 2008). De plus, les tracteurs requis pour le semis direct sont en général plus petits et consomment donc moins.

Au Québec, des essais de semis direct ont été réalisés dans les années 2000 dans le cadre du Programme d'atténuation des gaz à effet de serre (PAGES). Un des objectifs était de faciliter l'accès aux semoirs à semis direct entre les producteurs en partageant l'usage de la machinerie. Il existe également des clubs de producteurs destinés à accompagner ces derniers dans l'adoption du semis direct (CPVQ, 2000). D'après le recensement de l'agriculture, 18,2 % des superficiesensemencées au Québec l'ont été sans travail du sol. Cette proportion est en augmentation régulière depuis 10 ans. En 2001, elle s'élevait à 4,8 % (Statistique Canada, 2009). Il y aurait encore un potentiel d'accroissement des superficies en semis direct au Québec. Toutefois, l'objectif d'économie de carburants ne devrait pas être le seul aspect considéré lors du choix du semis direct; ce choix devrait être réalisé en tenant compte de l'ensemble des implications que cela peut avoir pour l'exploitation.

Quant à lui, le travail réduit du sol permet des économies de carburant de 5 à 6 %. Dans une certaine mesure, le travail réduit du sol constitue une pratique intermédiaire entre les pratiques conventionnelles et le semis direct. Cette pratique utilise toutefois encore la charrue, ce qui explique que les économies sont relativement réduites comparées au semis direct, mais peut constituer une solution alternative dans les cas où le semis direct est peu adapté au cas de l'exploitation.

Constat n° 2 : L'utilisation du parc de tracteurs existant pourrait être optimisée afin de diminuer la consommation de carburants, en particulier dans la culture des fourrages

L'optimisation du parc de tracteurs fournit des économies de carburants variant entre 4 % et 9 % selon les grandes cultures pratiquées. Les économies sont encore plus importantes dans le cas des fourrages, où la réduction de consommation varie de 16 % à 19 %. De plus, si la puissance du parc existant était réduite de 10 % en moyenne, en renouvelant progressivement la machinerie, les économies réalisées varieraient entre 3 % et 6 %.

Le premier constat est que les économies potentielles les plus grandes liées à l'usage des tracteurs pourraient être réalisées sans avoir besoin de renouveler le parc existant. Deux aspects sont à prendre en considération dans l'utilisation optimale du parc existant : d'une part, le choix du tracteur le plus adéquat pour chacune des opérations pratiquées et, d'autre part, l'application de bonnes pratiques liées à l'usage des machines.

Les tests effectués ont permis de chiffrer les économies potentielles qui découleraient du premier aspect, à savoir le choix du tracteur optimal. Selon des intervenants, une partie des opérations culturales sur les exploitations agricoles est en effet réalisée avec un tracteur d'une puissance supérieure à celle qui serait nécessaire, entraînant un surplus de consommation. Une meilleure connaissance de la machinerie et de son utilisation permettrait au producteur de mieux adapter son choix de tracteur, lorsque cela est possible. En outre, utiliser les tracteurs d'une manière optimale implique également de les faire fonctionner à une vitesse de moteur adéquate. Cet aspect, non pris en compte dans le modèle, devrait être considéré lors de l'utilisation des tracteurs. En effet, si à vitesses de moteur égales un tracteur moins puissant consomme moins, en revanche, une vitesse de moteur inadéquate sur un tracteur moins puissant peut aboutir à une consommation plus élevée que l'utilisation d'un tracteur plus puissant qui fonctionnerait avec une vitesse de moteur optimale.

Le second aspect, l'usage des bonnes pratiques, n'a pas été pris en compte dans les tests, car les équations de l'ASABE utilisées pour construire le modèle partent déjà de l'hypothèse que les bonnes pratiques d'utilisation de la machinerie sont respectées. Peu d'information existe sur le niveau d'adoption des bonnes pratiques de l'usage de la machinerie par les producteurs. Les bonnes pratiques comportent plusieurs éléments, tels que l'entretien régulier des machines, la vérification de la bonne pression des pneus, l'usage de pneus à carcasse radiale ou encore la coupure du moteur du tracteur lors des temps d'arrêt (CRAAQ, 2008e; Désir, 2006). Ces pratiques semblent être appliquées de manière variable sur les exploitations.

Une des pistes pour encourager ces deux aspects serait une meilleure diffusion de l'information auprès des producteurs ainsi qu'un accompagnement adéquat pour leur permettre d'améliorer leur connaissance et leur gestion du parc de machinerie. Une autre piste serait d'étudier dans quelle mesure le développement de l'usage des techniques d'autoguidage sur les exploitations pourrait contribuer à diminuer la consommation de carburant. À priori, l'utilisation d'un système d'autoguidage permettrait une conduite plus efficace, mais l'économie de carburant réalisée par rapport à une conduite manuelle ne serait pas systématique. Une étude réalisée au Québec en collaboration avec l'Université Laval montre que l'utilisation de la conduite assistée par GPS lors des opérations aux champs permettrait une économie de carburant de l'ordre de 8 % à 14 % pour la préparation du sol hors labour et le semis. Toutefois, dans le cas des opérations de fertilisation et de traitement phytosanitaire, la consommation de carburant par hectare serait accrue avec l'utilisation d'un système d'autoguidage. En effet, il semblerait que dans le cas d'application d'engrais et de phytosanitaires, plus la largeur de l'équipement est grande, plus les producteurs ont du mal à évaluer cette largeur à l'œil nu. Ainsi, dans le cas d'une conduite manuelle, les producteurs auraient tendance à surestimer la largeur d'un passage et à laisser des bandes de cultures non traitées. Le système GPS corrige cet effet mais la conséquence serait une consommation de carburant plus importante (Saint-Pierre, 2013).

Le second constat est que le parc de tracteurs pourrait être optimisé à plus long terme lors de son renouvellement, par l'achat de tracteurs moins puissants. Plusieurs critères entrent en ligne de compte lors du choix d'un tracteur par le producteur, mais ce dernier ne dispose pas toujours de l'information ni des connaissances pour faire un choix optimal en fonction des caractéristiques de son propre équipement et de son exploitation. Afin que le choix d'un tracteur lors de son renouvellement soit réellement optimal en termes de consommation énergétique, les producteurs devraient avoir reçu une formation ou un accompagnement adéquat sur les critères de choix à considérer lors de l'achat. En outre, le renouvellement du parc de tracteurs implique que les producteurs aient les moyens financiers pour réaliser l'investissement nécessaire. Cet investissement peut être réalisé individuellement ou en commun par l'intermédiaire d'une coopérative d'utilisation de machinerie agricole (CUMA).

L'optimisation du parc de tracteurs existant est une solution à court terme. Il s'agit d'optimiser l'utilisation de l'équipement à la disposition du producteur d'un point de vue énergétique. Les résultats obtenus par une réduction uniforme de la puissance des tracteurs de 10 % dans les fermes types offrent un potentiel de réduction à moyen et à long terme, lors du renouvellement progressif du parc de tracteurs par l'exploitant.

Constat n° 3 : Le remplacement de l'équipement existant par un équipement de plus grande capacité permet des économies de carburants globalement plus limitées, mais qui peuvent être substantielles dans certaines cultures

L'usage d'un équipement de plus grande capacité offre globalement des réductions de consommation plus limitées que l'optimisation du parc de tracteurs. Toutefois, les réductions de consommation se concentrent sur certains équipements en particulier (voir annexe 9). Le remplacement de la moissonneuse-batteuse par une autre de plus grande largeur dans la culture du maïs-grain et la modification du type d'équipement de fenaison dans la culture du foin sont deux exemples de changements qui résultent en des économies de diesel relativement significatives.

Le producteur dispose de multiples choix lors de l'acquisition de son équipement, mais le critère d'efficacité énergétique n'est pas le principal critère. Il doit en effet tenir compte d'un certain nombre de paramètres, tels que le type de cultures pratiquées, les rotations, le type de sol, etc. Or, le choix de machinerie par le producteur n'est pas toujours un choix « éclairé », dans le sens où le producteur n'a souvent qu'une connaissance partielle des fonctionnalités et de la performance des machines, obtenue en général lors d'échanges avec les vendeurs d'équipement ou avec ses pairs, et il n'a pas toujours une vision claire des critères d'achat pertinents à considérer par rapport aux caractéristiques propres à son exploitation. On trouve la même problématique que celle pour l'achat d'un tracteur neuf, mentionnée plus haut.

Ainsi, les gains en termes de consommation d'énergie lors de l'achat d'un nouvel équipement ne pourront être obtenus que si le producteur dispose de la formation et de l'information suffisante pour effectuer un choix d'équipement pertinent. De plus, le producteur doit être en mesure de fournir l'investissement nécessaire au renouvellement de sa machinerie, lorsqu'un potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique de l'exploitation a été identifié. Avoir accès à une formation ou à un conseil adéquat lors de l'achat va donc de pair avec l'accès à un financement. Un appui financier à l'acquisition de matériel plus adapté et offrant une plus grande efficacité énergétique ne portera ses fruits que si le producteur possède la connaissance suffisante pour effectuer le choix de la nouvelle machine de manière pertinente, en tenant compte des différents critères de sélection.

Au vu des résultats des fermes types, il peut être pertinent de déterminer quel équipement spécifique offrirait le plus d'économie de carburant s'il était modifié. Une fois cet équipement identifié (p. ex., la moissonneuse-batteuse dans le cas de la culture du maïs), une attention particulière pourrait être portée sur l'efficacité énergétique lors du choix d'une nouvelle machine.

Constat n° 4 : Les efforts pour réduire le temps de transport de la récolte de 10 % sur une exploitation ne permettent pas d'économies de carburants significatives

À vitesse de circulation constante, le temps de transport de la récolte sur les exploitations pourrait être réduit en optimisant le parcours des véhicules entre les champs et des champs aux silos. Les gains en temps potentiels sont très variables et dépendent de l'organisation géographique de l'exploitation ainsi que des habitudes du producteur. D'après les analyses réalisées sur les fermes spécialisées en grandes cultures et en élevage laitier, une réduction de 10 % du temps de transport de la récolte sur les exploitations engendrerait une baisse de la consommation de carburants de moins de 1 %. Par conséquent, ces efforts ne font pas partie des objectifs à privilégier étant donné le faible potentiel de réduction de la consommation qu'ils offrent.

Constat n° 5 : Réduire le taux d'humidité initial des grains permet de diminuer la consommation de propane

Plus le grain qui est amené au séchoir possède un taux d'humidité faible, moins le séchage sera consommateur d'énergie. Ainsi, la consommation de propane est quasiment diminuée du tiers lorsque le taux d'humidité initial des grains est ramené de 30 % à 25 %. Plusieurs techniques existent pour influencer le taux d'humidité avant séchage. Il est possible, par exemple, de semer des variétés hâtives qui vont sécher plus rapidement dans les champs, de retarder le moment de la récolte, ou encore d'optimiser le nettoyage des grains avant de les entreposer (Brodeur, n.d.).

La réduction du taux initial d'humidité des grains doit toutefois tenir compte de plusieurs facteurs et requiert un arbitrage de la part du producteur. D'abord, le potentiel de rendement des variétés hâtives est généralement plus faible que celui des variétés qui requièrent une période de croissance plus longue. Les bénéfices économiques liés aux réductions de consommation d'énergie pour le séchage doivent donc être mis en perspective avec la perte potentielle de rendements et des revenus qui en découleraient. Par ailleurs, le fait de retarder la récolte de façon à maximiser le séchage des grains au champ peut entraîner des risques accrus de verse, d'affaissement des épis et de temps pluvieux dans le cas de la culture du maïs (OMAFRA, 2009).

Une autre avenue pour optimiser la consommation d'énergie pour le séchage est d'utiliser un équipement moins consommateur d'énergie, lorsque possible. D'après les simulations réalisées, l'usage d'un silo-séchoir pour le séchage du maïs-grain d'une humidité initiale inférieure à 30 % permet de réduire la consommation de propane de 25 % par rapport au séchoir à recirculation d'air et de 33 % par rapport au séchage en continu. Lorsque le taux d'humidité initial est inférieur à 25 %, il est même possible de réaliser le séchage avec des systèmes à air forcé (Bérubé, communication personnelle, 2013) ou à air ambiant (OMAFRA, n.d.-b), qui ne consomme aucun propane¹⁴. Pour utiliser des systèmes à air forcé, il faut une ligne de 550 V. Différents paramètres autres que la consommation énergétique doivent toutefois être considérés lors du choix d'un système de séchage, tels que la quantité de grains à sécher et la rapidité de séchage. Par exemple, le silo-séchoir peut être inadapté pour les besoins d'un producteur qui doit sécher des quantités importantes de grains, en raison de des nombreuses manipulations que cela impliquerait.

Enfin, un autre moyen d'optimiser la consommation de propane lors du séchage est d'éviter le surséchage, notamment par un réglage adéquat des instruments de mesure du séchoir.

¹⁴ Ceux-ci requièrent toutefois de l'énergie électrique qui devra être considérée dans les coûts de production de l'entreprise agricole.

7.1.2 Consommation liée aux productions animales : chauffage des bâtiments

Constat n° 1 : L'amélioration de l'efficacité énergétique des exploitations porcines et avicoles passe par des actions pour réduire la consommation de propane, étant donné que le chauffage et le séchage (lorsque présents) représentent la majorité des dépenses en carburants et combustibles de ces exploitations

Sur la ferme type porcine, 44 % des dépenses en carburants et combustibles proviennent du séchage des grains. Des pistes similaires à celles proposées précédemment pourraient être envisagées, à savoir instaurer des pratiques en vue de diminuer le taux d'humidité initial des grains avant séchage ou éventuellement acquérir un séchoir plus économe en propane.

La consommation liée au chauffage des bâtiments est l'autre grand poste de consommation de combustibles sur les élevages porcins et avicoles. Elle représente 30 % des dépenses en carburants et combustibles de la ferme type porcine, alors que, sur la ferme type avicole, le chauffage représente entre 70 % (cas avec culture de maïs) et 89 % (cas sans culture de maïs) de ces dépenses. La consommation de combustibles pour le chauffage dans les bâtiments d'élevage varie selon le nombre et le poids des animaux à l'intérieur du bâtiment, la température intérieure souhaitée et la température extérieure. Une fois ces paramètres donnés, la consommation en chauffage varie également sous l'effet de différents facteurs sur lesquels le producteur peut avoir une influence, soit lors du choix initial d'installation du bâtiment ou au cours de son exploitation. Ces facteurs sont, notamment (OMAFRA, n.d.a) :

- le type d'équipement de chauffage;
- le type d'isolation du bâtiment;
- la ventilation des bâtiments. Chauffage et ventilation sont liés, de sorte qu'une modification des réglages de ventilation a une incidence sur le niveau de chauffage requis, et inversement (Marcon, 2009);
- l'entretien du bâtiment : la réparation des dégradations dues à l'humidité, à la présence de rongeurs, la prévention des dégradations, etc.;
- l'entretien du système de chauffage et de ventilation;
- l'application de bonnes pratiques en chauffage (calfeutrage des ouvertures, etc.).

Par ailleurs, des exemples de producteurs avicoles québécois ayant réussi à diminuer substantiellement leur consommation de propane permettent de mettre en lumière les principales actions pouvant favoriser la réduction de la consommation de propane. Par exemple, la rénovation d'un bâtiment avicole datant des années 1950 aurait permis de couper la consommation de propane de moitié, grâce à la ré-isolation des plafonds, à l'élimination des entrées d'air parasites, à l'installation d'un coupe-vapeur et à l'ajustement des entrées d'air. Un des intervenants impliqués dans ce projet soulignait que trois mesures étaient prioritaires pour réduire la consommation de propane : l'inspection individuelle des unités de chauffage pour détecter des entrées d'air parasites, l'ajustement des prises d'air et les mesures pour limiter la création d'humidité (ce qui permet de limiter le besoin de ventilation).

Un autre producteur aurait réussi à réduire sa consommation jusqu'à 1 cent de propane par kilogramme de poulet grâce à la construction de bâtiments neufs équipés des caractéristiques suivantes :

- Une isolation avec un coefficient d'isolation minimal de R40;
- Le mélange d'une partie de l'air sortant avec l'air entrant, ce qui permet de réduire les pertes de chaleur lors de l'évacuation de l'air;
- La récupération d'une partie de l'énergie des planchers chauffants pour préchauffer d'autres bâtiments d'élevage;
- L'utilisation d'un système de chauffage efficace.

Ce producteur était d'avis que la reconstruction complète des bâtiments d'élevage était généralement nécessaire pour atteindre une cible ambitieuse de l'ordre de une à deux cents par kilogramme de poulet. Selon lui, un nouveau bâtiment pouvait être rentabilisé rapidement grâce aux économies de chauffage qui en découlent, et ce, même avec un coût de construction élevé pouvant atteindre 50 \$/pied carré en raison, notamment, de l'intégration de nouvelles technologies.

En somme, le remplacement des bâtiments d'élevage par des bâtiments plus efficaces d'un point de vue énergétique, des rénovations majeures aux bâtiments existants et l'ajustement des pratiques influençant la consommation de propane (utilisation du système de chauffage et de la ventilation, l'entretien des bâtiments et des systèmes de chauffage et de ventilation, l'application de bonnes pratiques en chauffage, etc.) pourraient être envisagés s'il s'avère qu'ils pourraient mener à des réductions de consommation d'énergie significatives. Il semble toutefois impossible de généraliser cette analyse, et des évaluations au cas par cas semblent nécessaires afin d'identifier les actions à prioriser sur ces entreprises.

Constat n° 2 : L'absence d'information quantitative sur les économies potentielles qui peuvent être réalisées dans le chauffage des bâtiments rend prématurée la priorisation des actions précises, et requiert la réalisation d'audits individuels sur les exploitations

De l'information quantitative manque sur les économies de chauffage qui peuvent être obtenues par la mise en place de telle ou telle mesure visant à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments d'élevage. La principale action à entreprendre dans les secteurs porcin et avicole serait par conséquent de chiffrer le potentiel de réduction de consommation lié aux pratiques qui ont été identifiées comme permettant d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments dans ces deux secteurs (présentées ci-dessus).

Par ailleurs, les gains réels pouvant découler de la mise en pratique d'une action donnée dépendent de plusieurs facteurs propres à chaque exploitation. Ce faisant, des audits individuels sur les exploitations permettraient d'identifier la situation énergétique de chaque entreprise et le potentiel de réduction de la consommation d'énergie auquel elle pourrait accéder. La réalisation d'un diagnostic énergétique peut, par exemple, permettre d'identifier les économies d'énergie possibles sans avoir au préalable à modifier l'équipement ou les bâtiments (Marcon, 2009).

L'absence d'information quantitative sur les économies potentielles liées au chauffage des bâtiments requiert non seulement la réalisation d'audits individuels sur les exploitations, mais aussi des projets de démonstration et de mesurage des impacts de mesures d'efficacité énergétique. De tels projets permettraient d'améliorer et de diffuser les connaissances sur les mesures permettant de réduire la consommation énergétique liée au chauffage.

Afin que ces informations soient facilement accessibles aux utilisateurs, cela pourrait être pertinent qu'une organisation prenne en charge la centralisation de l'information issue d'études passées et futures sur la consommation de carburants et combustibles par les exploitations québécoises. Cette tâche pourrait par exemple être confiée au MAPAQ, au Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques, à l'UPA ou encore à Agri-réseau. Ce constat pourrait également s'appliquer dans le secteur des grandes cultures, où il existe actuellement plus d'information disponible, mais qui demeure toutefois relativement éparpillée.

Constat n° 3 : Améliorer l'efficacité de l'utilisation de la machinerie est surtout pertinent pour la ferme porcine, les gains en carburant étant plus limités pour la ferme avicole

Sur la ferme porcine, le potentiel d'économie d'énergie qu'offre l'optimisation de l'usage des tracteurs est similaire à celui obtenu sur les fermes en grandes cultures et en élevage laitier. Sur la ferme avicole, l'optimisation de l'utilisation du parc de tracteurs n'offre qu'un potentiel de réduction limité, étant donné que seuls deux tracteurs sont utilisés sur l'exploitation (12 kW et 53 kW à la prise de force). Le seul changement possible est le remplacement du tracteur de 53 kW par celui de 12 kW lors de l'usage du pulvérisateur. Une autre possibilité pour économiser du carburant serait d'agrandir le parc de tracteurs auquel l'éleveur a accès pour lui permettre un plus grand choix, soit par l'achat individuel, soit par l'adhésion à une CUMA. Pour leur part, les autres pratiques envisagées (usage d'un équipement de plus grande capacité, travail réduit, semis direct, réduction du temps de transport et utilisation de tracteurs avec une puissance inférieure de 10 %) amènent à des constats similaires à ceux identifiés plus haut dans l'analyse du secteur des grandes cultures et du secteur laitier.

Ainsi, bien que la réduction de la consommation de propane pour le chauffage et le séchage apparaisse prioritaire pour améliorer l'efficacité énergétique des entreprises porcines et avicoles, des actions visant la consommation de carburant lors des opérations au champ pourraient également contribuer à cet objectif. Toutefois, compte tenu de l'effort que requiert la mise en place de ces pratiques, elles apparaissent surtout pertinentes dans le cas de la ferme porcine, dont les superficies cultivées sont du même ordre de grandeur que pour les exploitations en grandes cultures. Dans le cas de la ferme avicole qui produit uniquement 50 hectares de maïs-grain, les économies potentielles pourraient être trop limitées pour que de telles pratiques soient véritablement efficaces. L'usage d'un modèle alternatif de moissonneuse-batteuse pourrait toutefois être envisagé assez facilement, étant donné qu'il est probable que l'utilisation de la moissonneuse-batteuse soit faite à forfait sur une exploitation avicole de ce type.

7.1.3 Analyse de faisabilité des mesures de réduction de la consommation de carburants et de combustibles

Les mesures de réduction de la consommation de carburants et de combustibles explorées dans les sections précédentes ont fait l'objet d'une analyse sommaire visant à évaluer leur faisabilité. Le tableau 40 présente cette analyse.

TABLEAU 40 : ANALYSE DES MESURES DE RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES

Mesure	Contraintes importantes à la mise en œuvre	Coût pour le producteur	Rapidité d'implantation	Potentiel de réduction de la consommation
Optimisation de l'utilisation du parc de tracteurs actuel	<ul style="list-style-type: none"> • Besoin d'information/ de formation 	Faible	Court terme	Moyen
Développement du semis direct	<ul style="list-style-type: none"> • Connaissance des pratiques par le producteur • Besoin d'accompagnement • Risque lors des premières années 	Moyen	Moyen terme	Élevé
Remplacement de la machinerie et des tracteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Investissement élevé • Besoin d'information/ de formation 	Élevé	Long terme	Moyen
Réduction du taux d'humidité initial des grains	<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes agronomiques et climatiques • Besoin de connaissance par le producteur 	Moyen	Court terme	Moyen
Réalisation d'audits énergétiques sur les entreprises agricoles	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun programme soutenant la réalisation d'audits énergétiques 	Faible (*)	Court terme	Au cas par cas
Remplacement des bâtiments d'élevage	<ul style="list-style-type: none"> • Investissement élevé • Besoin d'information/ de formation 	Élevé	Long terme	Élevé
Rénovations majeures des bâtiments d'élevage	<ul style="list-style-type: none"> • Investissement élevé • Besoin d'information/ de formation 	Élevé	Moyen terme	Moyen
Ajustement des pratiques influençant la consommation de propane (**)	<ul style="list-style-type: none"> • Besoin d'information/ de formation 	Au cas par cas	Au cas par cas	Au cas par cas

(*) Un audit coûte environ 1375 \$ par entreprise, soit 13,75 heures à 100 \$/heure (Agrinova, 2010)

(**) Il s'agit de pratiques qui permettent de réduire le taux d'humidité des grains à la récolte telles que le semis de variétés hâtives, l'optimisation du nettoyage des grains récoltés ou encore le recul du moment de la récolte dans la saison.

Suite à cette analyse, certaines mesures sont ressorties comme prioritaires pour réduire la consommation de carburants et de combustibles. Celles-ci sont présentées dans la section suivante.

7.2. Axes d'intervention à prioriser

L'optimisation de l'usage du parc de tracteurs existant

Les mesures visant l'optimisation de l'usage du parc de tracteurs existant apparaissent comme étant la catégorie de mesures à privilégier en premier lieu, et ce, pour plusieurs raisons. Tout d'abord, ces mesures peuvent viser potentiellement l'ensemble des exploitations québécoises produisant des grandes cultures ou des fourrages, ce qui permet de toucher un nombre important de producteurs. Ensuite, il n'existe quasiment aucun programme ni aucune action au Québec qui vise à améliorer l'efficacité énergétique de la machinerie, ce qui offre un potentiel de diminution de la consommation proche des résultats obtenus dans les tests effectués dans le cadre de ce projet, puisque les efforts seraient entrepris pratiquement à partir de zéro. Enfin, il s'agit de mesures peu coûteuses à mettre en place par les producteurs et qui présentent également peu de risques.

Le développement du semis direct

Le développement du semis direct est un autre axe prioritaire à privilégier. La diminution potentielle de consommation de diesel est très élevée à l'échelle d'une exploitation. À l'échelle de la province, cette affirmation doit toutefois être nuancée, car, d'une part, le semis direct est déjà pratiqué sur environ 18 % des superficies et, d'autre part, il faut s'attendre à ce que le nombre d'exploitations qui adopteront le semis direct à l'avenir atteigne un plafond d'ici quelques années. Ce ne serait ainsi pas l'ensemble des exploitations qui cultivent des grandes cultures et des fourrages qui modifieraient leurs pratiques. En outre, hormis le critère d'économie d'énergie, plusieurs autres facteurs sont à prendre en considération dans le développement de la pratique de semis direct qui font que cette pratique peut ne pas être pertinente dans certains cas. Malgré ces nuances, le potentiel de diminution de consommation de diesel apparaît élevé sur certaines exploitations et les efforts déjà existants pour accompagner les producteurs désireux d'adopter ces pratiques pourraient être poursuivis.

Le remplacement de la machinerie existante

Le troisième axe de mesures prioritaires à envisager s'inscrit plus dans le long terme, et vise le remplacement de la machinerie existante par des modèles plus adaptés en termes de consommation énergétique. Cela englobe à la fois le remplacement des tracteurs par des modèles moins puissants lorsque cela s'avère pertinent, et le remplacement des équipements agricoles par des modèles permettant une consommation de diesel moindre. Ces mesures s'inscrivent dans le long terme, compte tenu des durées d'amortissement de la machinerie agricole. De plus, le renouvellement du parc dans un objectif d'efficacité énergétique nécessiterait qu'un diagnostic préalable soit réalisé auprès des différents secteurs de production ou des exploitations individuelles, ou les deux, afin d'identifier quelle(s) machine(s) offrirai(en)t le plus grand potentiel en termes d'économie d'énergie si elle(s) étai(en)t remplacée(s).

La réduction du taux d'humidité des grains avant séchage

La diminution du taux d'humidité des grains avant séchage est la dernière piste à envisager dans les exploitations qui produisent du maïs. Plus la quantité de maïs-grain à sécher est importante, plus il peut être payant de mettre en place des pratiques permettant de réduire le taux d'humidité initial des grains. Ces pratiques peuvent être mises en place sur le court terme, au démarrage d'une nouvelle saison de production, mais nécessitent toutefois une maîtrise des enjeux agronomiques par le producteur. À plus long terme, le remplacement du séchoir existant par un modèle de séchoir plus économe pourrait être envisagé.

La réalisation d'audits et de diagnostics individuels sur les exploitations

Enfin, la réalisation d'audits énergétiques sur les entreprises agricoles s'avère être la mesure à prioriser pour réduire leur consommation énergétique, puisqu'ils permettront de déterminer, pour chaque entreprise, quelles actions précises devraient être réalisées. Selon l'ampleur des travaux et des investissements à réaliser, ainsi que des gains qui pourraient découler de leur mise en œuvre, ces audits pourraient porter autant sur l'optimisation de l'utilisation de la machinerie des tracteurs lors des opérations au champ, le remplacement des bâtiments d'élevage, la réalisation de rénovations majeures dans les bâtiments, que sur l'ajustement des pratiques influençant la consommation de propane. Or, des intervenants soulignent que les audits énergétiques usuels sont surtout adaptés à l'évaluation de la consommation de combustibles dans les bâtiments, et ne couvrent pas bien la consommation de carburants sur les fermes. Il serait ainsi approprié de développer des audits qui permettraient d'évaluer adéquatement cet aspect, de façon à réaliser une analyse globale de la consommation énergétique sur les fermes.

Le stockage, le traitement et l'accessibilité des données.

Les productions pour lesquelles la consommation de carburants est importante sont à prioriser, de même que les secteurs d'élevage où très peu d'information est disponible sur la consommation énergétique des fermes. Par ailleurs, il pourrait être envisagé d'uniformiser ces audits et de regrouper leurs résultats, de façon à générer des données quantitatives générales sur la consommation énergétique des entreprises par secteur de production du Québec. Ces données permettraient d'identifier les actions qui auront le plus grand impact sur la consommation énergétique à l'échelle des secteurs de production. Elles pourraient, par ailleurs, faciliter la comparaison des entreprises entre elles et mettre en évidence certaines histoires à succès qui pourraient inspirer des changements chez d'autres producteurs agricoles.

7.3. Comment encourager la mise en application des interventions prioritaires?

Au Québec, plusieurs initiatives ont été lancées avec pour objectif l'amélioration de l'efficacité énergétique des fermes québécoises, en appuyant directement la mise en application des interventions prioritaires identifiées à la section précédente. Dans le cadre du sous-volet 8.4 du programme Prime-Vert du MAPAQ intitulé « Évaluation, information et sensibilisation en matière de technologies et de pratiques agricoles de réduction des émissions de gaz à effet de serre », des aides financières ont été accordées pour la mise en œuvre de pratiques agricoles visant à minimiser le travail du sol, telles que le semis direct (MAPAQ et Agence de l'efficacité énergétique du Québec, 2010). Ces aides ont encouragé un certain nombre de producteurs à se lancer dans des pratiques de semis direct ou de travail réduit du sol en 2009 et 2010 (Giguère, 2010). Ce programme a également appuyé la réalisation d'audits énergétiques, par exemple sur une exploitation laitière (UPA Mauricie, 2011). Par ailleurs, d'autres initiatives appuient ou ont appuyé par le passé la réalisation de tels audits, dont le programme d'appui aux audits énergétiques en serriculture (MAPAQ, 2013) qui a permis de réaliser une trentaine d'audits de 2006 à 2009 financés par Hydro-Québec et Gaz Métro, ainsi que des programmes offerts par le Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques (BEIE) du ministère des Ressources naturelles du Québec et par certains distributeurs d'énergie (p. ex., Hydro Québec, Gaz Métro) (MAPAQ et Agence de l'efficacité énergétique du Québec, 2010). Toutefois, les programmes financés par le Fonds Vert du BEIE sont en révision en 2013 et seuls le Programme d'aide à l'implantation de mesures efficaces dans les bâtiments et le Programme d'aide à l'innovation en énergie sont encore disponibles.

L'appui gouvernemental aux producteurs individuels pour le renouvellement de l'équipement agricole est limité au Québec, et il n'existe pas de programme spécifique visant à renouveler le parc de tracteurs existant. Le recours à des coopératives d'utilisation du matériel agricole (CUMA) est un moyen pour les producteurs d'accéder à un parc d'équipement plus vaste que celui auquel ils peuvent avoir accès individuellement. L'achat en commun d'équipement par les producteurs membres d'une CUMA permet aux producteurs de réduire leur investissement en machinerie et d'utiliser des équipements mieux adaptés en fonction de leurs besoins (MAPAQ, 2010b). Les CUMA sont très répandues en France et ont été développées au Québec depuis 1990. On en dénombre environ 70 au Québec en 2009 (Boutet, 2009). Le programme d'appui au développement des entreprises agricoles (PADEA), en vigueur de 2009 à 2013, soutient financièrement l'adhésion des exploitations québécoises à une CUMA, dans le cadre de l'appui à l'adoption de bonnes pratiques de gestion par les exploitations (MAPAQ, n.d. et 2012). On peut toutefois s'interroger sur l'efficacité de la mise en commun de matériel dans un but d'efficacité énergétique des exploitations dans le contexte québécois, car le parc de machines des CUMA n'offre pas toujours la possibilité aux membres d'avoir accès à plusieurs modèles d'un équipement donné pour effectuer une opération. Également, le programme d'appui aux initiatives de partage de main-d'œuvre et de matériel agricoles, qui s'inscrit dans le volet « Établissement et relève agricole » du Plan d'action 2008-2013 de la Politique jeunesse du MAPAQ, offre un appui financier à la relève qui souhaite développer des CUMA (Boutet, 2009; MAPAQ, n.d.b).

Toutefois, à l'exception des programmes de soutien au développement des CUMA, il n'existe à notre connaissance aucun programme visant à faciliter l'accès ou à renouveler la machinerie agricole ou, encore, de soutien gouvernemental à l'amélioration de l'efficacité énergétique dans l'utilisation du parc de tracteurs.

Une initiative inspirante pour le Québec : Le plan français de performance énergétique des exploitations agricoles

À l'étranger, des initiatives existent dans le but d'améliorer l'efficacité énergétique des exploitations agricoles. En France, le Plan de performance énergétique des exploitations agricoles 2009-2013 comporte un axe entier dédié à l'amélioration de l'efficacité énergétique de l'agroéquipement (ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2009). Mis en place en 2009, ce plan poursuit l'objectif de réaliser des économies d'énergie dans le secteur agricole en réduisant la consommation directe et indirecte d'énergie sur les exploitations. Il comporte huit axes qui visent l'amélioration de l'efficacité énergétique, incluant notamment le développement des énergies renouvelables. La réduction de la consommation d'énergie fossile est indirectement abordée par la promotion des énergies renouvelables et la diminution de la consommation d'énergie dans son ensemble. Les quatre premiers axes du plan offrent des pistes pertinentes en lien avec les constats découlant des analyses présentées dans ce rapport :

- L'axe 1 du Plan de performance énergétique des exploitations agricoles vise à mieux évaluer le bilan énergétique des exploitations agricoles, en renforçant la collecte et l'analyse des données de consommation d'énergie à la ferme et en valorisant ces données. La collecte et le traitement de l'information relative à la consommation énergétique sont particulièrement importants dans les secteurs pour lesquels il n'existe que peu d'information disponible, et devraient être une priorité dans ces secteurs au Québec, notamment en aviculture.
- L'axe 2 du Plan français de performance énergétique vise à développer les diagnostics énergétiques, afin de réaliser individuellement un état des lieux de la consommation d'énergie sur une exploitation. Le plan prévoit que ces diagnostics puissent être réalisés à plusieurs niveaux, selon les besoins : exploitation dans son ensemble, bâtiments, ligne de production, etc. L'objectif est d'utiliser ces diagnostics comme base de l'élaboration d'un plan individuel d'amélioration de l'efficacité énergétique et comme outil d'aide à la décision en identifiant le potentiel de réduction de consommation possible ainsi que les actions à réaliser. Le plan prévoit la mise en place d'un mécanisme d'incitation à la réalisation de ces diagnostics, qui seront exigés lorsqu'un producteur demande une aide financière à l'investissement lié à l'énergie.
- L'axe 3 du Plan de performance énergétique des exploitations agricoles vise à améliorer l'efficacité énergétique de l'agroéquipement et se penche sur l'application des bonnes pratiques de gestion de la machinerie. Une des actions envisagées est de développer le contrôle et le réglage des tracteurs et de la machinerie. Également, des actions sont prévues pour encourager l'évolution des pratiques sur les exploitations vers une plus grande efficacité énergétique, en développant des formations à la conduite économe et en encourageant la mutualisation du matériel agricole. Par exemple, cet axe finance l'achat et l'utilisation de « bancs d'essais tracteurs », qui existent dans de nombreux départements. Ces bancs d'essais circulent sur le territoire afin d'offrir aux producteurs la possibilité d'évaluer la performance de leur équipement et de recevoir des conseils quant à leur utilisation (Garnier *et coll.*, 2012). Également, cet axe prévoyait la création d'une classification énergétique des tracteurs neufs et d'occasion et sa diffusion auprès des concessionnaires, afin que les producteurs puissent s'y référer pour faire un choix mieux adapté à leurs besoins lors du renouvellement de leurs tracteurs (AGRA Presse Hebdo, 2012). Le Québec pourrait s'inspirer de ces initiatives afin de créer les conditions favorables à l'optimisation de l'utilisation du parc de tracteurs et à l'application des bonnes pratiques de gestion de la machinerie par le producteur.

- L'axe 4 du Plan de performance énergétique des exploitations agricoles vise à améliorer l'efficacité énergétique de la production agricole, notamment en facilitant l'accès aux investissements en économie d'énergie et en encourageant l'utilisation d'outils de production et de pratiques agricoles plus efficaces en termes énergétiques. Un système de subventions est mis en place pour financer les investissements à l'échelle d'une entreprise agricole ainsi qu'à une échelle collective (p. ex., une CUMA). Les projets admissibles incluent l'achat d'équipements destinés à réaliser des économies d'énergie ainsi que d'équipements de production d'énergies renouvelables, et les dossiers sont sélectionnés par les instances locales (directions départementales responsables de l'application du plan) selon des critères qui peuvent être modulés selon les actions prioritaires identifiées au niveau local. Le taux de subvention peut atteindre jusqu'à 40 % du montant total de l'investissement (ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche, 2009).

Une analyse comparative réalisée en 2010 démontrait que des mesures d'appui en place au Québec couvraient tous les axes du plan français. Il est toutefois possible de soulever certains aspects sur lesquels le plan français semble intervenir de façon plus importante. Par exemple, un mécanisme d'incitation à la réalisation d'audits énergétiques a été instauré, ce qui, à notre connaissance, n'existe pas au Québec. Par ailleurs, les mesures françaises offrent un soutien plus important pour améliorer l'efficacité énergétique de l'agroéquipement et la mise en œuvre des bonnes pratiques de gestion de la machinerie agricole (p. ex., formations à la conduite économe et mise en place de bancs d'essais tracteur).

Les programmes de conservation et d'efficacité énergétique aux États-Unis

Aux États-Unis, le *USDA* (United States Department of Agriculture) a développé des programmes axés sur les énergies renouvelables, la conservation de l'énergie et l'efficacité énergétique. Par ailleurs, de nombreux États ont instauré des programmes destinés à améliorer l'efficacité énergétique des exploitations (Brown *et coll.*, 2005). Ceux-ci mettent l'accent sur l'éducation, l'assistance technique, ainsi que le soutien financier sous la forme de réduction de taxes ou d'incitatifs financiers (prêts, subventions, etc.). Les programmes de conservation sont l'autre axe par lequel des pratiques plus économes en énergie peuvent être encouragées. Chaque État a développé ses propres interventions en matière de soutien à l'efficacité énergétique, en s'appuyant sur les programmes fédéraux, et il existe par conséquent une multitude d'initiatives dans ce domaine. Plusieurs de ces actions sont des réponses à des constats similaires à ceux rencontrés au Québec dans le cadre de cette étude, et pourraient fournir une base de réflexion pour des actions futures dans la province :

- Afin de réduire les coûts liés au séchage, le *Rural Energy for America Program* offre une aide financière aux producteurs qui décident de remplacer leurs équipements par des équipements plus performants en termes de consommation d'énergie (National Sustainable Agriculture Coalition, n.d.). De nombreux séchoirs à grains ont ainsi été remplacés par un séchoir plus performant dans le cadre de ce programme (Brinker et Anderley, 2012), mais cette aide peut également concerner d'autres équipements et la modernisation des bâtiments d'élevage. L'aide financière peut être accordée sous forme de subvention, dans une limite de 25 % du coût total de l'équipement, ou sous forme de prêt à un taux moins élevé, jusqu'à concurrence de 50 % de l'investissement (Haskard, 2009).

- Le *Environmental Quality Incentives Program* est un programme du *Natural Resources Conservation Service* (NRCS) de l'USDA qui est offert sur une base volontaire aux producteurs et qui fournit une assistance financière si ceux-ci choisissent de s'engager à mettre en place des pratiques de conservation sur leur exploitation pour une certaine période. Ce programme consiste en un soutien financier par le versement au producteur d'un paiement qui est basé sur une portion du coût moyen de la mise en place de ces pratiques (USDA, n.d.). Le semis direct et le travail réduit du sol font partie des pratiques pouvant faire l'objet d'un soutien dans le cadre de ce programme.
- Le *Environmental Quality Incentives Program* comporte également un volet « énergie à la ferme », le *2013-EQIP On-farm Energy Initiative*, qui offre aux producteurs la possibilité de réaliser des audits énergétiques sur leur exploitation ainsi qu'une assistance technique et financière pour mettre en place les mesures qui auront été identifiées lors de l'audit. Ce soutien se fait dans le cadre d'un plan de conservation développé avec le producteur, et qui joue le rôle de contrat entre le producteur et le NRCS (Natural Resources Conservation Service, 2013).
- Dans certains États américains, des programmes offrent des diagnostics individuels aux producteurs pour évaluer l'efficacité énergétique de leur exploitation et identifier les mesures à mettre en œuvre afin d'accroître cette efficacité (USDA Rural Development, 2010; North Carolina Farm Energy Efficiency Project, n. d.). Au Vermont, un programme particulièrement efficace « The Efficiency Vermont's Agriculture Program », qui a été adopté par le tiers des producteurs de l'État, a combiné des audits énergétiques sur les fermes avec des efforts d'éducation, une assistance technique, ainsi qu'une assistance financière pour aider les producteurs à mettre en place les mesures recommandées suite aux audits individuels (Brown *et coll.*, 2005).

Les exemples de programmes et d'initiatives présentés ci-dessus illustrent que des actions peuvent être mises en œuvre au Québec afin de réduire la consommation de carburants et de combustibles sur les exploitations, en ciblant les mesures les plus pertinentes au vu des constats présentés à la section 7.1. Certaines de ces initiatives, telles que les subventions et prêts à l'investissement sur les fermes, ou le service de diagnostics individuels, sont ressorties comme étant des mesures régulièrement évoquées lors de la recherche de programmes visant à améliorer l'efficacité énergétique du secteur agricole ailleurs qu'au Québec. Les audits sont un outil de base nécessaire à une meilleure compréhension de la consommation d'énergie à la ferme et que cet exercice est financé tant aux États-Unis qu'en France. De plus, la mise en œuvre des recommandations prévues dans l'audit passe par des programmes d'accompagnement permettant de faire un suivi auprès des entreprises.

D'autres mesures plus spécifiques sont également utilisées, et visent un type d'usage ou de production en particulier. Une recherche plus approfondie des mesures et programmes existants, en particulier aux États-Unis et dans des zones aux productions et au climat similaires à ceux du Québec, pourrait alimenter plus précisément la formulation de propositions d'actions à mettre en place au profit des fermes québécoises pour réduire leur consommation de carburants et de combustibles.

Conclusion

La première phase du mandat a mené à la construction d'un modèle de consommation de carburants et de combustibles sur les entreprises agricoles dans quatre secteurs de production : production de grandes cultures, de lait, de porcs et de volailles. Ce modèle permet d'évaluer la quantité de diesel, d'essence, de propane ou de gaz naturel consommée par une ferme pour réaliser ses diverses activités agricoles.

La précision de ce modèle a été évaluée grâce au concours de deux exploitations agricoles québécoises par secteur de production étudié, pour un total de huit entreprises. Pour ce faire, les usages réalisés sur ces fermes ont été modélisés et nous avons comparé les résultats de ces tests avec les données de consommation réelles des entreprises. De manière globale, nous avons constaté que les écarts des résultats du modèle par rapport à la consommation réelle varient de - 48,1% à - 2,4% pour l'ensemble des opérations culturales utilisant du diesel, qui vont de la préparation du sol à la récolte et au transport des grains ou des fourrages jusqu'au silo ou à l'entrepôt. Cet écart a été calculé sur la base de la modélisation des deux entreprises spécialisées en grandes cultures et des deux entreprises laitières.

Trois entreprises visitées (deux entreprises de grandes cultures et une entreprise laitière) avaient recours au séchage des grains et elles nous ont permis de tester ce volet du modèle. Pour deux d'entre elles, le séchage repose sur l'utilisation de propane, alors que la dernière emploie plutôt le gaz naturel. L'écart varie de -24% à +69,2% entre les résultats du modèle et les dépenses réelles des exploitations. Enfin, les deux entreprises porcines et les deux entreprises avicoles visitées nous ont donné l'occasion de modéliser le chauffage des bâtiments. L'écart entre les résultats du modèle et la consommation réelle varie entre -33,4% et +42,1%.

Par la suite, le modèle a été appliqué à des fermes types représentatives des entreprises québécoises spécialisées dans les secteurs de production visés par l'étude, et ce, afin d'obtenir une approximation de la consommation de carburants et de combustibles par les fermes du Québec. Le portrait ainsi dressé a alors permis de quantifier les dépenses et les volumes de carburants et de combustibles utilisés, de les répartir par type d'usage et, enfin, de déterminer lesquels étaient les plus énergivores.

Pour sa part, la seconde étape du mandat a permis d'établir des plages idéales de consommation de carburants et de combustibles pour les usages modélisés. Pour ce faire, des mesures permettant de réduire la consommation de carburants et de combustibles pour les usages liés aux productions végétales ont été testées avec le modèle. Pour le chauffage des bâtiments d'élevage, des plages idéales de consommation ont plutôt été évaluées grâce à des données obtenues auprès de producteurs spécialisés en production porcine et avicole.

À la suite de cette évaluation, les mesures présentant les meilleures perspectives pour réduire la consommation de carburants et de combustibles sur les fermes du Québec ont été déterminées. Sur cette base, des recommandations d'actions prioritaires ont été établies afin de réduire la consommation de carburants et de combustibles par le secteur agricole québécois.

Bibliographie

- ADEME [Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie] (2006). *Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments d'élevage : Situation technico-économique en 2005 et leviers d'action actuels et futurs*. France : ADEME, 398 p.
- AGRA Presse Hebdo (2012) *Le plan de performance énergétique se cherche un avenir* [En ligne]
<http://www.agrapresse.fr/agriculture-societe/le-plan-de-performance-nerg-tique-se-cherche-un-avenir-art331573-27.html>
- Agrinova (2010) *Analyse de la rentabilité de la réalisation d'audits énergétiques dans le secteur agricole* [En ligne]
http://www.efficaciteenergetique.mrnf.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/agroalimentaire_agricole/EtudeFaisabiliteAuditsEnergAlaFerme_RapportFinal.pdf
- ASAE [American Society of Agricultural Engineers] (2003). *Agricultural Machinery Management Data*, ASAE Standard D497.4 FEB03, 9 p.
- ASAE (2006). *Agricultural Machinery Management*, ASAE Standard EP496.3 FEB2006 (R2011), 7 p.
- ASABE [American Society of Agricultural and Biological Engineers] (2011). *Farm Energy Calculators : Tools for saving money on the farm*, ASAE Standard D497.7 MAR2011 – Agricultural Machinery Management Data ATTRA, pp.1–8.
- Bérubé, C. et collab. (2005). *Coupez la facture de carburant et respirez mieux*. 4 p.
- Bouffard, I. (2008). *Augmentation du coût de l'énergie en agriculture : impacts et solutions*. Présentation donnée au Colloque de l'entrepreneur gestionnaire 2008, CRAAQ. [En ligne]
http://www.craaq.qc.ca/UserFiles/file/Evenements/COLLGES08/Bouffard_PPT.pdf
- Brinker, J.L., Anderley, N. (2012) *Energy Efficiency Data Comparison of Ten Wisconsin Grain Dryer Installations*, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan
- Brodeur, C. (n.d.). *L'efficacité énergétique à la ferme : ça vous concerne aussi!* 19 pp.
- Brodeur, C., Crowley, D., Desmeules, X., Pigeon, S. et St-Arnaud, R.-M. (2008). *La biométhanisation à la ferme*. [En ligne] <http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EVC033.pdf>
- Brown, E., Elliott, R. N., et Nadel, S. (2005). *Energy Efficiency Programs in Agriculture: Design, Success and Lessons Learned*. American Council for an Energy-Efficient Economy, Report number IE051. [En ligne]
<http://files.harc.edu/Sites/GulfCoastCHP/ProjectDevelopment/EnergyEfficiencyProgramsAgriculture.pdf>
- CDPQ [Centre de développement du porc du Québec] (2011). *Mensuel Porc*. Rapport du 6 octobre 2011. 15 p.
- CECPA [Centre d'étude sur les coûts de production en agriculture] (2011). *Étude sur les coûts de production des céréales, du maïs-grain et des oléagineux en 2009 au Québec*. 112 p.
- CPVQ [Conseil des productions végétales du Québec] (2000). *Guide des pratiques de conservation en grandes cultures*.
- CQB [Conseil québécois du biodiesel] (2012). *Le biodiesel : Qu'est-ce que le biodiésel?* [En ligne]
<http://www.biodieselquebec.org/Pages/biodiesel.html>
- Commission européenne (2010) *The CAP towards 2020: Meeting the food, natural resources and territorial challenges of the future*. Disponible en ligne à: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0672:FIN:en:PDF>
- CRAAQ [Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec] (n.d.a) *Module d'évaluation du coût d'utilisation de la machinerie agricole*. [En ligne] http://www.craaq.qc.ca/oeb/default.aspx?ID=25#module_machinerie

- CRAAQ (n.d.b.). Masse moyenne des balles rondes selon leurs dimensions. [En ligne] www.agrireseau.qc.ca/%2Fbovinsboucherie%2Fdocuments%2Fballes%2520rondes.xls
- CRAAQ (2008a). *Audit énergétique sommaire en aviculture*. 11 p.
- CRAAQ (2008b). *Audit énergétique sommaire en grandes cultures*. 12 p.
- CRAAQ (2008c). *Audit énergétique sommaire en production laitière*. 12 p.
- CRAAQ (2008d). *Audit énergétique sommaire en production porcine*. 14 p.
- CRAAQ (2008e). *Porcs naisseur-finisser : Budget*. AGDEX 440/821g. 11 p.
- CRAAQ (2008f). *Poulets à griller : Budget*. AGDEX 452/821. 7 p.
- CRAAQ (2009a). *Budgets de culture : Fourrages*. 16 p.
- CRAAQ (2009b). *Budgets de culture : Céréales*. 26 p.
- CRAAQ (2010). *Séchage des grains : Données techniques*. AGDEX 736, 2010, pp.1–6.
- CRAAQ (2012a). *Machinerie : Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés*. AGDEX 740/825, 2012, p. 25.
- CRAAQ (2012b). *Porcherie : Coûts de construction*. AGDEX 722/440, 2012, pp.1–5.
- Conseil des productions végétales du Québec et Conseil des productions animales du Québec (1998). *La ventilation des porcheries et autres bâtiments d'élevage*. 184 p.
- Conseil québécois des plantes fourragères (2002). *Guide sur la production de foin de commerce*. 36 p.
- Cuthbertson, H. (2006). *Solutions écoénergétiques. Eau chaude, énergie et centres de traite*. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario, fiche technique AGDEX 768/410, juin. 2 p.
- Dalgaard, T., Halberg, N. et Porter, J. R. (2001). *A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 87, pp.51–65.
- Boutet, A. (2009) Coopérative d'utilisation de machinerie agricole. Une solution à une saine gestion. *Partenaires*, Vol 21, no2. Desjardins
- Desir, F. (2006). *Conseils pour réduire votre consommation de carburant*.
- Dumont, A. (2013). *Biomass project involving Quebec greenhouse reflects on last three years* Dyer, J. A. et R. L. Desjardins (2003). *Simulated Farm Fieldwork, Energy Consumption and Related Greenhouse Gas Emissions in Canada*. *Biosystems Engineering* 85(4), pp. 503–513.
- Dyer, J. A. et R. L. Desjardins (2003). *Simulated Farm Fieldwork, Energy Consumption and Related Greenhouse Gas Emissions in Canada*. *Biosystems Engineering* 85(4), pp. 503–513.
- ÉcoRessources Consultants et EcoTec Consultants (2012). *Évaluation économique de la filière de la biomasse forestière destinée aux projets de chaufferies*. 94 p.
- Environnement Canada (2011). *Règlement fédéral sur les carburants renouvelables : Les fournisseurs de biodiesel*. [En ligne] <http://www.ec.gc.ca/Publications/21B51A15-E053-440B-98A5-F6D898278FB9%5C8---ReglementFederalSurLesCarburantsRenouvelablesLesFournisseursDeBiodiesel.pdf>
- FAO (n.d.) *Séchage*, [En ligne] <http://www.fao.org/wairdocs/x5163f/X5163f08.htm>
- Fédération des producteurs de porcs du Québec (2011). *Rapport de l'étude coût de production 2010*. 45 p.
- Fluck, R. C., Panesar, B. S. et Baird, C. D. (1991). *Chapter X. Florida Agricultural Energy Consumption. Model Results*. University of Florida, Energy Information Document 1028. 6 p.
- Garnier et al. (2012) Une approche intégrée : du contrôle des moteurs de tracteurs jusqu'à l'éco-conduite, dans *Atelier Agriculture, Animation : Cédric Garnier, ADEME. Témoignages et projets en cours, Journées techniques Certificats*

- d'économies d'énergies, 18-19 septembre 2012 [Document video, En ligne] http://www.jt-cee.ademe.actesnumeriques.fr/?playlist_tab=1&id_vid=72#
- Gaz Métro (2009). *Évolution du prix du gaz*. [En ligne] <http://www.grandeentreprise.gazmetro.com/prix-du-gaz/evolution-prix-du-gaz.aspx?culture=fr-CA>
- Giguère, M. (2010) *Réflexion avant de vous lancer au semis direct*, La Terre de Chez Nous du 9 avril 2010, [En ligne] <http://www.laterre.ca/cultures/reflexion-avant-de-vous-lancer-au-semis-direct/>
- Groupe AGÉCO (2006). *Profil de consommation d'énergie à la ferme dans six des principaux secteurs de production agricole du Québec Rapport n° 1*. Québec. 75 p.
- Groupe AGÉCO. (2008). L'efficacité énergétique dans le secteur des grandes cultures.
- Groupe AGÉCO (2011). *Enquête sur les coûts de production des entreprises laitières du Québec (CPLAIT)*. Juin.
- Haskard, J. (2009) *Tapping into the USDA Rural Energy for America Program* [En ligne] <http://www.cleanenergyresourceteams.org/get-answers/24/03/2009/tapping-usda-rural-energy-america-program>
- Heidari, M.D., Omid, M. & Akram, A. (2011). *Energy efficiency and econometric analysis of broiler production farms*. *Energy*, 36(11), p.6536–6541. [En ligne] <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544211006086> (page consultée le 3 mai 2012)
- Heidari, M. D., Omid, M. et Akram, A. (2011). « Optimization of Energy Consumption of Broiler Production Farms using Data Envelopment Analysis Approach » dans *Modern Applied Science*, 5(3). p.69–78.
- Hiremath, R.B., Shikha, S. & Ravindranath, N.H. (2007). « Decentralized energy planning; modeling and application – a review » dans *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(5). p.729–752. [En ligne] <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032105000894> (page consultée le 12 mars 2012).
- ITAVI (2008). *Les consommations d'énergie dans les bâtiments avicoles*. 25 p.
- Institut de l'élevage (2009). *Les consommations d'énergie en bâtiment d'élevage laitier. Repères de consommations et pistes d'économies*. 12 p.
- Institut du Porc (2006). *Les consommations énergétiques dans les bâtiments porcins*. 6 p.
- ISQ [Institut de la Statistique du Québec] (2012a). *Superficie des grandes cultures, rendement à l'hectare et production, par région administrative, Québec, 2011*. [En ligne] http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/filr_bioal/culture/culture/gc_nov_2011.htm
- ISQ [Institut de la Statistique du Québec] (2012b). *Inventaire de fin de semestre de porcs, par région administrative, Québec, 2011-2012*. [En ligne] http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/filr_bioal/elevage/porc/porcs_ra_2011-2012.html
- Jebaraj, S. & Iniyar, S. (2006). *A review of energy models*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(4), p.281–311. [En ligne] <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032104001261> (page consultée le 2 mars 2012)
- Kythreotou, N., Florides, G. et Tassou, S. (2012). *A proposed methodology for the calculation of direct consumption of fossil fuels and electricity for livestock breeding, and its application to Cyprus*. *Energy*, 40(1), p.226–235.
- L.B. White Co. (2002). *Guardian Forced Air Heaters*. 2 p.
- MAPAQ [Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec] (2013). *Appui aux audits énergétiques en serriculture* [En ligne] <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/md/programmesliste/productionhorticole/Pages/Appuiauxauditsenergetiquesenserriculture.aspx>
- MAPAQ (2011). *Monographie de l'industrie de la volaille au Québec*. Québec. 57 p.
- MAPAQ (2010). *Monographie de l'industrie porcine au Québec*. Québec. 95 p.

- MAPAQ (2010b) *Cadre de référence pour la mise en place et le développement des CUMA et des CUMO. Volume 1 : la coopérative d'utilisation du matériel agricole*. 30 p
- MAPAQ (2009). *Portrait sommaire de l'industrie laitière québécoise 2009*. Québec. 53 p.
- MAPAQ (n.d.) *Programme d'appui au développement des entreprises agricoles. Résumé du programme*
- MAPAQ (n.d.) (b) *Programme d'appui aux initiatives de partage de main d'œuvre et de matériel agricole*
- MAPAQ et Agence de l'efficacité énergétique du Québec (2010). *Plan de performance énergétique des exploitations agricoles 2009-2013 de la France: Le Québec dispose-t-il de mesures similaires?*
- Marcon, M. (2009). *Economies d'énergie en élevage de porcs* (pp. 1–33). IFIP Institut du Porc.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire (2010) *Prospective Agriculture énergie 2030. L'agriculture face aux défis énergétiques*. [En ligne]
<http://agriculture.gouv.fr/prospective-agriculture-energie>
- Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (2009). *Plan performance énergétique des exploitations agricoles 2009-2013*. [En ligne] agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/plan_PPE.pdf
- Ministère de l'Alimentation, de l'agriculture et de la pêche (2009) *Plan performance énergétique* [En ligne]
<http://www.agriculture.gouv.fr.zopeclasse1.cedre.nexen.net/sections/thematiques/exploitations-agricoles/plan-performance>
- Mousavi-Avval, S. H. et collab. (2011). *Optimization of energy consumption for soybean production using Data Envelopment Analysis (DEA) approach*. *Applied Energy*, 88(11), pp.3765–3772.
- MRN [Ministère des Ressources naturelles] (2013). *Statistiques énergétiques*. [En ligne]
<http://www.mrn.gouv.qc.ca/energie/statistiques/index.jsp>
- MRN [Ministère des Ressources naturelles] (2012). *Prix du gaz naturel*. [En ligne]
<http://www.mrn.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-energie-prix-gaz.jsp>
- National Center for Appropriate Technology (2009). *Farm Energy Calculators: Evaluations and Recommendations*. 54 p.
- Natural Resources Conservation Service (2013) *2013 EQIP On-Farm Energy Initiative* [En ligne]
<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/programs/financial/eqip/?cid=stelprdb1046252>
- National Sustainable Agriculture Coalition (n.d.) *Rural Energy for America Program* [En ligne]
<http://sustainableagriculture.net/publications/grassrootsguide/renewable-energy/renewable-energy-energy-efficiency/>
- North Carolina Farm Energy Efficiency Project (n.d.). *Welcome to the Farm Energy Efficiency Project*. [En ligne]
<http://www.ncfarmenergy.org/index.cfm>
- OEE [Office de l'Efficacité Énergétique] (2012). *Tableau de la Base de données complète sur la consommation d'énergie*. Ressources naturelles Canada. [En ligne]
http://oe.mcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/tableauxevolution2/agr_qc_1_f_4.cfm?attr=0
- OMAFRA. (n.d.a). *Amélioration de l'efficacité énergétique dans les installations d'élevage*. [En ligne]
<http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/06-014.htm>
- OMAFRA. (n.d.b). *Séchage du maïs à l'air ambiant*. [En ligne] <http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/96-124.htm>
- OMAFRA (2009). *Maïs : récolte et entreposage*. [En ligne]
<http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/pub811/1harvesting.htm>
- Pellerin, D. (1998). *Économiques ou pas les fourrages, faudrait savoir!* 20 p.
- Rahimi-Adjadi, F.et& Abbaspour-Gilandeh, Y. (2011). *Artificial Neural Network and stepwise multiple range regression methods for prediction of tractor fuel consumption*. *Measurement*. 44(10). p. 2104–2111.

- Ramedani, Z., Rafiee, S. et Heidari, M. D. (2011). *An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms*. *Energy*, 36(11). p. 6340–6344.
- Régie de l'énergie du Québec (2011a). *Carburant diesel - Indicateur quotidien du coût d'acquisition (IQCA)*. [En ligne] <http://www.regie-energie.qc.ca/energie/IQCA/iqcad.pdf>
- Régie de l'énergie du Québec (2011b). *Carburant diesel. Prix moyen affiché*. [En ligne] http://www.regie-energie.qc.ca/energie/archives/diesel/diesel_moyen2010.pdf
- Régie de l'énergie du Québec (2011c). *Essence ordinaire. Indicateur quotidien du coût d'acquisition (IQCA)*. [En ligne] http://www.regie-energie.qc.ca/energie/archives/iqca/ordinaire_iqca_regions2011.pdf
- Régie de l'énergie du Québec (2011d). *Essence ordinaire. Prix moyen affiché*. [En ligne] http://www.regie-energie.qc.ca/energie/archives/ordinaire/ordinaire_moyen2010.pdf
- Ressources naturelles Canada (2011). *Éthanol*. [En ligne] <http://oee.mcan.gc.ca/transports/carburants-remplacement/carburants-faits/ethanol/6266>
- Revenu Québec (2012). *Tableau des taux de taxe applicables dans les différentes régions du Québec*. [En ligne] <http://www.revenuquebec.ca/fr/sep/f/formulaires/ca/ca-1.aspx>
- Rhéaume, M.-A. (2004). *Estimation de la récolte de bois de chauffage sur le territoire de la Montérégie : méthode et indicateurs de suivi*. [En ligne] <http://www.afm.qc.ca/media-acceuil-menu/pdf2004/boischauffageMonteregie.pdf>
- Roy, J. (2010). *Chauffage à la biomasse dans les poulaillers*. La Terre de Chez Nous. [En ligne] <http://www.laterre.ca/environnement/chauffage-la-biomasse-dans-les-poulaillers/>
- Safa, M., Samarasinghe, S. et Mohssen, M. (2010). *Determination of fuel consumption and indirect factors affecting it in wheat production in Canterbury, New Zealand*. *Energy*, 35(12). p. 5400–5405.
- Savoie, P. (2007). « Silo couloir pour l'herbe et le maïs » dans *Symposium sur les bovins laitiers « Repenser nos modèles »*. CRAAQ, 31^e éd. 22 p.
- Statistique Canada (2011). *Données sur les exploitations et les exploitants agricoles*. Recensement de l'agriculture de 2011 95-640-XWF au catalogue.
- Statistique Canada (2012a). *Statistiques de bovins*. No 23-012-X au catalogue. 72 p.
- Statistique Canada (2012b). *Statistiques de porcs, Deuxième trimestre de 2012*. No 23-010-X au catalogue. 23 p.
- Statistique Canada (2012c). *Production de viande de poule et poulet, poids et valeur à la ferme*. Tableau 003-0019.
- Statistique Canada (2009). *Le Recensement de l'agriculture dénombre 30 675 fermes au Québec*. [En ligne] <http://www.statcan.gc.ca/ca-ra2006/analysis-analyses/que-qc-fra.htm>
- St-Pierre, N. (2013). « L'autoguidage diminue-t-il vraiment la consommation de carburant? », dans *L'Utiliterre*, 3 mars 2013, page 30-35.
- Trudelle, M. (2008). « Des solutions énergétiques à la portée des producteurs porcins » dans *Porc Québec*, pp.31–34.
- UPA Mauricie (2011). *Efficacité énergétique et énergies renouvelables*. [En ligne] <http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/Fiche%20eff%20%20C3%A9ner%20%20Fran%20%20C3%A7ois%20Gagnon-mcb.pdf>
- USDA (2010) *Advancing Renewable Energy*. [En ligne] [http://www.usda.gov/energy/maps/resources/brochure/\\$file/renewable_energy_brochure.pdf](http://www.usda.gov/energy/maps/resources/brochure/$file/renewable_energy_brochure.pdf)
- USDA Rural Development (2010). *Rural Energy for America Program*. Farm Bill Section 9007 - 7CFR 4280-Subpart B. [En ligne] http://www.msue.msu.edu/objects/content_revision/download.cfm/revision_id.575754/workspace_id.557021/REAP%20Update%20flyer.pdf

USDA (n.d.) *Environmental Quality Incentives Program* [En ligne]

<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/programs/financial/eqip/>

U. S. Energy Information Administration (2012). *Annual Energy Outlook 2012*. [En ligne]

<http://www.eia.gov/forecasts/aeo/>

Veysset, P., Lherm, M. et Bébin, D. (2010). « Energy consumption, greenhouse gas emissions and economic performance assessments in French Charolais suckler cattle farms: Model-based analysis and forecasts » dans *Agricultural Systems*. 103(1), pp.41–50.

Waligora, C. (2004) *Suisse, le semis direct est la seule alternative*. [En ligne] <http://agriculture-de-conservation.com/Suisse-le-semis-direct-est-la.html>

Wiens, M. J. *et collab.* (2008). « Energy requirements for transport and surface application of liquid pig manure in Manitoba, Canada » dans *Agricultural Systems* 98(2), pp.74–81.

Annexes

Annexe 1. Algorithmes et données utilisés pour modéliser la consommation de carburants et de combustibles en production de grandes cultures et de cultures fourragères

La consommation de diesel du tracteur utilisé pour un passage est calculée en utilisant l'équation empirique suivante (ASAE, 2011) :

$$\text{Consommation (L/kWh)} = (0,22 + 0,096/X)(1 - (N - 1)(0,45X - 0,877))$$

où X est le ratio de la puissance nécessaire pour effectuer le travail ($P_{\text{nécessaire}}$) à la puissance disponible par le tracteur (P_{tracteur}) et N est le ratio de la vitesse partielle à la pleine vitesse du moteur du tracteur. Pour toutes les évaluations réalisées dans le cadre de ce mandat, un N de 0,9 a été utilisé (Pelletier, communication personnelle).

$P_{\text{nécessaire}}$ est la somme de la puissance de tirage, de la puissance à la prise de force, de la puissance hydraulique et de la puissance électrique (ASAE, 2006) :

$$P_{\text{nécessaire}} \text{ (kW)} = P_{\text{tirage}} / (E_m \times E_t) + P_{\text{pdf}} + P_{\text{hyd}} + P_{\text{elec}}$$

où E_m est un coefficient d'efficacité mécanique de la transmission et E_t est un coefficient pour la perte de puissance lors de la traction. E_m est typiquement de 0,96 pour la majorité des tracteurs (ASAE, 2006) et E_t varie selon le type de sol et le type de traction du tracteur. Les valeurs de E_t utilisées sont présentées dans le tableau 41.

TABLEAU 41 : VALEURS DE E_t SELON LE TYPE DE SOL ET DE TRACTION

Type de sol	Type de traction			
	2 roues motrices	4 roues motrices	Traction avant mécanique	Chenilles
sable/mou	0,55	0,70	0,65	0,78
loam/travaillé	0,67	0,75	0,73	0,80
argile/ferme	0,72	0,78	0,77	0,82
béton/dur	0,87	0,88	0,87	0,88

Source : ASAE, 2006

La puissance de tirage est (ASAE, 2006) :

$$P_{\text{tirage}} \text{ (kW)} = (E_{\text{tirage}} \text{ (N)} \times v \text{ (km/h)}) / 3600$$

où E_{tirage} est l'effort de tirage et v est la vitesse de travail.

L'effort de tirage est (ASAE, 2006) :

$$E_{\text{tirage}} \text{ (N)} = R_{\text{roul}} + R_{\text{sol}}$$

où R_{roul} est la résistance au roulement du tracteur et R_{sol} est la résistance exercée par le sol et les cultures.

La résistance au roulement est (ASAE, 2006) :

$$R_{\text{roul}} \text{ (N)} = 9,8\rho m$$

où ρ est le coefficient de résistance au roulement selon le type de sol (0,1068 pour le sable, 0,0745 pour le loam et 0,0643 pour l'argile) et m est la charge dynamique sur la roue en kg, c'est-à-dire le poids total du tracteur et de l'équipement. Nous avons estimé que le poids du tracteur correspond à 59 kg par kW de puissance. Il s'agit de la même hypothèse que celle utilisée par le CRAAQ, et elle est basée sur une moyenne de 144 tracteurs de 45 à 250 kW de puissance. Les poids des équipements sont aussi ceux utilisés par le CRAAQ.

La résistance du sol et des cultures est (ASAE, 2003) :

$$R_{\text{sol}} \text{ (N)} = F \times L \times P \times [A + Bv + Cv^2]$$

où :

F = Paramètre variable selon la texture du sol

L = La largeur du travail (m)

P = La profondeur du travail (cm)

A, B et C = Paramètres spécifiques à l'équipement

v = La vitesse du travail (km/h)

Les paramètres F, A, B et C viennent du Standard D497 du American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 2003) et sont reproduits au tableau 42.

La puissance à la prise de force est (ASAE, 2006) :

$$P_{pdf} \text{ (kW)} = a + bL + cQ$$

où :

a, b, c = Paramètres spécifiques à l'équipement

L = La largeur du travail (m)

Q = La quantité récoltée (t humide/h)

Les paramètres a, b et c viennent du Standard D497 du ASAE (ASAE, 2003) et sont également reproduits au tableau 42.

Une fois que la consommation de carburant en litres par heure est obtenue, il suffit de multiplier ce chiffre par le temps nécessaire pour le passage en question pour calculer la consommation de carburant en litres. La consommation par usage est calculée en faisant la somme de tous les passages pour cet usage.

TABLEAU 42 : PARAMÈTRES SPÉCIFIQUES AUX ÉQUIPEMENTS

Équipement	Paramètres					
	A	B	C	a	b	c
Charrue	652	0	5,1	0	0	0
Chisel	369	21,9	0	0	0	0
Herse à disques	309	16	0	0	0	0
Vibroculteur	46	2,8	0	0	0	0
Cultivateur	46	2,8	0	0	0	0
Sarcloir en rang	341,21	17,06	0	0	0	0
Houe rotative	600	0	0	0	0	0
Peigne (herse étrille)	210	10,7	0	0	0	0
Sous-soleuse	226	0	1,8	0	0	0
Semoir céréales semis direct	2880	0	0	0	0	0
Semoir céréales type Brillon	3000	0	0	0	0	0
Semoir céréales en ligne	1200	0	0	0	0	0
Semoir maïs conventionnel	1500	0	0	0	0	0
Semoir maïs semis direct	2400	0	0	0	0	0
Rouleau type Brillon	600	0	0	0	0	0
Épandeur engrais minéral	0	0	0	0	0	0
Pulvérisateur	0	0	0	0	0	0
Citerne à lisier	0	0	0	0	0	0
Épandeur fumier	0	0	0	0	0	0,2
Faucheuse à disques	0	0	0	0	8	0
Giro-faneur	0	0	0	0	1,5	0
Giro-râteau	0	0	0	0	2	0
Râteau fileur (à roues)	0	0	0	0	2	0
Doubleur d'andains	0	0	0	0	1,3	0
Presse petites balles rectangulaires	0	0	0	2	0	1
Presse grosses balles rectangulaires	0	0	0	4	0	1,3
Presse balles rondes	0	0	0	4	0	1,1
Enrobeuse	0	0	0	0	0	0
Fourragère ensilage foin	0	0	0	6	0	4
Fourragère automotrice foin	0	0	0	6	0	4
Fourragère ensilage maïs	0	0	0	6	0	5,7

Équipement	Paramètres					
	A	B	C	a	b	c
Fourragère automotrice maïs	0	0	0	6	0	5,7
Souffleur à ensilage	0	0	0	0	0	0,9
Andaineuse à canola	0	0	0	0	1,3	0
Moissonneuse-batteuse soya	0	0	0	20	0	3,6
Moissonneuse-batteuse céréales	0	0	0	20	0	3,6
Moissonneuse-batteuse maïs	0	0	0	35	0	1,6
Moissonneuse-batteuse tractée	0	0	0	20	0	3,6
Boîte à grain	0	0	0	0	0	0
Boîte à ensilage	0	0	0	0	0	0
Plate-forme	0	0	0	0	0	0
Remorque	0	0	0	0	0	0
Transporteur de balles	0	0	0	0	0	0

Annexe 2. Algorithmes et données utilisés pour modéliser la consommation de carburants et de combustibles dans les bâtiments d'élevage

Production laitière

La consommation de carburant dans les laiteries provient principalement du chauffage de l'eau, auquel s'ajoute la consommation de carburant pour des usages non spécifiques aux exploitations laitières, tels que le fonctionnement de la génératrice et de la camionnette pour le transport. Les consommations de carburants de la génératrice et de la camionnette vont être déterminées par une constante, fixée à partir des données de consommation relevées dans la littérature ainsi que des observations faites sur les exploitations testées. Pour calculer le carburant nécessaire pour le chauffage de l'eau, le volume d'eau devant être chauffé doit d'abord être déterminé. Selon Cuthbertson (2006), une vache en lactation en salles entravée a besoin de 14 L d'eau chaude par jour, alors que dans les salles de traite, le besoin en eau chaude est de 17 L par jour. Pour calculer l'énergie nécessaire pour chauffer l'eau, on suppose que la température de l'eau des puits est de 10 °C et que celle de l'eau chaude est de 77 °C (Cuthbertson, 2006). Il est donc nécessaire d'augmenter la température de l'eau de 67 °C. L'énergie requise pour y parvenir est calculée de la manière suivante :

Capacité thermique spécifique de l'eau x élévation de température x densité de l'eau

$$1 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \times 67^\circ\text{C} \times 1000 \text{ g/L} \times 4,2 \text{ J/cal} \times 1\text{kWh}/3,6 \text{ MJ} = 0,078 \text{ kWh/L}$$

Puisque nous connaissons le nombre de litres d'eau requis et l'énergie nécessaire pour les amener à la température souhaitée, il suffit de connaître la consommation énergétique du chauffe-eau (litres de carburant par kWh produit) pour calculer le nombre de litres de combustibles consommés.

Productions porcine et avicole

La consommation de carburants et de combustibles en productions porcine et avicole est imputable principalement au chauffage des bâtiments. Puisque les informations relatives à l'efficacité ou à la consommation des équipements de chauffage utilisées dans les productions porcine et avicole sont difficiles à obtenir, les besoins en combustible pour le chauffage des espaces sont calculés à l'aide de données de consommation moyenne par animal. Plus précisément, en élevage porcin, le montant total de gaz propane consommé pour le chauffage a été estimé en multipliant le nombre de porcs par la valeur moyenne des dépenses annuelles de propane par porc (1,65 \$/porc), d'une part, et en multipliant le nombre de truies présentes sur l'exploitation par la valeur moyenne des dépenses annuelles de propane par truie (40,53 \$/truie), d'autre part. Ces valeurs moyennes de consommation de propane par porc ont été obtenues auprès du CDPQ (2011). Cette approche a été testée avec les fermes utilisées pour tester le modèle, même si celles-ci pouvaient fournir des données sur leurs dépenses totales annuelles en propane.

Une approche similaire a été employée pour estimer la consommation de combustible nécessaire au chauffage des espaces dans les entreprises avicoles. Dans ce cas, le calcul se base sur un coût unitaire de consommation pour le chauffage de 7,5 cents par kg de poulet (CRAAQ, 2008f). Un poids moyen de 1,65 kg/poulet a par ailleurs été utilisé pour ces évaluations (Statistique Canada, 2012c).

Annexe 3. Caractéristiques des exploitations en grandes cultures utilisées pour tester le modèle

Exploitation spécialisée en grandes cultures n° 1

La première exploitation produit du blé, du maïs et du soya sur une superficie totale de 133 hectares. Le sol est de type loameux. L'entreprise réalise elle-même la majorité des opérations culturales. Seule la récolte du blé est réalisée à forfait, et n'a donc pas été considérée dans la modélisation.

Les tableaux ci-dessous présentent le parc de tracteurs de l'exploitation, les détails des opérations culturales pratiquées et de l'équipement utilisé correspondant pour chacune des trois cultures, ainsi que la consommation réelle en carburants et en combustibles de l'entreprise.

TABLEAU 43 : PARC DE TRACTEURS DE L'EXPLOITATION EN GRANDES CULTURES N° 1

Tracteur	Puissance du tracteur	Puissance estimée à la prise de force*	Traction
Tracteur 1	220 ch - 164 kW	182 ch - 136 kW	4 roues motrices
Tracteur 2	110 ch - 82 kW	91 ch - 68 kW	4 roues motrices
Tracteur 3	98 ch - 73 kW	81 ch - 61 kW	4 roues motrices
Tracteur 4	60 ch - 45 kW	50 ch - 37 kW	2 roues motrices

* Nous utilisons un facteur de conversion de 0,83 pour estimer la puissance à la prise de force à partir de la puissance brute au volant du tracteur (ASAE, 2003).

TABLEAU 44 : CARACTÉRISTIQUES DES USAGES EFFECTUÉS PAR L'EXPLOITATION EN GRANDES CULTURES N° 1 ET ÉQUIPEMENTS UTILISÉS

Soya

Superficie 22,5 hectares

Rendement 4,2 t/ha

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Préparation du sol	Chisel	11 étançons	Tracteur 1	15	1	10
	Vibroculteur	Largeur : 6,6 m	Tracteur 1	10	2	2,5
Fertilisation	Épandeur d'engrais	Largeur : 15,2 m Capacité : 4 t	Tracteur 4	-	1	1,5
Semis	Semoir en ligne	8 rangs Largeur : 6,6 m	Tracteur 3	-	1	5,5
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	Capacité : 1 900 L	Tracteur 4	-	1	5
Récolte	Moissonneuse-batteuse	Automotrice Puissance : 149 kW	-	-	1	15
Transport	Boîte à grains	Capacité : 18,2 m ³ (14 tonnes de soya)	Tracteur 2	-	-	5
Dérochage	Remorque	-	Tracteur 4	-	1	6

Blé

Superficie : 22,5 hectares

Rendement : 3,5 t/ha

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Nivelage	Niveleuse	Largeur : 12 m	Tracteur 1	-	1	30
Préparation du sol	Chisel	11 étançons	Tracteur 1	15	1	10
	Vibroculteur	Largeur : 6,6 m	Tracteur 1	10	2	2,5
Fertilisation	Épandeur d'engrais	Capacité : 4 t	Tracteur 4	-	1	2
	Pelle pour charger fumier	-	Tracteur 2	-	-	4
	Épandeur de fumier	Capacité : 8,6 m ³	Tracteur 4	-	1	16

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Semis	Semoir en ligne	Largeur : 4,5 m	Tracteur 3	-	1	13
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	Capacité : 1 900 L	Tracteur 4	-	1	5
Transport	Boîte à grains	Capacité : 22,9 m ³ (17,5 tonnes de blé)	Tracteur 2	-	-	3
Dérochage	Remorque	-	Tracteur 4	-	1	6

Maïs

Superficie 88,0 hectares

Rendement 10,0 t/ha

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Préparation du sol	Chisel	11 étançons	Tracteur 1	15	1	60
	Vibroculteur	Largeur : 6,6 m	Tracteur 1	10	3	10
Fertilisation	Épandeur de fumier	Capacité : 8,6 m ³	Tracteur 4	-	1	20
	Épandeur d'engrais	Largeur : 15,2 m Capacité : 4 t	Tracteur 4	-	1	5
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	Capacité : 1 900 L	Tracteur 4	-	2	25
Semis	Semoir en ligne	8 rangs Largeur : 6,6 m	Tracteur 3	-	1	38
	Boîte à grains (pour transport semences)	Capacité : 5 t	Tracteur 4	-	-	1,5
Récolte	Moissonneuse-batteuse	Automotrice Puissance : 149 kW	-	-	1	60
Transport au champ	Boîte à grains	Capacité : 18,2 m ³ (13,5 tonnes de maïs)	Tracteur 3	-	1	10
Enlèvement des résidus	Déchiqueteur	-	Tracteur 2	-	-	15

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Transport champ-silo	Boîte à grains	Capacité : 18,2 m ³ (13,5 tonnes de maïs)	Tracteur 2	-	-	35
Séchage	Séchoir au propane	-	-	-	-	-

TABEAU 45 : CONSOMMATION RÉELLE EN DIESEL, EN ESSENCE ORDINAIRE ET EN PROPANE DE L'EXPLOITATION EN GRANDES CULTURES N° 1

Usage	Carburant ou combustible	Dépenses en 2010 (\$)
Camions de ferme	Essence	4 700
Machinerie agricole	Diesel	12 800
Séchage des grains	Propane	10 500

Exploitation en grandes cultures n° 2

La seconde exploitation auprès de laquelle le modèle a été testé cultive au total 154 hectares et produit du soya, du blé et du maïs. Le type de sol est de l'argile Saint-Urbain.

Les tableaux ci-dessous présentent le parc de tracteurs de l'exploitation, les détails des opérations culturales pratiquées et de l'équipement utilisé correspondant pour chacune des trois cultures, ainsi que la consommation réelle en carburants et en combustibles de l'entreprise.

TABEAU 46 : PARC DE TRACTEURS DE L'EXPLOITATION EN GRANDES CULTURES N° 2

Tracteur	Puissance du tracteur	Puissance estimée à la prise de force*	Traction
Tracteur 1	210 ch - 157 kW	174 ch - 130 kW	4 roues motrices
Tracteur 2	110 ch - 82 kW	91 ch - 68 kW	4 roues motrices
Tracteur 3	95 ch - 71 kW	79 ch - 59 kW	4 roues motrices
Tracteur 4	75 ch - 56 kW	62 ch - 46 kW	4 roues motrices
Tracteur 5	55 ch - 41 kW	46 ch - 34 kW	2 roues motrices

* Nous utilisons un facteur de conversion de 0,83 pour estimer la puissance à la prise de force à partir de la puissance brute au volant du tracteur (ASAE, 2003).

TABLEAU 47 : CARACTÉRISTIQUES DES USAGES EFFECTUÉS PAR L'EXPLOITATION EN GRANDES CULTURES N° 2 ET ÉQUIPEMENTS UTILISÉS

Soya

Superficie 60,7 hectares

Rendement 4,32 t/ha

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Préparation du sol	Charrue	3 versoirs	Tracteur 1	20	1	83
	Vibroculteur	Largeur : 6,6 m	Tracteur 1	5	1	65
	Vibroculteur	Largeur : 6,6 m	Tracteur 1	5	1	25
Sarclage	Sarcler	6 rangs	Tracteur 4	-	1	60
Semis	Semoir à maïs	6 rangs	Tracteur 3	-	1	40
	Voiture à grains	Capacité : 7 t	Tracteur 4	-	-	10
	Voiture à grains	Capacité : 5 t	Tracteur 5	-	-	10
	Rouleau	Largeur : 7 m	Tracteur 4	-	1	16,5
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	Capacité : 1894 L	Tracteur 2	-	1	15
Récolte	Moissonneuse-batteuse	Automotrice Puissance : 149 kW	-	-	1	40
Transport champ-silo	Voitures à grains	Capacité : 8 t	Tracteurs 2 et 3	-	-	6
Remplissage du silo	Vis à grains	-	Tracteur 4	-	-	5
Vidage du silo	Vis à grains	-	Tracteur 5	-	-	7

Blé

Superficie 20,2 hectares

Rendement 3,71 t/ha

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Préparation du sol	Chisel	9 étançons	Tracteur 1	15	1	10
	Vibroculteur	Largeur : 6,6 m	Tracteur 1	5	2	4
Engrais	Épandeur d'engrais	Capacité : 4 t	Tracteur 2	-	1	2
Semis	Semoir en ligne	Largeur : 4 m	Tracteur 2	-	1	8
	Rouleau	Largeur : 7 m	Tracteur 4	-	1	2,5
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	Capacité : 1894 L	Tracteur 2	-	1	4
Récolte	Moissonneuse-batteuse	Automotrice Puissance : 149 kW	-	-	1	16
Transport	Voiture à grains	9 tonnes	Tracteur 2	-	-	1
Remplissage du silo	Vis à grains	-	Tracteur 4	-	-	2
Vidage du silo	Vis à grains	-	Tracteur 4	-	-	2

Maïs

Superficie 72,8 hectares

Rendement 11,12 t/ha

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Préparation du sol	Chisel	9 étançons	Tracteur 1	15	1	36
	Vibroculteur	Largeur : 6,6 m	Tracteur 1	5	2	15
Engrais	Épandeur d'engrais	Capacité : 4 t	Tracteur 2	-	1	7,5
Sarclage	Sarcler	6 rangs	Tracteur 4	-	1	55

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Semis	Semoir à maïs	6 rangs	Tracteur 3	-	1	50
	Voiture à grains	Capacité : 7 t	Tracteur 5	-	-	5
	Rouleau	Largeur : 7 m	Tracteur 4	-	1	12
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	Capacité : 1894 L	Tracteur 2	-	1	20
Récolte	Moissonneuse-batteuse	Automotrice Puissance : 149 kW	-	-	1	32,4
Transport	Voiture à grains	Capacité : 9 t	Tracteurs 2 et 3	-	-	70
Séchage	Séchoir au gaz naturel	-	-	-	-	-
Remplissage du silo	Vis à grains	-	Tracteur 5	-	-	13,5
Vidage du silo	Vis à grains	-	Tracteur 4	-	-	10

TABLEAU 48 : CONSOMMATION RÉELLE EN DIESEL, EN ESSENCE ORDINAIRE ET EN GAZ NATUREL DE L'EXPLOITATION EN GRANDES CULTURES N° 2

Usage	Carburant ou combustible	Dépenses en 2010 (\$)
Camions de ferme	Essence	3120
Machinerie agricole	Diesel	12 000
Séchage des grains	Gaz naturel	5500

Annexe 4. Caractéristiques des exploitations porcines utilisées pour tester le modèle

Exploitation porcine n° 1

La première exploitation porcine est un naisseur-engraisseur indépendant, ne possédant pas de terres en cultures.

Les tableaux ci-dessous présentent les principales caractéristiques de l'exploitation : nombre d'animaux, parc de tracteurs, caractéristiques des bâtiments d'élevage, caractéristiques des usages consommateurs de carburants ou de combustibles, et consommation réelle de carburants et de combustibles.

TABLEAU 49 : NOMBRE MOYEN D'ANIMAUX PRÉSENTS SUR L'EXPLOITATION PORCINE N° 1

Truies	90
Porcelets non sevrés	150
Porcelets sevrés (7-28 kg)	275
Porcs (28-120 kg)*	600*

* Trois lots de porcs sont transférés en engraissement chaque année, pour un total de 1 800 porcs produits.

TABLEAU 50 : CARACTÉRISTIQUES DES BÂTIMENTS D'ÉLEVAGE DE L'EXPLOITATION PORCINE N° 1

Bâtiments	Dimensions	Chauffage	Nombre	Puissance	Énergie
1) Maternité	41 m X 11 m	Lampes infrarouges	22	175 kW	Électrique
		Éleveuses	5	30 000 BTU	Propane
2) Engraissement sous gestion liquide	46 m X 11 m	Aérothermes	7	40 000 BTU	Propane
		Éleveuses	1	30 000 BTU	Propane
3) Engraissement – litière	12 m X 18 m	Aucun	-	-	-

TABLEAU 51 : CONSOMMATION RÉELLE EN PROPANE DE L'EXPLOITATION PORCINE N° 1

Usage	Combustible	Dépenses en 2010 (\$)
Chauffage des bâtiments	Propane	7 780

Exploitation porcine n° 2

La seconde exploitation porcine est un engraisseur fonctionnant en intégration. Elle compte trois bâtiments d'engraissement. La gestion du fumier se fait avec des équipements totalement électriques. Le chauffage fonctionne au propane. L'exploitation produit également des grandes cultures et du lait qui n'ont pas été inclus dans le test parce que la majorité des opérations sont réalisées à forfait par d'autres entrepreneurs.

Les tableaux ci-dessous présentent les principales caractéristiques de l'exploitation : nombre d'animaux, parc de tracteurs, caractéristiques des bâtiments d'élevage, caractéristiques des usages consommateurs de carburants ou de combustibles, et consommation réelle de carburants et de combustibles.

TABLEAU 52 : NOMBRE MOYEN DE PORCS PRÉSENTS SUR L'EXPLOITATION PORCINE N° 2

	Nombre de porcs
Bâtiment 1	725
Bâtiment 2	800
Bâtiment 3	800

TABLEAU 53 : CARACTÉRISTIQUES DES BÂTIMENTS DE L'EXPLOITATION PORCINE N° 2

Bâtiments	Dimensions	Chauffage	Nombre	Puissance	Énergie
1	160 pi X 40 pi	Aérothermes	2	60 kBTU	Propane
2	190 pi X 40 pi	Aérothermes	3	80 kBTU	Propane
3	170 pi X 40 pi	Aérothermes	4	75 kBTU	Propane

TABLEAU 54 : CONSOMMATION RÉELLE EN PROPANE DE L'EXPLOITATION PORCINE N° 2

Usage	Combustible	Dépenses en 2010 (\$)
Chauffage des bâtiments	Propane	6 603

Annexe 5. Caractéristiques des exploitations avicoles utilisées pour tester le modèle

Exploitation avicole n° 1

La première exploitation avicole comporte cinq poulaillers et fait partie d'un groupe qui compte plusieurs sites de production situés dans des localités différentes. Le site a été étudié isolément du reste du groupe, car il possède une comptabilité propre, notamment en ce qui concerne les factures de consommation de carburants et de combustibles. Les tableaux suivants présentent les caractéristiques du site en question.

TABLEAU 55 : NOMBRE MOYEN D'ANIMAUX PRÉSENTS SUR L'EXPLOITATION AVICOLE N° 1

Type d'animaux	Capacité de l'élevage
Poulet de chair	De 20 000 (été) à 25 000 (hiver)
Poulette	De 28 000 (été) à 32 000 (hiver)

TABLEAU 56 : CARACTÉRISTIQUES DES BÂTIMENTS D'ÉLEVAGE DE L'EXPLOITATION AVICOLE – TEST N° 1

Bâtiments	Superficie totale (m ²)	Nombre d'étages	Chauffage	Nombre	Puissance	Énergie
Poulailler n° 1	1 405	2	Éleveuses	21	40 000 BTU	Gaz naturel
Poulailler n° 2	1 418	2	Éleveuses	21	40 000 BTU	Gaz naturel
Poulailler n° 3	1 418	2	Éleveuses	21	40 000 BTU	Gaz naturel
Poulailler n° 4	1 498	2	Éleveuses	21	40 000 BTU	Gaz naturel
Poulailler n° 5	1 717	2	Éleveuses	22	40 000 BTU	Gaz naturel

TABLEAU 57 : CONSOMMATION RÉELLE EN GAZ NATUREL DE L'EXPLOITATION AVICOLE N° 1

Usage	Combustible	Dépenses en 2009 (\$)
Chauffage des bâtiments	Gaz naturel	89 700

Exploitation avicole n° 2

La seconde exploitation possède au total 11 bâtiments d'élevage, répartis sur plusieurs sites, ainsi qu'un abattoir. Le test a été effectué sur un site comportant 2 bâtiments. Les tableaux suivants présentent les caractéristiques du site en question.

TABLEAU 58 : NOMBRE MOYEN D'ANIMAUX PRÉSENTS SUR L'EXPLOITATION AVICOLE N° 2

Type d'animaux	Capacité de l'élevage
Poulet de chair – petit	24 000
Poulet de chair – gros	18 000

TABLEAU 59 : CARACTÉRISTIQUES DES BÂTIMENTS D'ÉLEVAGE DE L'EXPLOITATION AVICOLE – TEST N° 2

Bâtiments	Superficie totale (m ²)	Nombre d'étages	Chauffage	Nombre	Puissance	Énergie
Poulailler n° 1	2 175	2	Chauffage à l'eau chaude	Centralisé, fonctionne avec deux chauffe-eau et un système de tuyauterie	1 000 kBTU	Gaz naturel
Poulailler n° 2	1 613	3	Chauffage à l'eau chaude	Centralisé, fonctionne avec deux chauffe-eau et un système de tuyauterie	600 kBTU	Gaz naturel

TABLEAU 60 : CONSOMMATION RÉELLE EN GAZ NATUREL DE L'EXPLOITATION AVICOLE N° 2

Usage	Combustible	Dépenses 2011-2012 (\$)
Chauffage des bâtiments	Gaz naturel	50 726

Annexe 6. Caractéristiques des exploitations laitières utilisées pour tester le modèle

Exploitation laitière n° 1

L'exploitation laitière n° 1 abrite 80 vaches en lactation et produit des grandes cultures et du fourrage sur 230 hectares. Les terres sont situées sur un sol composé à 50 % de sable limoneux et à 50 % d'argile. L'exploitation consomme du propane pour le séchage des grains en silo-séchoir. Le taux d'humidité retenu pour le séchage était initialement de 25 %, pour un taux final de 14 %.

Les tableaux ci-dessous présentent le parc de tracteurs de l'exploitation, les superficies cultivées, les détails des opérations culturales pratiquées et de l'équipement utilisé correspondant pour chacune des trois cultures, ainsi que la consommation réelle en carburants et en combustibles de l'entreprise.

TABLEAU 61 : PARC DE TRACTEURS DE L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 1

Tracteurs	Puissance	Puissance estimée à la prise de force*	Traction
Tracteur 1	155 ch - 116 kW	129 ch - 96 kW	4 roues motrices
Tracteur 2	125 ch - 93 kW	104 ch - 77 kW	4 roues motrices
Tracteur 3	98 ch - 73 kW	81 ch - 61 kW	4 roues motrices
Tracteur 4	70 ch - 52 kW	58 ch - 43 kW	4 roues motrices
Tracteur 5	65 ch - 48 kW	54 ch - 40 kW	2 roues motrices

* Nous utilisons un facteur de conversion de 0,83 pour estimer la puissance à la prise de force à partir de la puissance brute au volant du tracteur (ASAE, 2003).

TABLEAU 62 : CARACTÉRISTIQUES DES USAGES EFFECTUÉS PAR L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 1 ET ÉQUIPEMENTS UTILISÉS

Céréales (10,2 ha de blé; 60,4 ha d'avoine; 15,3 ha d'orge; 5,2 ha de grains mélangés)

Superficie : 91,1 hectares

Rendement : 2,5 t/ha

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Préparation du sol	Herse à disques	Largeur : 6,6 m	Tracteur 1	10	1	12,7
	Cultivateur	Largeur : 5,6 m	Tracteur 2	10	1	16,5
Semis	Semoir	Largeur : 4,0 m	Tracteur 3	1	1	23
	Rouleau	Largeur : 4,3 m	Tracteur 5	-	1	14,4
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	Capacité : 1 900 L	Tracteur 2	-	1	8
Fertilisation	Citerne à lisier	Capacité : 14 550 L	Tracteur 1	-	1	23,4
Récolte	Batteuse	Autoportée Puissance : 75 kW	-	-	1	41,1
Transport champ-silo	Boîte à grains	Capacité : 18,2 m ³	Tracteur 2	-	-	22,8 ¹⁵
Remplissage du silo	Vis à grains	-	Tracteur 3	-	-	11,4

¹⁵ Nous avons posé l'hypothèse qu'un aller-retour du champ au silo nécessitait en moyenne 30 minutes.

Soya

Superficie : 15,7 hectares

Rendement : 3,0 t/ha

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Préparation du sol	Herse à disques	Largeur : 6,6 m	Tracteur 1	10	1	2,2
	Cultivateur	Largeur : 5,6 m	Tracteur 2	10	1	2,8
Semis	Semoir	Largeur : 4,0 m	Tracteur 3	1	1	4,0
	Rouleau	Largeur : 4,3 m	Tracteur 5	-	1	2,5
Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	Capacité : 1 900 L	Tracteur 2	-	1	1,3
Fertilisation	Citerne à lisier	Capacité : 14 550 L	Tracteur 1	-	1	4,0
Récolte (sur 7,8 ha)	Batteuse	Autoportée Puissance : 75 kW	-	-	1	7,2
Transport champ-silo	Boîte à grains	Capacité : 18,2 m ³	Tracteur 2	-	-	4,7
Remplissage du silo	Vis à grains	-	Tracteur 3	-	-	2,4

Mais-grain

Superficie : 10,1 hectares

Rendement : 5,6 t/ha

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Préparation du sol	Charrue	5 versoirs	Tracteur 1	20	1	6,3
	Herse à disques	Largeur : 6,6 m	Tracteur 1	10	1	1,4
	Cultivateur	Largeur : 5,6 m	Tracteur 2	10	1	1,8
Semis	Semoir	6 rangs	Tracteur 3	1	1	2,2
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	Capacité : 1 900 L	Tracteur 2	-	1	0,9

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Fertilisation	Épandeur d'engrais minéraux	Capacité : 4 t	Tracteur 2	-	1	0,6
Transport champ-silo	Boîte à grains	Capacité : 18,2 m ³	Tracteur 2	-	-	5,7
Remplissage du silo	Vis à grains	-	Tracteur 3	-	-	2,8

Maïs-ensilage

Superficie : 16,0 hectares

Rendement : 10,0 t/ha

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Préparation du sol	Herse à disques	Largeur : 6,6 m	Tracteur 1	10	1	2,2
	Cultivateur	Largeur : 5,6 m	Tracteur 2	10	1	2,9
Semis	Semoir	6 rangs	Tracteur 3	1	1	3,5
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	Capacité : 1 900 L	Tracteur 2	-	1	1,4
Fertilisation	Épandeur d'engrais minéraux	Capacité : 4 t	Tracteur 2	-	1	0,9
Fauchage-fourragère	Fourragère ensilage maïs	2 rangs	Tracteur 1	-	1	24
Transport champ	Boîte à ensilage	Longueur : 5 m	Camion de ferme	-	-	n. d.
Remplissage silo-meule	Convoyeur	-	Tracteur 5	-	-	24

Foin ensilage

Superficie : 89,7 hectares

Rendement : 6,0 t/ha

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Fertilisation	Citerne à lisier	Capacité : 14 550 L	Tracteur 1	-	1	23
Fauchage	Faucheuse à disques	Largeur : 3 m	Tracteur 2	-	3	244
Fourragère	Fourragère ensilage foin	-	Tracteur 1	-	3	244
Transport champ	Boîte à ensilage	Longueur : 5 m	Camion de ferme	-	-	n. d.
Remplissage silo-meule	Convoyeur	-	Tracteur 5	-	-	244

Foin sec

Superficie: 4,7 hectares

Rendement : 6,0 t/ha

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Fertilisation	Citerne à lisier	Capacité : 14 550 L	Tracteur 1	-	1	1,2
Fauchage	Faucheuse à disques	Largeur : 3 m	Tracteur 2	-	3	1,6
Fanage	Giro-faneur	Largeur : 3,2 m	Tracteur 4	-	3	1,3
Raclage	Giro-râteau	Largeur : 2,9 m	Tracteur 4	-	3	1,3
Pressage	Presse petites balles carrées	-	Tracteur 3	-	3	5,0
Transport champ	Remorque	-	Camion de ferme	-	-	n. d.

TABLEAU 63 : CONSOMMATION RÉELLE EN DIESEL, EN ESSENCE ORDINAIRE ET EN PROPANE DE L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 1

Usage	Carburant ou combustible	Dépenses en 2011 (\$)
Camions de ferme	Essence	10 753
Machinerie agricole	Diesel	20 430
Séchage des grains	Propane	1 502

Exploitation laitière n° 2

L'exploitation laitière n° 2 produit des céréales mélangées, du maïs fourrager et du foin sec et humide sur un total de 70 hectares. Les terres sont situées sur une terre limoneuse (terre noire). L'exploitation ne consomme aucun propane.

Les tableaux ci-dessous présentent le parc de tracteurs de l'exploitation, les superficies cultivées, les détails des opérations culturales pratiquées et de l'équipement utilisé correspondant pour chacune des trois cultures, les usages liés à la gestion du fumier et à l'alimentation des bovins, ainsi que la consommation réelle en carburants et en combustibles de l'entreprise.

TABLEAU 64 : PARC DE TRACTEURS DE L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 2

Tracteurs	Puissance	Puissance estimée à la prise de force*	Traction
Tracteur 1	90 ch - 67 kW	75 ch - 56 kW	4 roues motrices
Tracteur 2	85 ch - 63 kW	71 ch - 53 kW	4 roues motrices
Tracteur 3	75 ch - 56 kW	62 ch - 46 kW	2 roues motrices
Tracteur 4	50 ch - 37 kW	42 ch - 31 kW	2 roues motrices

* Nous utilisons un facteur de conversion de 0,83 pour estimer la puissance à la prise de force à partir de la puissance brute au volant du tracteur (ASAE, 2003).

TABLEAU 65 : CARACTÉRISTIQUES DES OPÉRATIONS CULTURALES EFFECTUÉES ET DES ÉQUIPEMENTS UTILISÉS PAR L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 2

Céréales mélangées

Superficie : 30,0 hectares

Rendement : 3,5 t/ha

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Préparation du sol	Herse à disques	Largeur : 5,5 m	Tracteur 1	10	1	22,5
	Vibroculteur	Largeur : 6,6 m	Tracteur 1	10	2	10
Semis	Semoir	Largeur : 4,0 m	Tracteur 3	-	1	15
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	Capacité : 1 315 L	Tracteur 4	-	1	8
Fertilisation	Épandeur de fumier	8,6 m ³	Tracteur 3	-	-	9
Récolte	Batteuse	Autoportée Puissance : 73 kW	-	-	1	25
Transport champ-silo	Camion de ferme	-	-	-	-	n. d.
Remplissage du silo	Vis à grains	-	Tracteur 4	-	-	1,5

Maïs-ensilage

Superficie : 8,0 hectares

Rendement : 10,0 t/ha

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Préparation du sol	Herse à disques	Largeur : 5,5 m	Tracteur 1	10	1	6
	Vibroculteur	Largeur : 6,6 m	Tracteur 1	10	2	6
Semis	Semoir	6 rangs	Tracteur 4	-	1	4
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	Capacité : 1 135 L	Tracteur 4	-	1	2
Fertilisation	Épandeur de fumier	8,6 m ³	Tracteur 3	-	-	2

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Récolte	Batteuse	Autoportée Puissance : 73 kW	-	-	1	8
Transport champ-silo	Camion de ferme	-	-	-	-	n. d.
Remplissage du silo	Souffleur	-	Tracteur 4	-	-	0,75

Foin sec et humide

Superficie : 32,0 hectares

Rendement : 5,78 t/ha

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Profondeur de travail (cm)	Nombre de passages	Temps de passage (heures)
Fertilisation	Épandeur de fumier	8,6 m ³	Tracteur 3	-	-	9
Fenaïson	Faucheuse à disques	Largeur : 3 m	Tracteur 2	-	-	45
Fenaïson	Râteau fileur	Largeur : 5,5 m	Tracteur 4	-	-	5,5
Pressage de balles	Presse balles rondes	Dimensions des balles : 1,2 m X 1,5 m	Tracteur 1	-	-	25
Pressage de balles	Presse petites balles rectangulaires	-	Tracteur 3	-	-	20
Transport des petites balles	Remorque	6 tonnes	Tracteur 4	-	-	2
Transport des balles rondes	Remorque	6 tonnes	Tracteur 2	-	-	10
Enrobage	Enrobeuse	Puissance : 9,7 kW	Tracteur 3	-	-	3

TABLEAU 66 : DÉTAILS DES USAGES LIÉS À LA GESTION DES FUMIERS SUR L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 2

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Temps de travail (heures)
Chargement de l'épandeur	Pelle	-	Tracteur 2	5
Nettoyage	Pelle	-	Tracteur 2	20
Nettoyage	Gratte	-	Tracteur 2	26
Transport du fumier	-	-	Camion de ferme	40

TABLEAU 67 : CARACTÉRISTIQUES DES USAGES LIÉS À L'ALIMENTATION DES BOVINS SUR L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 2

Opération	Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Tracteur utilisé	Temps de travail (heures)
Fabrication de la moulée	Moulange à marteaux	-	Tracteur 2	52
Transport des balles pour l'alimentation	Transporteur de balles	24 pieds foin	Tracteur 2	30,4
Transport des balles pour l'alimentation	Transporteur de balles	Petites balles rectangulaires	Tracteur 2	30,4

TABLEAU 68 : CONSOMMATION RÉELLE EN DIESEL ET EN ESSENCE ORDINAIRE DE L'EXPLOITATION LAITIÈRE N° 2

Usage	Carburant ou combustible	Dépense en 2011 (\$)
Camions de ferme	Essence	1 303
Machinerie agricole	Diesel	9 356

Annexe 7. Description des fermes types

Afin de limiter la variation entre les fermes types et, ainsi, de mieux faire ressortir l'impact des choix de productions sur la consommation de carburants et de combustibles et leur répartition entre les usages agricoles, certaines caractéristiques ont été gardées constantes entre les fermes. Plus spécifiquement, les mêmes conditions du sol, de rendements des différentes cultures et de profondeur de travail sont utilisées d'une ferme type à l'autre. Ainsi, un sol de texture loameuse est employé pour faire les analyses. Dans la mise en application du modèle, ceci se traduit par la sélection « loam » pour le paramètre « type de sol ». Par ailleurs, les tableaux 69 et 70 présentent les valeurs retenues pour les rendements des différentes cultures, alors que le tableau 71 présente la profondeur de travail des différentes opérations culturales.

TABLEAU 69 : RENDEMENTS DES GRANDES CULTURES

Culture	Produit	Rendement (kg/ha)
Avoine alimentation animale	Grain 88 % MS	3 100
Blé alimentation humaine	Grain 88 % MS	3 600
Blé alimentation animale	Grain 88 % MS	3 200
Orge alimentation animale	Grain 88 % MS	3 500
Canola	Grain 86 % MS	2 200
Maïs-grain – régie conventionnelle	Grain 86 % MS	8 800
Soya – régie conventionnelle	Grain 88 % MS	2 600

Source : CRAAQ (2009b).

TABLEAU 70 : RENDEMENTS DES CULTURES FOURRAGÈRES

Culture	Produit	Rendement (kg/ha)
Foin sec	Foin 89 % MS	7,0 t/ha
Ensilage herbe	Ensilage foin 40 % MS	16,0 t/ha
Ensilage soya	Ensilage soya 40 % MS	15,0 t/ha
Maïs fourrager	Ensilage 35 % MS	40,0 t/ha
Pâturage	Herbe 89 % MS	5,2 t/ha

Source : CRAAQ (2009a).

TABLEAU 71 : PROFONDEUR DE TRAVAIL DES OPÉRATIONS CULTURALES

Équipement	Profondeur (cm)
Charrue	15
Chisel	10
Herse à disques	5
Vibroculteur	5
Cultivateur	5
Sarcoir en rang	5
Houe rotative	5
Peigne (herse étrille)	5
Sous-soleuse	60
Semoir céréales semis direct	1
Semoir céréales type Brillon	1
Semoir en ligne céréales	1
Semoir maïs conventionnel	1
Semoir maïs semis direct	1
Rouleau type Brillon	1

Enfin, dans la mesure du possible et en s'assurant que l'ensemble demeure réaliste, les mêmes opérations culturales sont réalisées d'une ferme à l'autre lorsque des cultures similaires sont réalisées. Par exemple, une série d'opérations culturales a été définie pour la production de maïs-grain, et cette série demeure généralement constante pour toutes les fermes types produisant du maïs-grain. Pour tenir compte des réalités spécifiques à chaque secteur, il était toutefois nécessaire de modifier certaines opérations, telles que la fertilisation, qui est réalisée avec des engrais minéraux sur les fermes types de grandes cultures, alors qu'elle est faite en partie avec des engrais organiques sur la ferme type laitière. De plus, tel que nous l'avons mentionné à la section 1.2.4, certains usages communs sont intégrés par défaut dans chacune des fermes types, à savoir l'utilisation d'un camion ou d'une camionnette et le recours à une génératrice.

D'autres hypothèses sont maintenues entre les fermes. D'abord, pour l'ensemble des cultures, nous avons posé l'hypothèse que la durée moyenne d'un voyage pour transporter les grains ou les fourrages du champ au silo ou à l'entrepôt était de 30 minutes. Par ailleurs, pour l'utilisation du séchoir, le taux d'humidité des grains de maïs est estimé à 25 % à la récolte. Le temps nécessaire pour remplir et vider les silos à grains grâce à une vis a été estimé à partir des données récoltées sur les entreprises visitées lors de ce mandat. Pour une heure de travail, nous estimons donc que 60 tonnes de maïs-grain ou 40 tonnes de céréales peuvent être traitées.

De manière à simplifier les analyses, toutes les opérations culturales sont réalisées par des équipements fonctionnant au diesel. Pour sa part, le propane est employé pour le séchage des grains, le chauffage de l'eau dans les laiteries, ainsi que pour le chauffage des bâtiments en productions porcine et avicole. L'essence est utilisée sur les fermes types uniquement pour le camion ou la camionnette.

Les prochaines sections présentent les caractéristiques spécifiques à chacune des fermes types.

Grandes cultures

Deux fermes types représentent le secteur des grandes cultures, l'une étant spécialisée en production de maïs-grain et de soya (Ferme A) et l'autre étant plutôt spécialisée en production de céréales (Ferme B). Le tableau 72 présente les cultures produites sur chacune d'elles, ainsi que les superficies cultivées.

**TABLEAU 72 : CULTURES PRATIQUÉES SUR LES FERMES TYPES
EN PRODUCTION DE GRANDES CULTURES ET SUPERFICIES**

Culture	Superficie (ha)
Ferme type A : Ferme spécialisée en maïs-grain et soya	
Maïs-grain	175
Soya	115
Blé	20
Orge	20
Total	330
Ferme type B: Ferme spécialisée en céréales	
Orge	100
Avoine	100
Blé	50
Canola	50
Total	300

Ces deux entreprises recourent à des techniques de production dite « conventionnelles » : la préparation du sol consiste en un travail primaire du sol à l'automne, soit le passage d'une charrue afin de retourner le sol, suivi d'un travail secondaire au printemps, réalisé avec deux passages d'un cultivateur. La fertilisation repose sur l'épandage d'engrais minéraux. Par ailleurs, la pulvérisation de pesticides sert à lutter contre les organismes nuisibles. Aucun travail à forfait n'est réalisé sur ces entreprises, qui possèdent tous les équipements nécessaires pour réaliser les opérations culturales.

La puissance des moissonneuses-batteuses a été estimée à partir des données du CRAAQ (2012a). Le parc de tracteurs retenu est identique sur les deux fermes types en grandes cultures et est présenté dans le tableau 73.

TABLEAU 73 : PARC DE TRACTEURS RETENU SUR LES FERMES TYPES EN PRODUCTION DE GRANDES CULTURES

Tracteurs	Puissance du tracteur	Puissance estimée à la prise de force*	Traction
Tracteur 1	60 ch - 45 kW	50 ch - 37 kW	2 roues motrices
Tracteur 2	80 ch - 60 kW	66 ch - 50 kW	4 roues motrices
Tracteur 3	110 ch - 82 kW	91 ch - 68 kW	4 roues motrices
Tracteur 4	200 ch - 149 kW	166 ch - 124 kW	4 roues motrices

* Nous utilisons un facteur de conversion de 0,83 pour estimer la puissance à la prise de force à partir de la puissance brute au volant du tracteur (ASAE, 2003).

Les caractéristiques propres à chacune des deux fermes types en grandes cultures sont présentées ci-dessous.

Ferme type A

Le tableau 74 présente les caractéristiques de la machinerie dont se sert la ferme type A, alors que le tableau 75 présente les usages consommateurs de carburants et de combustibles pratiqués sur cette exploitation.

TABLEAU 74 : CARACTÉRISTIQUES DE LA MACHINERIE UTILISÉE PAR LA FERME TYPE A EN PRODUCTION DE GRANDES CULTURES

Équipement	Caractéristiques de l'équipement
Charrue réversible	7 versoirs – Largeur de 3,2 m
Cultivateur	Largeur de 6,6 m
Épandeur d'engrais minéral	Capacité de 4 tonnes
Semoir à céréales	Semoir en ligne – Largeur de 7,9 m
Semoir à maïs	Semoir conventionnel – 8 rangs
Pulvérisateur	Capacité de 2 840 L
Rouleau	Largeur de 7 m
Moissonneuse-batteuse autoportée	Puissance à la PDF : 224 kW Pour le maïs : 8 rangs Pour les céréales : largeur de 6 m Pour le soya : largeur de 6 m
Boîte à grains	Capacité de 22,9 m ³ , ce qui représente :

Équipement	Caractéristiques de l'équipement
	Pour le maïs : 17 tonnes Pour l'orge : 14 tonnes Pour le blé : 17,5 tonnes Pour le soya : 17,5 tonnes
Vis à grains	-
Séchoir à grains	Séchoir à recirculation d'air

TABLEAU 75 : USAGES CONSOMMATEURS DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES PRATIQUÉS SUR LA FERME TYPE A EN PRODUCTION DE GRANDES CULTURES

Usage	Équipement	Nombre de passages	Tracteur utilisé (en puissance estimée à la prise de force)
Mais-grain – régie conventionnelle			
Préparation du sol – automne	Charrue réversible	1	Tracteur 4
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	2	Tracteur 3
Fertilisation	Épandeur	2	Tracteur 2
Semis	Semoir à maïs	1	Tracteur 3
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	1	Tracteur 2
Récolte des grains	Moissonneuse-batteuse autoportée (224 kW)	1	-
Transport	Boîte à grains	45 heures de travail	Tracteur 3
Séchage	Séchoir à grains	-	-
Remplissage du séchoir	Vis à grains	27 heures de travail	Tracteur 1
Vidange du silo	Vis à grains	20 heures de travail	Tracteur 2
Soya – régie conventionnelle			
Préparation du sol – automne	Charrue réversible	1	Tracteur 4
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	2	Tracteur 3
Fertilisation	Épandeur	1	Tracteur 3
Semis	Semoir à céréales	1	Tracteur 3
	Rouleau	1	Tracteur 2
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	1	Tracteur 2

Soya – régie conventionnelle (suite)			
Récolte des grains	Moissonneuse-batteuse autoportée (224 kW)	1	-
Transport	Boîte à grains	8,5 heures de travail	Tracteur 3
Remplissage du silo	Vis à grains	5 heures de travail	Tracteur 2
Vidange du silo	Vis à grains	8 heures de travail	Tracteur 1
Blé alimentation humaine et Orge			
Préparation du sol – automne	Charrue réversible	1	Tracteur 4
Préparation du sol - printemps	Cultivateur	2	Tracteur 3
Fertilisation	Épandeur	2	Tracteur 2
Semis	Semoir à céréales	1	Tracteur 3
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	2	Tracteur 2
Récolte des grains	Moissonneuse-batteuse autoportée (224 kW)	1	-
Transport	Boîte à grains	2 heures pour le blé 2 heures pour l'orge	Tracteur 3
Remplissage du silo	Vis à grains	2 heures de travail	Tracteur 2
Vidange du silo	Vis à grains	2 heures de travail	Tracteur 1

Enfin, nous avons posé l'hypothèse que l'exploitation consomme 1 500 litres d'essence par an pour le fonctionnement des camions de ferme (AGÉCO, 2006; nos calculs). Par ailleurs, aucune génératrice n'a été incluse dans cette ferme type.

Ferme type B

Le tableau 76 présente les caractéristiques de la machinerie utilisée par la ferme type B, alors que le tableau 77 présente les usages consommateurs de carburants et de combustibles pratiqués sur cette exploitation.

**TABLEAU 76 : CARACTÉRISTIQUES DE LA MACHINERIE UTILISÉE PAR LA FERME TYPE B
EN PRODUCTION DE GRANDES CULTURES**

Équipement	Caractéristiques
Charrue réversible	7 versoirs – Largeur de 3,2 m
Cultivateur	Largeur de 6,6 m
Épandeur d'engrais	Capacité de 4 tonnes
Semoir à céréales	Semoir en ligne – Largeur de 7,9 m
Pulvérisateur	Capacité de 2 840 L
Moissonneuse-batteuse autoportée	Puissance à la PDF : 200 kW Largeur de 6 m
Andaineuse à canola	Largeur de 4,9 m
Boîte à grains	Capacité de 22,9 m ³ , ce qui représente : Pour l'orge : 14 tonnes Pour le blé : 17,5 tonnes Pour l'avoine: 9,5 tonnes Pour le canola : 9,5 tonnes
Vis à grains	-

TABLEAU 77 : USAGES CONSOMMATEURS DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES PRATIQUÉS SUR LA FERME TYPE B EN PRODUCTION DE GRANDES CULTURES

Détail de l'usage	Équipement	Nombre de passages	Tracteur utilisé (en puissance estimée à la prise de force)
Blé alimentation humaine			
Préparation du sol – automne	Charrue réversible	1	Tracteur 4
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	2	Tracteur 3
Fertilisation	Épandeur	2	Tracteur 2
Semis	Semoir à céréales	1	Tracteur 3
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	2	Tracteur 2
Récolte des grains	Batteuse (200 kW)	1	-
Transport	Boîte à grains	5 heures de travail	Tracteur 3
Remplissage du silo	Vis à grains	5 heures de travail	Tracteur 2
Vidange du silo	Vis à grains	5 heures de travail	Tracteur 1
Orge et Avoine			
Préparation du sol – automne	Charrue réversible	1	Tracteur 4
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	2	Tracteur 3
Fertilisation	Épandeur	2	Tracteur 2
Semis	Semoir à céréales	1	Tracteur 3
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	1	Tracteur 2
Récolte des grains	Batteuse (200 kW)	1	-
Transport	Boîte à grains	12,5 heures pour l'orge 16 heures pour l'avoine	Tracteur 3
Remplissage du silo	Vis à grains	10 heures pour l'orge 8 heures pour avoine	Tracteur 2
Vidange du silo	Vis à grains	10 heures pour l'orge 8 heures pour avoine	Tracteur 1

Canola			
Préparation du sol – automne	Charrue	1	Tracteur 4
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	2	Tracteur 3
Fertilisation	Épandeur	2	Tracteur 2
Semis	Semoir à céréales	1	Tracteur 3
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	1	Tracteur 2
Andainage	Andaineuse	1	Tracteur 3
Récolte des grains	Batteuse (200 kW)	1	-
Transport des grains du champ au silo	Boîte à grains	6 heures	Tracteur 3
Remplissage du silo	Vis à grain	3 heures de travail	Tracteur 2
Vidange du silo	Vis à grain	3 heures de travail	Tracteur 1

Enfin, nous avons posé l'hypothèse que l'exploitation consomme 1 500 litres d'essence par an pour le fonctionnement des camions de ferme (AGÉCO, 2006; nos calculs). Par ailleurs, aucune génératrice n'a été incluse dans cette ferme type.

Production porcine

La ferme type qui représente le secteur de la production porcine est de type naisseur-finisser. Elle inclut donc un atelier « maternité-pouponnière » ainsi qu'un atelier « engraissement ».

Gestion des élevages

Le tableau 78 présente les principales caractéristiques de la production de porcs dans l'entreprise.

TABLEAU 78 : CARACTÉRISTIQUES DE LA PRODUCTION PORCINE

Atelier « maternité-pouponnière »	
Nombre de bâtiments	1
Nombre de truies par bâtiment	300
Nombre de porcelets par truies et par an transférés en engraissement	20
Atelier « engraissement »	
Nombre de bâtiments	2
Nombre de porcs par bâtiment	1 000
Nombre de rotations par an	3
Nombre de porcs par an	6 000

Sources : Fédération des producteurs de porcs du Québec, CRAAQ 2008 budget porcin, Coûts de production 2010 Porc du Québec.

Le chauffage des bâtiments repose principalement sur l'utilisation d'aérothermes fonctionnant au propane¹⁶. Les dépenses en propane de l'entreprise sont calculées à partir des données moyennes de consommation de propane par animal présentées dans l'étude des coûts de production du Centre d'étude sur les coûts de production en agriculture (tableau 79).

TABLEAU 79 : CONSOMMATION DE PROPANE POUR LE CHAUFFAGE DES BÂTIMENTS SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION PORCINE

Type d'animal	Nombre	Achat de propane par animal ¹ (\$)	Dépenses en propane (\$)	Volume de propane (litres) ²
Truie	300	40,53	12 159	18 067
Porc	6 000	1,65	9 900	14 710
Total			22 059	32 777

¹ Source : CDPQ (2011).

² En utilisant un prix de 67,3 cents/L.

Gestion des fumiers

L'entreprise fonctionne sous gestion liquide, c'est-à-dire que toutes les déjections animales sont entreposées sous forme liquide dans une fosse. Elles sont à la base de la fertilisation des cultures de l'entreprise et sont utilisées sur l'ensemble des superficies cultivées.

Dans les bâtiments d'élevage, des équipements électriques sont employés pour sortir les déjections et les entreposer. La gestion de ce lisier requiert toutefois des carburants fossiles, et ce, pour deux raisons : le brassage de la fosse et l'épandage (tableau 80).

TABLEAU 80 : GESTION DES FUMIERS SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION PORCINE

Usage	Équipement
Brassage des lisiers	Tracteur de 74 kW à la PDF et pompe
Épandage des lisiers	Tracteur 124 kW à la PDF et citerne de 14 550 L

Source : IRDA, Fédération des producteurs de porcs du Québec, Francis Pouliot (communication personnelle), estimation ÉcoRessources Inc.

L'épandage est réalisé sur les trois cultures pratiquées. Selon le modèle, la durée du chantier d'épandage est estimée à environ 35 heures. Nous avons posé l'hypothèse que la pompe fonctionnait en continu pendant la durée du chantier, à laquelle s'ajoutent 24 heures de brassage avant le démarrage de l'épandage pour un total de 59 heures par an.

¹⁶ D'autres équipements de chauffage, tels que des lampes infrarouges, se retrouvent souvent sur les fermes porcines, mais ils fonctionnent à l'électricité et ne sont donc pas considérés dans cette étude.

Gestion des cultures

Par ailleurs, la ferme type en production porcine produit également différents grains. Le tableau 81 présente les cultures produites sur cette entreprise, ainsi que les superficies cultivées.

TABLEAU 81 : CULTURES PRATIQUÉES SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION PORCINE ET SUPERFICIES

Culture	Superficie (ha)
Maïs	176
Soya	40
Orge	50
Total	266

L'entreprise recourt à des techniques de production dite « conventionnelles » : la préparation du sol consiste en un travail primaire du sol à l'automne, soit le passage d'une charrue afin de retourner le sol, suivi d'un travail secondaire au printemps, réalisé avec deux passages d'un cultivateur. La fertilisation repose sur l'épandage du lisier produit sur la ferme. Un engrais de démarrage est également appliqué lors du semis du maïs, mais il n'entraîne aucune consommation supplémentaire de carburants et n'est donc pas modélisé. Par ailleurs, la pulvérisation de pesticides contribue à lutter contre les organismes nuisibles. Aucun travail à forfait n'est réalisé sur l'entreprise, qui possède tous les équipements nécessaires pour réaliser les opérations culturales.

La puissance de la moissonneuse-batteuse a été estimée à partir des données du CRAAQ (2012a).

Le tableau 82 présente le parc de tracteurs retenu sur la ferme type en production porcine.

TABLEAU 82 : PARC DE TRACTEURS RETENU SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION PORCINE

Tracteur	Puissance du tracteur	Puissance estimée à la prise de force ¹	Traction
Tracteur 1	35 ch - 26 kW	29 ch - 22 kW	2 roues motrices
Tracteur 2	60 ch - 45 kW	50 ch - 37 kW	2 roues motrices
Tracteur 3	120 ch - 89 kW	100 ch - 74 kW	4 roues motrices
Tracteur 4	200 ch - 149 kW	166 ch - 124 kW	4 roues motrices

¹ Nous utilisons un facteur de conversion de 0,83 pour estimer la puissance à la prise de force à partir de la puissance brute au volant du tracteur (ASAE, 2003).

Le tableau 83 présente les caractéristiques de la machinerie utilisée par la ferme type en production porcine, alors que le tableau 84 présente les usages consommateurs de carburants et de combustibles pratiqués sur cette exploitation.

TABLEAU 83 : CARACTÉRISTIQUES DE LA MACHINERIE UTILISÉE PAR LA FERME TYPE EN PRODUCTION PORCINE

Équipement	Caractéristiques de l'équipement
Charrue réversible	7 versoirs – Largeur de 3,2 m
Cultivateur	Largeur de 6,6 m
Citerne à lisier	Capacité de 14 550 L
Semoir à céréales	Semoir en ligne – Largeur de 7,9 m
Semoir à maïs	Semoir conventionnel – 8 rangs
Pulvérisateur	Capacité de 2 840 L
Rouleau	Largeur de 7 m
Moissonneuse-batteuse autoportée	Puissance à la PDF : 224 kW Pour le maïs : 8 rangs Pour les céréales : largeur de 6 m Pour le soya : largeur de 6 m
Boîte à grains	Capacité de 22,9 m ³ , ce qui représente : Pour le maïs : 17 tonnes Pour l'orge : 14 tonnes Pour le soya : 17,5 tonnes
Séchoir à grains	Séchoir à recirculation d'air

TABLEAU 84 : USAGES CONSOMMATEURS DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES PRATIQUÉS SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION PORCINE

Usage	Équipement	Nombre de passages	Tracteur utilisé (en puissance estimée à la prise de force)
Maïs-grain – régie conventionnelle			
Préparation du sol – automne	Charrue	1	Tracteur 4
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	2	Tracteur 3
Fertilisation	Citerne	1	Tracteur 2
Semis	Semoir à maïs	1	Tracteur 3
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	1	Tracteur 2
Récolte des grains	Batteuse (224 kW)	1	-
Transport	Boîte à grains	45,5 heures de travail	Tracteur 3
Séchage	Séchoir	-	-
Remplissage du séchoir	Vis à grains	27 heures de travail	Tracteur 2
Vidange du silo	Vis à grains	20 heures de travail	Tracteur 2
Soya – régie conventionnelle			
Préparation du sol – automne	Charrue	1	Tracteur 4
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	2	Tracteur 3
Fertilisation	Citerne	1	Tracteur 3
Semis	Semoir à céréales	1	Tracteur 3
	Rouleau	1	Tracteur 3
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	1	Tracteur 2
Récolte des grains	Batteuse (224 kW)	1	-
Transport	Boîte à grains	3 heures de travail	Tracteur 3
Remplissage du silo	Vis à grains	2 heures de travail	Tracteur 2
Vidange su silo	Vis à grains	3 heures de travail	Tracteur 2
Orge			
Préparation du sol – automne	Charrue	1	Tracteur 4
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	2	Tracteur 3
Fertilisation	Citerne	1	Tracteur 3
Semis	Semoir à céréales	1	Tracteur 3
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	2	Tracteur 2

Orge (suite)			
Récolte des grains	Batteuse (224 kW)	1	-
Transport	Boîte à grains	6,25 heures de travail	Tracteur 3
Remplissage du silo	Vis à grains	5 heures de travail	Tracteur 2
Vidange su silo	Vis à grains	5 heures de travail	Tracteur 2

Enfin, nous avons posé l'hypothèse que l'exploitation consomme 2 500 litres d'essence par an pour le fonctionnement des camions de ferme (AGÉCO, 2006; nos calculs) et 700 litres de diesel pour le fonctionnement de la génératrice.

Production avicole

Deux fermes types produisant des poulets de chair représentent le secteur de la production avicole. Elles se distinguent uniquement par le fait que l'une d'entre elle, la ferme avicole A, est « sans-sol », alors que l'autre, la ferme avicole B, cultive du maïs-grain sur 50 hectares.

Gestion des élevages

Le tableau 85 présente les principales caractéristiques de la production de poulets dans l'entreprise.

TABLEAU 85 : CARACTÉRISTIQUES DE LA PRODUCTION AVICOLE ET DE SES BÂTIMENTS

Caractéristiques de l'élevage	
Nombre de poulaillers	3
Nombre d'oiseaux par poulailler	15 000
Durée de l'élevage (en semaines, incluant le vide sanitaire)	8
Nombre d'oiseaux par poulailler, par an	97 500
Nombre d'oiseaux par ferme, par an	292 500
Poids moyen des animaux	entre 2,2 et 2,4 kg
Caractéristiques des bâtiments	
Taille des poulaillers	200 m ²
Nombre d'étages des poulaillers	1
Nombre total de bâtiments	3
Superficie totale	600 m ²

Source : Les éleveurs de volailles du Québec.

Les équipements consommateurs de carburants et de combustibles servant à l'activité d'élevage sont destinés à trois usages principaux : le chauffage des bâtiments avicoles, leur nettoyage ainsi que la gestion des fumiers. Le tableau 86 présente les usages consommateurs de carburants et de combustibles pratiqués sur cette exploitation ainsi que le type d'équipement utilisé.

TABLEAU 86 : CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉQUIPEMENT

Équipement utilisé	Source d'énergie
Chauffage des bâtiments	
Aérothermes automatisés	Propane
Nettoyage des poulaillers	
Laveuse à pression	Électricité
Tracteur de 15 kW à la prise de force avec équipement adapté (p. ex., pelle, épandeur, etc.)	Diesel
Gestion du fumier	
Tracteur de 53 kW à la prise de force, remorque-tombereau et pelle	Diesel

Le détail des opérations de nettoyage et de gestion du fumier est présenté dans le tableau 85.

TABLEAU 87 : DÉTAILS DU NETTOYAGE ET DE LA GESTION DU FUMIER SUR L'EXPLOITATION AVICOLE TYPE

Usage	Équipement	Tracteur utilisé (puissance en kW à la PDF)	Temps de travail
Nettoyage des poulaillers	Pelle et gratte	15	18 heures par nettoyage (un nettoyage chaque fin de cycle, 6,5 cycles par an), soit 78 h
Épandre la litière	Épandeur de litière	15	18 heures pour les trois bâtiments, réalisé à chaque nettoyage (un nettoyage chaque fin de cycle, 6,5 cycles par an), soit 78 h
Transfert du fumier des poulaillers vers la remise	Pelle	53	18 heures par nettoyage (un nettoyage chaque fin de cycle, 6,5 cycles par an), soit 78 h
	Remorque-tombereau	53	18 heures par nettoyage (un nettoyage chaque fin de cycle, 6,5 cycles par an), soit 78 h

Gestion des cultures

L'une des deux entreprises considérées ne produit aucune culture, alors que la seconde produit du maïs-grain sur 50 hectares.

Cette dernière se sert de techniques de production dite « conventionnelles » : la préparation du sol consiste en un travail primaire du sol à l'automne, soit le passage d'une charrue afin de retourner le sol, suivi d'un travail secondaire au printemps, réalisé avec deux passages d'un cultivateur. La fertilisation repose sur l'épandage d'engrais minéraux, le fumier étant vendu. Par ailleurs, la pulvérisation de pesticides contribue à la lutte contre les organismes nuisibles.

Nous supposons que la récolte du maïs-grain est réalisée à forfait, puisqu'il est peu probable qu'une telle entreprise possède sa propre moissonneuse-batteuse. Aucune consommation de carburants n'est donc considérée pour la récolte. Le producteur transporte toutefois lui-même le maïs après sa récolte et l'entrepose en silo grâce à une vis à grains.

Le tableau 88 présente le parc de tracteurs retenu sur la ferme type en production avicole alors que le tableau 89 présente les caractéristiques de la machinerie qu'elle utilise. Enfin, le tableau 90 présente les usages consommateurs de carburants et de combustibles pratiqués pour la culture du maïs sur la ferme type avicole B, c'est-à-dire celle avec culture de maïs.

TABLEAU 88 : PARC DE TRACTEURS RETENU SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION AVICOLE

Tracteur	Puissance du tracteur	Puissance estimée à la prise de force ¹	Traction
Tracteur 1	20 ch - 15 kW	17 ch - 12 kW	2 roues motrices
Tracteur 2	85 ch - 63 kW	71 ch - 53 kW	4 roues motrices

¹ Nous utilisons un facteur de conversion de 0,83 pour estimer la puissance à la prise de force à partir de la puissance brute au volant du tracteur (ASAE, 2003).

TABLEAU 89 : CARACTÉRISTIQUES DE LA MACHINERIE UTILISÉE PAR LA FERME TYPE AVICOLE B – AVEC CULTURE

Équipement	Caractéristiques de l'équipement
Charrue réversible	3 versoirs – Largeur de 1,4 m
Cultivateur	Largeur de 6,6 m
Épandeur d'engrais	Capacité de 4 tonnes
Semoir à maïs	Semoir conventionnel – 8 rangs
Pulvérisateur	Capacité de 2 840 L
Boîte à grains	22,9 m ³ , ce qui représente 17 tonnes de maïs
Vis à grains	-
Séchoir à grains	Séchoir à recirculation d'air

TABLEAU 90 : USAGES CONSOMMATEURS DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES PRATIQUÉS POUR LA CULTURE DU MAÏS SUR LA FERME TYPE AVICOLE B – AVEC CULTURE

Usage	Équipement	Nombre de passages	Tracteur utilisé (en puissance estimée à la prise de force)
Maïs-grain – régie conventionnelle			
Préparation du sol – automne	Charrue	1	Tracteur 2
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	2	Tracteur 2
Fertilisation	Épandeur	2	Tracteur 2
Semis	Semoir à maïs	1	Tracteur 2
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	1	Tracteur 2
Transport	Boîte à grains	13 heures de travail	Tracteur 2
Séchage	Séchoir à recirculation d'air	-	-
Remplissage du séchoir	Vis à grains	8 heures de travail	Tracteur 2
Vidange du silo	Vis à grains	6 heures de travail	Tracteur 2

Enfin, nous avons posé l'hypothèse que l'exploitation consomme 1 500 litres d'essence par an pour le fonctionnement des camions de ferme (AGÉCO, 2006; nos calculs) et 700 litres de diesel pour le fonctionnement de la génératrice.

Production laitière

Une ferme type représente le secteur de la production laitière.

Gestion des élevages

Le tableau 91 présente les principales caractéristiques de la production laitière dans l'entreprise.

TABLEAU 91 : CARACTÉRISTIQUES DE LA PRODUCTION LAITIÈRE

Taille de l'exploitation	60 vaches en lactation
Type de stabulation	Entravée

Sources : Statistique Canada (23-012x); MAPAQ (2009); Fédération des producteurs de lait du Québec, communications personnelles; Enquête sur les coûts de production des entreprises laitières du Québec (CPLAIT), Groupe AGÉCO, juin 2011.

La consommation de carburants et de combustibles liée à l'élevage des bovins se limite au chauffage de l'eau nécessaire pour nettoyer le système de traite. L'entreprise se sert d'un chauffe-eau au propane pour y arriver.

Gestion des fumiers

Les déjections animales sont gérées sous forme solide, soit celle des fumiers. Ils sont à la base de la fertilisation des cultures de l'entreprise et sont utilisés sur l'ensemble des superficies cultivées. Dans les bâtiments d'élevage, des équipements électriques servent pour sortir le fumier et l'entreposer.

Gestion des cultures

Par ailleurs, la ferme type en production laitière produit également différents grains et fourrages. Le tableau 92 présente les cultures produites sur cette entreprise, ainsi que les superficies cultivées.

TABLEAU 92 : CULTURES PRATIQUÉES SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION LAITIÈRE ET SUPERFICIES

Culture	Superficie (ha)
Foin sec	16
Ensilage d'herbe	38
Orge	18
Mais fourrager	8
Maïs-grain	11
Total	91

L'entreprise utilise des techniques de production dite « conventionnelles » : la préparation du sol consiste en un travail primaire du sol à l'automne, soit le passage d'une charrue afin de retourner le sol, suivi d'un travail secondaire au printemps, réalisé avec deux passages d'un cultivateur. La fertilisation repose sur l'épandage de fumier produit sur la ferme. Un engrais de démarrage est également appliqué lors du semis du maïs, mais il n'entraîne aucune consommation supplémentaire de carburant et n'est donc pas modélisé. Par ailleurs, la pulvérisation de pesticides contribue à la lutte aux organismes nuisibles.

La récolte de maïs ensilage est faite à forfait, puisque l'utilisation d'une fourragère requiert généralement une puissance de tracteur plus élevée que celle des tracteurs disponibles sur l'entreprise. Le producteur transporte toutefois lui-même le maïs après sa récolte et l'entrepose en silo grâce à un souffleur. Ce dernier peut traiter 20 tonnes à l'heure (CRAAQ, 2012a).

Les fourrages (foin sec et ensilage d'herbe) sont récoltés deux fois par année. La modélisation des opérations liées aux fourrages qui ne sont réalisées qu'une fois tous les cinq ans (p. ex., labour) a été obtenue en divisant la superficie concernée par 5. Ce faisant, la consommation de diesel due à un usage tel que le labour d'un champ de foin sec est répartie sur les cinq années de la culture, au lieu d'être considérée seulement une fois au cinq ans.

Pour l'utilisation du séchoir, le taux d'humidité des grains de maïs est estimé à 25 % à la récolte. Enfin, la puissance de la moissonneuse-batteuse a été estimée à partir des données du CRAAQ (2012a), tout comme le poids des balles de foin (n.d.b).

Le tableau 93 présente le parc de tracteurs retenu sur la ferme type en production laitière.

TABLEAU 93 : PARC DE TRACTEURS RETENU SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION LAITIÈRE

Tracteur	Puissance du tracteur	Puissance estimée à la prise de force ¹	Traction
Tracteur 1	40 ch - 30 kW)	33 ch - 25 kW	2 roues motrices
Tracteur 2	80 ch - 60 kW)	66 ch - 50 kW	4 roues motrices
Tracteur 3	110 ch - 82 kW)	91 ch - 68 kW	4 roues motrices

¹ Nous utilisons un facteur de conversion de 0,83 pour estimer la puissance à la prise de force à partir de la puissance brute au volant du tracteur (ASAE, 2003).

Le tableau 94 présente les caractéristiques de la machinerie utilisée par la ferme type en production laitière, alors que le tableau 95 présente les usages consommateurs de carburants et de combustibles pratiqués sur cette exploitation.

TABLEAU 94 : CARACTÉRISTIQUES DE LA MACHINERIE UTILISÉE PAR LA FERME TYPE EN PRODUCTION LAITIÈRE

Équipement	Caractéristiques de l'équipement
Charrue réversible	4 versoirs – Largeur de 1,8 m
Cultivateur	Largeur de 6,6 m
Épandeur de fumier	Capacité de 8,6 m ³
Pulvérisateur	Capacité de 1 915 L
Semoir à maïs	Semoir conventionnel – 8 rangs
Semoir à céréales	Semoir en ligne – Largeur de 7,9 m
Moissonneuse-batteuse autoportée	Puissance à la PDF : 200 kW Pour le maïs : 6 rangs Pour les céréales : largeur de 6 m
Boîte à grains	Capacité de 22,9 m ³ , ce qui représente : Pour le maïs : 17 tonnes Pour l'orge : 14 tonnes
Boîte à ensilage	Longueur de 5,5 m – Peut transporter 15 tonnes de maïs par voyage
Faucheuse à disques	Largeur de 3,7 m
Giro-faneur	Largeur de 4,1 m
Giro-râteau	Largeur de 4,3 m
Presse à balles rondes	Dimensions des balles : 1,2 m par 1,5 m
Transporteur de balles	Longueur de 9 mètres – Peut transporter 25 balles par voyage
Enrobeuse	Puissance de 9,7 kW
Vis à grains	-
Séchoir à grains	Séchoir à recirculation d'air
Souffleur à ensilage	-

TABLEAU 95 : USAGES CONSOMMATEURS DE CARBURANTS ET DE COMBUSTIBLES PRATIQUÉS SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION LAITIÈRE

Usage	Équipement	Nombre de passages	Tracteur utilisé
Mais-grain – régie conventionnelle			
Préparation du sol – automne	Charrue	1	Tracteur 3
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	2	Tracteur 2
Semis	Semoir à maïs	1	Tracteur 3
Fertilisation	Épandeur de fumier	1	Tracteur 3
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	1	Tracteur 2
Battage des grains	Moissonneuse-batteuse autoportée (200 kW)	1	-
Transport	Boîte à grains	-	Tracteur 2
Séchage	Séchoir à grains	-	-
Entreposage au silo	Vis à grains	-	Tracteur 2
Orge			
Préparation du sol – automne	Charrue	1	Tracteur 3
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	2	Tracteur 2
Semis	Semoir à céréales	1	Tracteur 3
Fertilisation	Épandeur de fumier	1	Tracteur 2
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	1	Tracteur 2
Battage des grains	Moissonneuse-batteuse autoportée (200 kW)	1	-
Transport	Boîte à grains	-	Tracteur 2
Entreposage au silo	Vis à grains	-	Tracteur 2
Mais fourrager			
Préparation du sol – automne	Charrue	1	Tracteur 3
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	2	Tracteur 2
Semis	Semoir à maïs	1	Tracteur 3
Fertilisation	Épandeur de fumier	2	Tracteur 3
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	1	Tracteur 2
Transport	Transporteur	-	Tracteur 2
Entreposage au silo	Souffleur	-	Tracteur 2

Fourrages foin sec			
Préparation du sol – automne	Charrue	1 par 5 ans	Tracteur 3
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	2 par 5 ans	Tracteur 2
Fertilisation	Épandeur de fumier	2	Tracteur 3
Semis	Semoir à céréales	1 par 5 ans	Tracteur 3
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	1 par 5 ans	Tracteur 2
Fenaïson	Faucheuse à disques	1	Tracteur 3
	Giro-faneur	1	Tracteur 2
	Giro-râteau	1	Tracteur 2
	Presse	1	Tracteur 2
Transport du foin à la grange	Transporteur de balles	-	Tracteur 3
Fourrages ensilage			
Préparation du sol – automne	Charrue semi-portée	1 par 5 ans	Tracteur 3
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	2 par 5 ans	Tracteur 2
Fertilisation	Épandeur de fumier	2	Tracteur 3
Semis	Semoir à céréales	1 par 5 ans	Tracteur 3
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	1 par 5 ans	Tracteur 2
Fenaïson	Faucheuse à disques	1	Tracteur 3
	Giro-râteau	1	Tracteur 3
	Presse balles rondes	1	Tracteur 2
	Enrobage en boudin	1	Tracteur 1
Transport	Wagon auto-chargeur 16 balles	-	Tracteur 3

Enfin, nous avons posé l'hypothèse que l'exploitation consomme 1 500 litres d'essence par an pour le fonctionnement des camions de ferme (AGÉCO, 2006; nos calculs) et 700 litres de diesel pour le fonctionnement de la génératrice.

Annexe 8. Tracteur optimal en termes de consommation de carburants

**TABLEAU 96 : TRACTEUR UTILISÉ ET TRACTEUR OPTIMAL PAR USAGE
SUR LA FERME TYPE A EN GRANDES CULTURES**

Usage	Équipement	Tracteur utilisé (en puissance estimée à la prise de force)	Tracteur optimal (en puissance estimée à la prise de force)
Maïs-grain - régie conventionnelle			
Préparation du sol – Automne	Charrue réversible	124 KW	124 KW
Préparation du sol – Printemps	Cultivateur	68 KW	37 KW
Fertilisation	Épandeur	50 KW	37 KW
Semis	Semoir à maïs	68 KW	50 KW
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	50 KW	37 KW
Transport	Boîte à grains	68 KW	50 KW
Remplissage du séchoir	Vis à grains	37 KW	37 KW
Vidange du silo	Vis à grains	50 KW	50 KW
Soya - régie conventionnelle			
Préparation du sol – Automne	Charrue réversible	124 KW	124 KW
Préparation du sol – Printemps	Cultivateur	68 KW	37 KW
Fertilisation	Épandeur	68 KW	37 KW
Semis	Semoir à céréales	68 KW	37 KW
	Rouleau	50 KW	37 KW
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	50 KW	37 KW
Transport	Boîte à grains	68 KW	50 KW
Remplissage du silo	Vis à grains	50 KW	50 KW
Vidange du silo	Vis à grains	37 KW	37 KW
Blé alimentation humaine et Orge			
Préparation du sol – Automne	Charrue réversible	124 KW	124 KW
Préparation du sol - Printemps	Cultivateur	68 KW	37 KW
Fertilisation	Épandeur	50 KW	37 KW
Semis	Semoir à céréales	68 KW	37 KW

Blé alimentation humaine et Orge (suite)			
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	50 KW	37 KW
Transport	Boîte à grains	68 KW	50 KW
Remplissage du silo	Vis à grains	50 KW	50 KW
Vidange du silo	Vis à grains	37 KW	37 KW

TABLEAU 97 : TRACTEUR UTILISÉ ET TRACTEUR OPTIMAL PAR USAGE SUR LA FERME TYPE B EN GRANDES CULTURES

Usage	Équipement	Tracteur utilisé (en puissance estimée à la prise de force)	Tracteur optimal (en puissance estimée à la prise de force)
Blé alimentation humaine			
Préparation du sol – Automne	Charrue réversible	124 KW	124 KW
Préparation du sol – Printemps	Cultivateur	68 KW	37 KW
Fertilisation	Épandeur	50 KW	37 KW
Semis	Semoir à céréales	68 KW	37 KW
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	50 KW	37 KW
Transport	Boîte à grains	68 KW	50 KW
Remplissage du silo	Vis à grains	50 KW	50 KW
Vidange du silo	Vis à grains	37 KW	37 KW
Orge et Avoine			
Préparation du sol – Automne	Charrue réversible	124 KW	124 KW
Préparation du sol – Printemps	Cultivateur	68 KW	37 KW
Fertilisation	Épandeur	50 KW	37 KW
Semis	Semoir à céréales	68 KW	37 KW
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	50 KW	37 KW
Transport	Boîte à grains	68 KW	37 KW
Remplissage du silo	Vis à grains	50 KW	50 KW
Vidange du silo	Vis à grains	37 KW	37 KW

Canola			
Préparation du sol – automne	Charrue	124 KW	124 KW
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	68 KW	37 KW
Fertilisation	Épandeur	50 KW	37 KW
Semis	Semoir à céréales	68 KW	37 KW
Traitement	Pulvérisateur	50 KW	37 KW
Andainage	Andaineuse	68 KW	37 KW
Transport des grains du champ au silo	Boîte à grains	68 KW	37 KW
Remplissage du silo	Vis à grain	50 KW	50 KW
Vidange du silo	Vis à grain	37 KW	37 KW

**TABLEAU 98 : TRACTEUR UTILISÉ ET TRACTEUR OPTIMAL PAR USAGE
SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION LAITIÈRE**

Usage	Équipement	Tracteur utilisé (en puissance estimée à la prise de force)	Tracteur optimal (en puissance estimée à la prise de force)
Maïs-grain – régie conventionnelle			
Préparation du sol – automne	Charrue	68 KW	68 KW
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	50 KW	25 KW
Semis	Semoir à maïs	68 KW	50 KW
Fertilisation	Épandeur de fumier	68 KW	50 KW
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	50 KW	25 KW
Transport	Boîte à grains	50KW	50 KW
Entreposage au silo	Vis à grains	50 KW	50 KW
Orge			
Préparation du sol – automne	Charrue	68 KW	68 KW
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	50 KW	25 KW
Semis	Semoir à céréales	68 KW	68 KW
Fertilisation	Épandeur de fumier	50 KW	50 KW
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	50 KW	25 KW
Transport	Boîte à grains	50 KW	50 KW
Entreposage au silo	Vis à grains	50 KW	50 KW
Maïs fourrager			
Préparation du sol – automne	Charrue	68 KW	68 KW
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	50 KW	25 KW
Semis	Semoir à maïs	68 KW	50 KW
Fertilisation	Épandeur de fumier	68 KW	50 KW
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	50 KW	25 KW
Transport	Transporteur	50 KW	50 KW
Entreposage au silo	Souffleur	50 KW	50 KW

Fourrages foin sec			
Préparation du sol – automne	Charrue	68 KW	68 KW
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	50 KW	25 KW
Fertilisation	Épandeur de fumier	68 KW	50 KW
Semis	Semoir à céréales	68 KW	68 KW
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	50 KW	25 KW
Fenaison	Faucheuse à disques	68 KW	68 KW
	Giro-faneur	50 KW	25 KW
	Giro-râteau	50 KW	25 KW
	Presse	50 KW	25 KW
Transport du foin à la grange	Transporteur de balles	68 KW	25 KW
Fourrages ensilage			
Préparation du sol – automne	Charrue semi-portée	68 KW	68 KW
Préparation du sol – printemps	Cultivateur	50 KW	25 KW
Fertilisation	Épandeur de fumier	68 KW	50 KW
Semis	Semoir à céréales	68 KW	68 KW
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	50 KW	25 KW
Fenaison	Faucheuse à disques	68 KW	68 KW
	Giro-râteau	68 KW	25 KW
	Presse balles rondes	50 KW	25 KW
	Enrobage en boudin	25 KW	25 KW
Transport	Wagon auto-chargeur 16 balles	68 KW	50 KW

**TABLEAU 99 : TRACTEUR UTILISÉ ET TRACTEUR OPTIMAL PAR USAGE
SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION PORCINE**

Usage	Équipement	Tracteur utilisé (en puissance estimée à la prise de force)	Tracteur utilisé (en puissance estimée à la prise de force)
Maïs-grain - régie conventionnelle			
Préparation du sol – Automne	Charrue réversible	124 KW	124 KW
Préparation du sol – Printemps	Cultivateur	74 KW	22 KW
Fertilisation	Citerne	124 KW	74 KW
Semis	Semoir à maïs	74 KW	74 KW
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	37 KW	22 KW
Transport	Boîte à grains	74 KW	74 KW
Remplissage du séchoir	Vis à grains	37 KW	37 KW
Vidange du silo	Vis à grains	37 KW	37 KW
Soya - régie conventionnelle			
Préparation du sol – Automne	Charrue réversible	124 KW	124 KW
Préparation du sol – Printemps	Cultivateur	74 KW	22 KW
Fertilisation	Citerne	124KW	74 KW
Semis	Semoir à céréales	74 KW	22 KW
	Rouleau	74 KW	22 KW
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	37 KW	22 KW
Transport	Boîte à grains	74 KW	74 KW
Remplissage du silo	Vis à grains	37 KW	37 KW
Vidange du silo	Vis à grains	37 KW	37 KW
Orge			
Préparation du sol – Automne	Charrue réversible	124 KW	124 KW
Préparation du sol - Printemps	Cultivateur	74 KW	22 KW
Fertilisation	Citerne	124 KW	74 KW
Semis	Semoir à céréales	74 KW	22 KW
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	37 KW	22 KW

Orge (suite)			
Transport	Boîte à grains	74 KW	37 KW
Remplissage du silo	Vis à grains	37 KW	37 KW
Vidange du silo	Vis à grains	37 KW	37 KW

**TABLEAU 100 : TRACTEUR UTILISÉ ET TRACTEUR OPTIMAL PAR USAGE
SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION AVICOLE (CAS AVEC MAÏS)**

Usage	Équipement	Tracteur utilisé (en puissance estimée à la prise de force)	Tracteur optimal (en puissance estimée à la prise de force)
Maïs-grain - régie conventionnelle			
Préparation du sol – Automne	Charrue réversible	53 KW	53 KW
Préparation du sol – Printemps	Cultivateur	53 KW	53 KW
Fertilisation	Épandeur	53 KW	53 KW
Semis	Semoir à maïs	53 KW	53 KW
Contrôle des ennemis des cultures	Pulvérisateur	53 KW	12 KW
Transport	Boîte à grains	53 KW	53 KW
Remplissage du séchoir	Vis à grains	53 KW	53 KW
Vidange du silo	Vis à grains	53 KW	53 KW

Annexe 9. Modifications apportées aux équipements pour les opérations culturales afin de réduire la consommation de carburants

TABLEAU 101 : ÉQUIPEMENT DE PLUS GRANDE CAPACITÉ UTILISÉ SUR LA FERME TYPE A EN GRANDES CULTURES

Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Équipement de plus grande capacité
Cultivateur	Largeur de 6,6 m	Largeur de 9,8 m
Pulvérisateur	Capacité de 2840 L	Capacité de 4 900 L
Moissonneuse-batteuse autoportée	Puissance à la PDF : 224 KW Pour le maïs : 8 rangs Pour les céréales : largeur de 6 m Pour le soya : largeur de 6 m	Puissance à la PDF : 224 KW Pour le maïs : 12 rangs Pour les céréales : largeur de 6 m Pour le soya : largeur de 6 m

TABLEAU 102 : ÉQUIPEMENT DE PLUS GRANDE CAPACITÉ UTILISÉ SUR LA FERME TYPE B EN GRANDES CULTURES

Équipement	Caractéristiques	Équipement de plus grande capacité
Cultivateur	Largeur de 6,6 m	Largeur de 9,8 m
Pulvérisateur	Capacité de 2840 L	Capacité de 4900 L

TABLEAU 103 : ÉQUIPEMENT DE PLUS GRANDE CAPACITÉ UTILISÉ SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION LAITIÈRE

Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Équipement de plus grande capacité
Cultivateur	Largeur de 6,6 m	Largeur de 9,8 m
Épandeur à fumier	Capacité de 8,6 m ³	Capacité de 8,6 m ³ (sauf pour le maïs-grain: 11,5 m³)
Pulvérisateur	Capacité de 1915 L	Capacité de 4900 L
Moissonneuse-batteuse autoportée	Puissance à la PDF : 200 KW Pour le maïs : 6 rangs Pour les céréales : largeur de 6 m	Puissance à la PDF : 200 KW Pour le maïs : 12 rangs Pour les céréales : largeur de 6 m
Faucheuse à disques	Largeur de 3,7 m	Largeur de 4,3 m
Giro-faneur	Largeur de 4,1 m	Largeur de 6,9 m
Giro-râteau	Largeur de 4,3 m	Largeur de 6,0 m

TABEAU 104 : ÉQUIPEMENT DE PLUS GRANDE CAPACITÉ UTILISÉ SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION PORCINE

Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Équipement de plus grande capacité
Cultivateur	Largeur de 6,6 m	Largeur de 9,8 m
Citerne à lisier	Capacité de 14550 L	Capacité de 21800 L
Pulvérisateur	Capacité de 2840 L	Capacité de 4 900 L
Rouleau	Largeur de 7 m	Largeur de 9,1 m
Moissonneuse-batteuse autoportée	Puissance à la PDF : 224 KW Pour le maïs : 8 rangs Pour les céréales : largeur de 6 m Pour le soya : largeur de 6 m	Pour le maïs : 12 rangs Pour les céréales : largeur de 6 m Pour le soya : largeur de 6 m

TABEAU 105 : ÉQUIPEMENT DE PLUS GRANDE CAPACITÉ UTILISÉ SUR LA FERME TYPE EN PRODUCTION AVICOLE (CAS AVEC CULTURE DE MAÏS)

Équipement	Caractéristiques de l'équipement	Équipement de plus grande capacité
Cultivateur	Largeur de 6,6 m	Largeur de 9,8 m
Pulvérisateur	Capacité de 2840 L	Capacité de 4 900 L