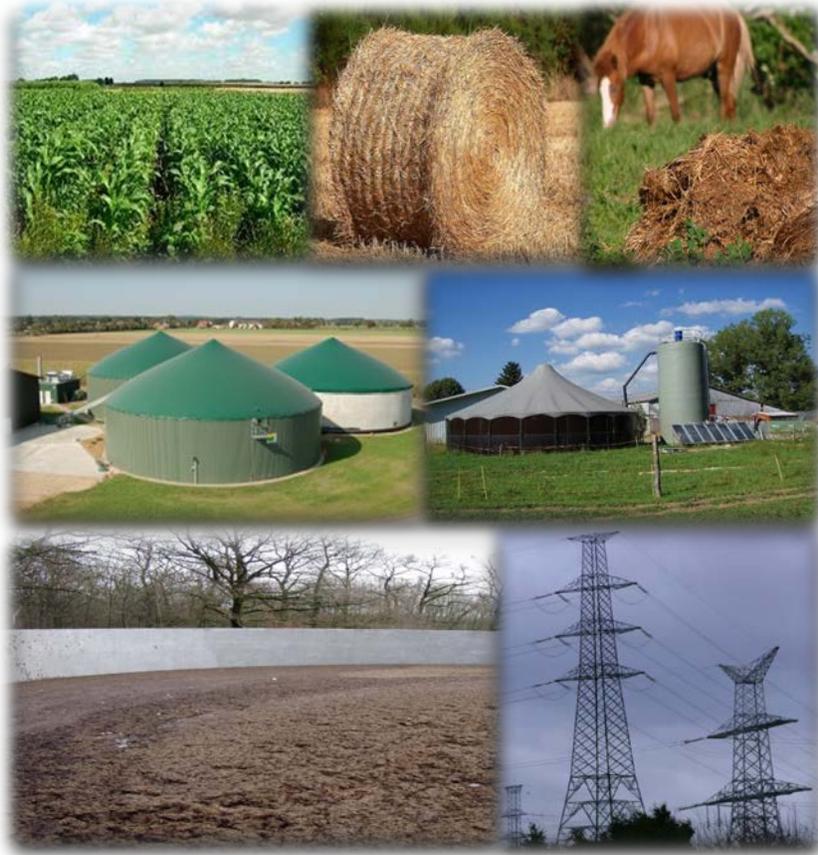


Évaluation du potentiel de production de biogaz par la méthanisation de la biomasse agricole dans la région de Saint-Jean-Valleyfield



Rapport final

Fédération régionale de l'Union des Producteurs Agricoles
de Saint-Jean-Valleyfield

Juillet 2011



Agriculture, Pêcheries
et Alimentation
Québec 



Fédération de l'UPA
de Saint-Jean-Valleyfield

Personnel impliqué et collaboration

Recherche, analyse et rédaction

Lazar Aguiar, Ph.D.
Conseiller en environnement

Révision et mise en page:

Evelyn Sorel, Conseillère en aménagement
Danielle Inkel, Adjointe administrative

Partenariat et collaboration

Ce travail a été accompli grâce au soutien financier du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) à travers le programme Prime-vert - sous-volet 8.4 - Évaluation, information et sensibilisation en matière de technologies et de pratiques agricoles de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

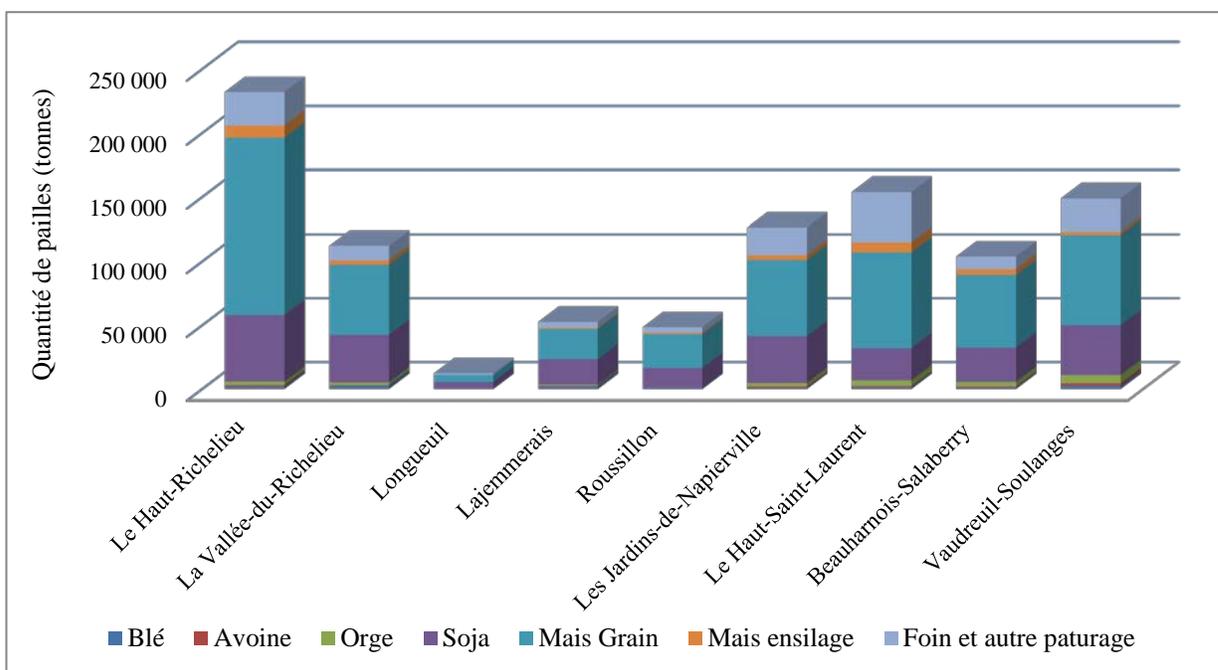
SOMMAIRE EXÉCUTIF

La crise énergétique actuelle, les enjeux de production d'énergie renouvelable ainsi que la recherche de ressources complémentaires à l'activité agricole sont autant de raisons qui justifient le nouveau recours à la méthanisation de la biomasse agricole. C'est d'ailleurs, pour ces mêmes raisons que la fédération de l'UPA de Saint-Jean-Valleyfield, s'intéresse à la production d'énergie renouvelable à partir de la méthanisation de la biomasse issue des activités agricoles sur son territoire. Cette étude vise à quantifier le potentiel de production de biomasse et d'estimer les revenus susceptibles d'être tirés de la valorisation énergétique de la biomasse.

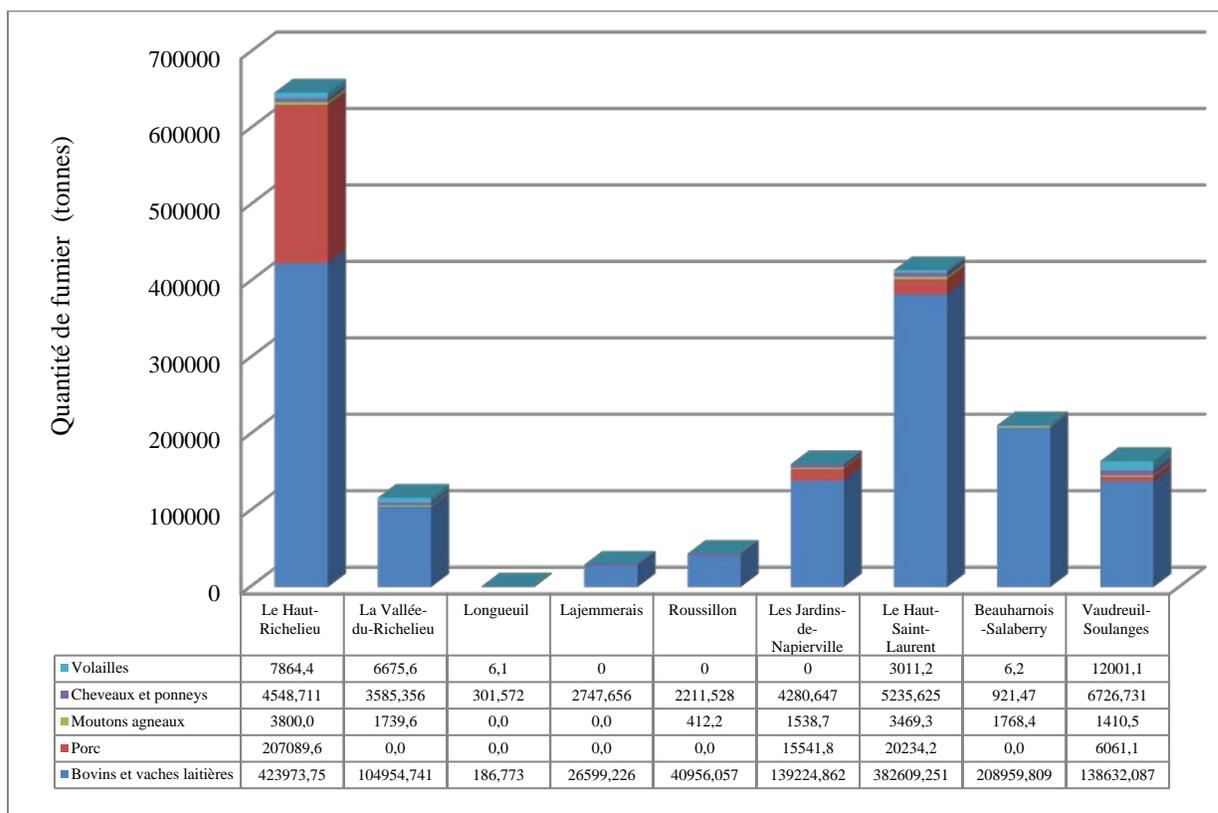
Potentiel de production de biomasse dans la région de Saint-Jean-Valleyfield

La quantité totale de paille produite par les principales cultures considérées dans cette étude s'élève à près de 1 million de tonnes (990 834 t) dont 60 % proviennent de la production de maïs-grain et 20 % du soya. D'un point de vue géographique, la production de paille est nettement dominée par la MRC du Haut-Richelieu qui fournit près de 25 % de la quantité totale de paille, suivi des MRC du Haut-Saint-Laurent et de Vaudreuil-Soulanges qui contribuent à hauteur de 16 et 15 % respectivement. Si la quantité de paille nécessaire aux respects des pratiques agroenvironnementales est fixée à 33 % (1/3) et 66 % (2/3), les quantités de paille mobilisables sont estimées à un peu moins de 663 858 t et 326 975 t respectivement.

La biomasse d'origine animale méthanisable est estimée à plus de 1 768 000 t en 2006 avec une nette domination des secteurs bovin et porcin qui fournissent respectivement 65 % et 32 % de la quantité totale de biomasse d'origine animale. Les MRC du Haut-Richelieu et du Haut-Saint-Laurent sont les principaux gisements de biomasse d'origine animale avec un total respectif de plus 600 000 t et 400 000 t en 2006.



Quantité de paille en tonnes



Quantité de fumier en tonnes

Potentiel énergétique et économique de la production de biogaz

Le potentiel méthanogène des pailles de céréales est relativement plus élevé que celui des déjections animales. Le biogaz d'origine végétale estimé à environ 285 millions de m³ par an (2006) provient majoritairement des résidus de maïs (grain) et de soya qui totalisent une contribution de plus de 85 % du volume total de biogaz d'origine végétale. Le volume total de biogaz potentiellement exploitable à partir des résidus d'élevage est estimé à plus de 88 millions m³ par an dont les plus importants gisements sont localisés dans la MRC du Haut-Richelieu, du Haut-Saint-Laurent et de Beauharnois-Salaberry avec respectivement 29 millions, 21 millions, 10 millions de m³ de biogaz par an. Les déjections animales issues de la production bovine et porcine présentent les plus faibles potentiels méthanogènes des résidus biométhanisables considérés dans cette étude, mais enregistrent les plus importantes quantités de biogaz en production animale.

La charge énergétique totale (énergie brute) des résidus du secteur végétal est évaluée à plus de 1,707 TWh. Alors que les quantités de fumier potentiellement disponibles peuvent permettre de produire plus de 525 GWh d'énergie brute (électricité nette et chaleur). Au total, le potentiel énergétique brut que l'on peut tirer de la méthanisation autant de la biomasse d'origine végétale que de la biomasse d'origine animale se chiffre à plus de 2,233 TWh dont 76 % du secteur végétal et 24 % du secteur animal. L'application des scénarios susmentionnés conduirait à une disponibilité énergétique de près de 1.261 TWh (scénario I) vs 0,640 TWh (scénario II). Donc dans tous les cas, l'énergie produite est évaluée à plus de 600 GWh.

Le biogaz produit par la méthanisation de la biomasse peut être valorisé en électricité, chaleur, gaz naturel ou gaz naturel carburant en remplacement des énergies fossiles. La vente d'électricité produite peut engendrer des revenus bruts de plus de 53 millions de dollars (0,068 \$/kWh) alors que l'injection du gaz naturel dans le réseau de Gaz Métro peut générer des revenus de plus de 37 millions à raison de 0,18 \$ le mètre cube. Par contre, la quantité totale de méthane susceptible d'être produite équivaut environ à 223 millions de litres de mazout, soient des revenus équivalents de plus de 214 millions de dollars (0,96 \$/l). La rentabilité économique la plus importante est offerte par la

substitution de l'essence par le Gaz Naturel Carburant. En effet, l'équivalent du méthane produit à partir des résidus agricoles est chiffré à plus de 256 millions de litres d'essences. Cela équivaut à des revenus bruts de près de 300 millions de dollars, si le prix du litre de l'essence se maintient 1,15 \$ /litre.

Le choix de la production électrique comme mode de valorisation du biogaz n'est peut-être pas le plus économiquement profitable et viable dans le contexte du marché québécois. Même si le prix de rachat de l'électricité issue du biogaz au Québec a été revu à la hausse (0,11 \$/kWh), lors de l'appel d'offres d'Hydro-Québec en 2009, la rentabilité d'une installation de méthanisation n'est pas garantie. Il s'avère donc primordial de mettre en œuvre un programme de rachat d'énergie autant pour l'électricité produite que pour le gaz naturel ou le carburant afin de rentabiliser la production et de viabiliser le secteur énergétique renouvelable

La valorisation du biogaz produit par l'unité de méthanisation doit être orientée vers la réduction de l'usage des énergies non renouvelables (gaz naturel, pétrole, essence, mazout...) qui ont un impact négatif majeur sur l'environnement et non le remplacement d'une énergie renouvelable par une autre. Toutefois, une complémentarité des deux peut être envisagée, le tout à la satisfaction des besoins énergétiques et dans un souci de développement durable. De telles initiatives requièrent une bonne volonté politique ainsi qu'une adaptation des programmes de financement et d'encadrement technique.

D'après les résultats obtenus sur la quantité de biomasse générée à l'échelle de chaque MRC, les plus importants gisements de résidus agricoles méthanisables se trouvent dans la MRC du Haut-Richelieu et du Haut-Saint-Laurent suivi de Beauharnois-Salaberry et des Jardins-de-Napierville. Par conséquent, l'unité de méthanisation peut être localisée à une distance intermédiaire après pondération des quantités de résidus disponibles dans chaque MRC. Une autre option serait de mettre en place plusieurs unités de méthanisation (2 ou 3) dans les secteurs les plus productifs de biomasse (Haut-Richelieu, Haut-Saint-Laurent, Beauharnois-Salaberry, Des Jardins-de-Napierville).

Potentiel énergétique des résidus d'origine végétale selon différents scénarios

| Matières premières | Quantité totale de résidus (tonne) | Volume de biogaz (m ³ /tonne de résidus) ¹ | Volume total de biogaz (m ³) | Concentration en méthane 60 % | Énergie brute (kWh) 6 kWh/ m ³ biogaz | Scénario I (66 %) (kWh) | | Scénario II (33 %) (kWh) | |
|------------------------------|------------------------------------|--|--|-------------------------------|---|----------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------|
| | | | | | | Énergie déduite | Énergie disponible | Énergie déduite | Énergie disponible |
| Maïs-ensilage | 32 835,87 | 197 | 6 468 666 | 3 881 200 | 38 811 998 | 12 807 959 | 26 004 039 | 25 615 919 | 13 196 079 |
| Paille de blé | 13 667 | 342 | 4 674 114 | 2 804 468 | 28 044 684 | 9 254 746 | 18 789 938 | 18 509 491 | 9 535 193 |
| Paille d'avoine | 6403 | 342 | 2 189 826 | 1 313 896 | 13 138 956 | 4 335 855 | 8 803 101 | 8 671 711 | 4 467 245 |
| Foins | 145 099,38 | 145 | 21 039 410 | 12 623 646 | 126 236 461 | 41 658 032 | 84 578 429 | 83 316 064 | 42 920 397 |
| Paille de soya | 258 669 | 342 | 88 464 798 | 53 078 879 | 530 788 788 | 175 160 300 | 355 628 488 | 350 320 600 | 180 468 188 |
| Résidus de maïs-grain | 510 506,27 | 301 | 153 662 387 | 92 197 432 | 921 974 324 | 304 251 527 | 617 722 797 | 608 503 054 | 313 471 270 |
| Paille d'orge | 23 653,62 | 342 | 8 089 538 | 4 853 723 | 48 537 228 | 16 017 285 | 32 519 943 | 32 034 571 | 16 502 658 |
| Total | | | 284 588 740 | 170 753 244 | 1 707 532 439 | 563 485 705 | 1 144 046 734 | 1 126 971 410 | 580 561 029 |

¹Fisher 2007, CRAAQ, 2008

Potentiel énergétique des résidus d'origine animale selon différents scénarios

| | Quantité de fumier | Biogaz en m ³ /tonne de résidus ² | Biogaz en m ³ | Concentration en méthane 60 % | Énergie brute (kWh) 6 kWh/ m ³ biogaz | Scénario 1 (66 %) (kWh) | | Scénario 2 (33 %) (kWh) | |
|-----------------------------------|--------------------|---|--------------------------|-------------------------------|--|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| | | | | | | Énergie déduite | Énergie disponible | Énergie déduite | Énergie disponible |
| Bovins et vaches laitières | 1 466 096,6 | 51 | 74 770 925 | 44 862 555 | 448 625 550 | 148 046 432 | 300 579 119 | 296 092 863 | 152 532 687 |
| Porc | 227 923,8 | 29 | 6 609 790 | 3 965 874 | 39 658 740 | 13 087 384 | 26 571 356 | 26 174 768 | 13 483 972 |
| Moutons agneaux | 14 193,2 | 99 | 1 405 127 | 843 076 | 8 430 762 | 2 782 151 | 5 648 611 | 5 564 303 | 2 866 459 |
| Chevaux et poneys | 30 559,3 | 74 | 2 261 388 | 1 356 833 | 13 568 328 | 4 477 548 | 9 090 780 | 8 955 096 | 4 613 232 |
| Volailles | 29 564,6 | 87 | 2 572 120 | 1 543 272 | 15 432 720 | 5 092 798 | 10 339 922 | 10 185 595 | 5 247 125 |
| Total | 1 768 337,5 | | 87 619 350 | 52 571 610 | 525 716 100 | 173 486 313 | 352 229 787 | 346 972 626 | 178 743 474 |

² Fisher 2007, CRAAQ, 2008

Équivalent en électricité

| Matières premières | Quantité totale de résidus (Tonne) | Volume de biogaz (m ³ /tonne de résidus) ³ | Volume total de biogaz (m ³) | Concentration en méthane 60 % | Énergie brute (kWh) 6 kWh/ m ³ biogaz | Électricité | Prix 1 kWh = 0,068\$ | Scénario I (66 %) KWh | Scénario II (33 %) KWh |
|---------------------------|------------------------------------|--|--|-------------------------------|--|--------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Maïs-ensilage | 32 835,87 | 197 | 6 468 666 | 3 881 200 | 38 811 998 | 13 584 199 | 923 726 | 618 896 | 314 067 |
| Paille de blé | 13 667 | 342 | 4 674 114 | 2 804 468 | 28 044 684 | 9 815 639 | 667 463 | 447 201 | 226 938 |
| Paille d'avoine | 6403 | 342 | 2 189 826 | 1 313 896 | 13 138 956 | 4 598 635 | 312 707 | 209 514 | 106 320 |
| Foins | 145 099,38 | 145 | 21 039 410 | 12 623 646 | 126 236 461 | 44 182 761 | 3 004 428 | 2 012 967 | 1 021 505 |
| Paille de soya | 258 669 | 342 | 88 464 798 | 53 078 879 | 530 788 788 | 185 776 076 | 12 632 773 | 8 463 958 | 4 295 143 |
| Résidus de maïs-grain | 510 506,27 | 301 | 153 662 387 | 92 197 432 | 921 974 324 | 322 691 013 | 21 942 989 | 14 701 803 | 7 460 616 |
| Paille d'orge | 23 653,62 | 342 | 8 089 538 | 4 853 723 | 48 537 228 | 16 988 030 | 1 155 186 | 773 975 | 392 763 |
| Total végétal | | | 284 588 740 | 170 753 244 | 1 707 532 439 | 597 636 354 | 40 639 272 | 27 228 312 | 13 817 352 |
| Bovins / vaches laitières | 1 466 096,56 | 51 | 74 770 925 | 44 862 555 | 448 625 547 | 157 018 941 | 10 677 288 | 7 153 783 | 3 630 278 |
| Porc | 227 923,8 | 29 | 6 609 790 | 3 965 874 | 39 658 741 | 13 880 559 | 943 878 | 632 398 | 320 919 |
| Moutons agneaux | 14 193,2 | 99 | 1 405 127 | 843 076 | 8 430 761 | 2 950 766 | 200 652 | 134 437 | 68 222 |
| Chevaux et poneys | 30 559,3 | 74 | 2 261 388 | 1 356 833 | 13 568 329 | 4 748 915 | 322 926 | 216 361 | 109 795 |
| Volailles | 29 564,6 | 87 | 2 572 120 | 1 543 272 | 15 432 721 | 5 401 452 | 367 299 | 246 090 | 124 882 |
| Total animal | 1 768 337,46 | | 87 619 350 | 52 571 610 | 525 716 100 | 184 000 635 | 12 512 043 | 8 383 069 | 4 254 095 |
| TOTAL | | | 372 208 090 | 223 324 854 | 2 233 248 539 | 781 636 989 | 53 151 315 | 35 611 381 | 18 071 447 |

³ Fisher 2007, CRAAQ, 2008

Équivalent en essence

| Matières premières | Quantité totale de résidus (Tonne) | Volume de biogaz (m ³ /tonne de résidus) ⁴ | Volume total de biogaz (m ³) | Concentration en méthane 60 % | Équivalent en essence | Prix 1,15 l d'essence = 1,15 \$ | Scénario I | | Scénario II | |
|---------------------------|------------------------------------|--|--|-------------------------------|--|------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | | 1 m ³ de méthane = 1,15 l d'essence | | (33 %) | Prix | (66 %) | Prix |
| Maïs-ensilage | 32 835,87 | 197 | 6 468 666 | 3 881 200 | 4 463 380 | 5 132 887 | 2 945 831 | 3 387 705 | 1 472 915 | 1 693 853 |
| Paille de blé | 13 667 | 342 | 4 674 114 | 2 804 468 | 3 225 138,2 | 3 708 909 | 2 128 591 | 2 447 880 | 1 064 296 | 1 223 940 |
| Paille d'avoine | 6403 | 342 | 2 189 826 | 1 313 896 | 1 510 980,4 | 1 737 627 | 997 247 | 1 146 834 | 498 624 | 573 417 |
| Foins | 145 099,38 | 145 | 21 039 410 | 12 623 646 | 14 517 192,9 | 16 694 772 | 9 581 347 | 11 018 549 | 4 790 674 | 5 509 275 |
| Paille de soya | 258 669 | 342 | 88 464 798 | 53 078 879 | 61 040 710,85 | 70 196 817 | 40 286 869 | 46 329 900 | 20 143 435 | 23 164 950 |
| Résidus de maïs (grain) | 510 506,27 | 301 | 153 662 387 | 92 197 432 | 106 027 046,8 | 121 931 104 | 69 977 851 | 80 474 529 | 34 988 925 | 40 237 264 |
| Paille d'orge | 23 653,62 | 342 | 8 089 538 | 4 853 723 | 5 581 781,45 | 6 419 049 | 3 683 976 | 4 236 572 | 1 841 988 | 2 118 286 |
| Total végétal | | | 284 588 740 | 170 753 244 | 196 366 230,6 | 225 821 165 | 129 601 712 | 149 041 969 | 64 800 856 | 74 520 985 |
| Bovins / vaches laitières | 1 466 096,56 | 51 | 74 770 925 | 44 862 555 | 51 591 938,25 | 59 330 729 | 34 050 679 | 39 158 281 | 17 025 340 | 19 579 141 |
| Porc | 227 923,8 | 29 | 6 609 790 | 3 965 874 | 4 560 755,1 | 5 244 868 | 3 010 098 | 3 461 613 | 1 505 049 | 1 730 807 |
| Moutons agneaux | 14 193,2 | 99 | 1 405 127 | 843 076 | 969 537,4 | 1 114 968 | 639 895 | 735 879 | 319 947 | 367 939 |
| Chevaux et poneys | 30 559,3 | 74 | 2 261 388 | 1 356 833 | 1 560 357,95 | 1 794 412 | 1 029 836 | 1 184 312 | 514 918 | 592 156 |
| Volailles | 29 564,6 | 87 | 2 572 120 | 1 543 272 | 1 774 762,8 | 2 040 977 | 1 171 343 | 1 347 045 | 585 672 | 673 522 |
| Total animal | 1 768 337,46 | | 87 619 350 | 52 571 610 | 60 457 351,5 | 69 525 954 | 39 901 852 | 45 887 130 | 19 950 926 | 22 943 565 |
| TOTAL | | | 372 208 090 | 223 324 854 | 256 823 582,1 | 295 347 119 | 169 503 564 | 194 929 099 | 84 751 782 | 97 464 549 |

⁴ Fisher 2007, CRAAQ, 2008

Équivalent en gaz naturel

| Matières premières | Quantité totale de résidus (Tonne) | Volume de biogaz (m ³ /tonne de résidus) ⁵ | Volume total de biogaz (m ³) | Concentration en méthane 60 % | Équivalent en gaz naturel 1 m ³ méthane = 0,94 m ³ gaz naturel | Prix 0,18 \$ | Scénario I | | Scénario II | |
|----------------------------|------------------------------------|--|--|-------------------------------|---|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | | | | (33 %) | Prix | (66 %) | Prix |
| Maïs-ensilage | 32 835,87 | 197 | 6 468 666 | 3 881 200 | 3 648 328 | 656 699 | 2 407 896 | 433 421 | 1 203 948 | 216 711 |
| Paille de blé | 13 667 | 342 | 4 674 114 | 2 804 468 | 2 636 199,92 | 474 516 | 1 739 892 | 313 181 | 869 946 | 156 590 |
| Paille d'avoine | 6403 | 342 | 2 189 826 | 1 313 896 | 1 235 062,24 | 222 311 | 815 141 | 146 725 | 407 571 | 73 363 |
| Foins | 145 099,38 | 145 | 21 039 410 | 12 623 646 | 11 866 227,24 | 2 135 921 | 7 831 710 | 1 409 708 | 3 915 855 | 704 854 |
| Paille de soya | 258 669 | 342 | 88 464 798 | 53 078 879 | 49 894 146,26 | 8 980 946 | 32 930 137 | 5 927 425 | 16 465 068 | 2 963 712 |
| Résidus de maïs (grain) | 510 506,27 | 301 | 153 662 387 | 92 197 432 | 86 665 586,08 | 15 599 805 | 57 199 287 | 10 295 872 | 28 599 643 | 5 147 936 |
| Paille d'orge | 23 653,62 | 342 | 8 089 538 | 4 853 723 | 4 562 499,62 | 821 250 | 3 011 250 | 542 025 | 1 505 625 | 271 012 |
| Total végétal | | | 284 588 740 | 170 753 244 | 160 508 049,4 | 28 891 449 | 105 935 313 | 19 068 356 | 52 967 656 | 9 534 178 |
| Bovins et vaches laitières | 1 466 096,56 | 51 | 74 770 925 | 44 862 555 | 42 170 801,7 | 7 590 744 | 27 832 729 | 5 009 891 | 13 916 365 | 2 504 946 |
| Porc | 227 923,8 | 29 | 6 609 790 | 3 965 874 | 3 727 921,56 | 671 026 | 2 460 428 | 442 877 | 1 230 214 | 221 439 |
| Moutons agneaux | 14 193,2 | 99 | 1 405 127 | 843 076 | 792 491,44 | 142 648 | 523 044 | 94 148 | 261 522 | 47 074 |
| Chevaux et poneys | 30 559,3 | 74 | 2 261 388 | 1 356 833 | 1 275 423,02 | 229 576 | 841 779 | 151 520 | 420 890 | 75 760 |
| Volailles | 29 564,6 | 87 | 2 572 120 | 1 543 272 | 1 450 675,68 | 261 122 | 957 446 | 172 340 | 478 723 | 86 170 |
| Total animal | 1 768 337,46 | | 87 619 350 | 52 571 610 | 49 417 313,4 | 8 895 116 | 32 615 427 | 5 870 777 | 16 307 713 | 2 935 388 |
| TOTAL | | | 372 208 090 | 223 324 854 | 209 925 362,8 | 37 786 565 | 138 550 739 | 24 939 133 | 69 275 370 | 12 469 567 |

⁵ Fisher 2007, CRAAQ, 2008

Équivalent en mazout

| Matières premières | Quantité totale de résidus (Tonne) | Volume de biogaz (m ³ /tonne de résidus) ⁶ | Volume total de biogaz (m ³) | Concentration en méthane 60 % | Équivalent en mazout | Prix 0,96 \$ | Scénario 1 | | Scénario 2 | |
|----------------------------|------------------------------------|--|--|-------------------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | | 1 m3 méthane = 1 litre de mazout | | (33 %) | Prix | (66 %) | Prix |
| Maïs-ensilage | 32 835,87 | 197 | 6 468 666 | 3 881 200 | 3 881 200 | 3 725 952 | 2 561 592 | 2 459 128 | 1 280 796 | 1 229 564 |
| Paille de blé | 13 667 | 342 | 4 674 114 | 2 804 468 | 2 804 468 | 2 692 289 | 1 850 949 | 1 776 911 | 925 474 | 888 455 |
| Paille d'avoine | 6403 | 342 | 2 189 826 | 1 313 896 | 1 313 896 | 1 261 340 | 867 171 | 832 485 | 433 586 | 416 242 |
| Foins | 145 099,38 | 145 | 21 039 410 | 12 623 646 | 12 623 646 | 12 118 700 | 8 331 606 | 7 998 342 | 4 165 803 | 3 999 171 |
| Paille de soya | 258 669 | 342 | 88 464 798 | 53 078 879 | 53 078 879 | 50 955 724 | 35 032 060 | 33 630 778 | 17 516 030 | 16 815 389 |
| Résidus de maïs (grain) | 510 506,27 | 301 | 153 662 387 | 92 197 432 | 92 197 432 | 88 509 535 | 60 850 305 | 58 416 293 | 30 425 153 | 29 208 146 |
| Paille d'orge | 23 653,62 | 342 | 8 089 538 | 4 853 723 | 4 853 723 | 4 659 574 | 3 203 457 | 3 075 319 | 1 601 729 | 1 537 659 |
| Total végétal | | | 284 588 740 | 170 753 244 | 170 753 244 | 163 923 114 | 112 697 141 | 108 189 255 | 56 348 571 | 54 094 628 |
| Bovins et vaches laitières | 1 466 096,56 | 51 | 74 770 925 | 44 862 555 | 44 862 555 | 43 068 053 | 29 609 286 | 28 424 915 | 14 804 643 | 14 212 457 |
| Porc | 227 923,8 | 29 | 6 609 790 | 3 965 874 | 3 965 874 | 3 807 239 | 2 617 477 | 2 512 778 | 1 308 738 | 1 256 389 |
| Moutons agneaux | 14 193,2 | 99 | 1 405 127 | 843 076 | 843 076 | 809 353 | 556 430 | 534 173 | 278 215 | 267 086 |
| Chevaux et poneys | 30 559,3 | 74 | 2 261 388 | 1 356 833 | 1 356 833 | 1 302 560 | 895 510 | 859 689 | 447 755 | 429 845 |
| Volailles | 29 564,6 | 87 | 2 572 120 | 1 543 272 | 1 543 272 | 1 481 541 | 1 018 560 | 977 817 | 509 280 | 488 909 |
| Total animal | 1 768 337,46 | | 87 619 350 | 52 571 610 | 52 571 610 | 50 468 746 | 34 697 263 | 33 309 372 | 17 348 631 | 16 654 686 |
| TOTAL | | | 372 208 090 | 223 324 854 | 223 324 854 | 214 391 860 | 147 394 404 | 141 498 627 | 73 697 202 | 70 749 314 |

⁶ Fisher 2007, CRAAQ, 2008

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|------|
| SOMMAIRE EXÉCUTIF | iii |
| TABLE DES MATIÈRES..... | xiii |
| LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX..... | xiv |
| CONTEXTE DE L'ÉTUDE | 1 |
| INTRODUCTION..... | 4 |
| Objectifs de l'étude..... | 6 |
| Résultats attendus..... | 6 |
| Les produits étudiés | 7 |
| MÉTHODOLOGIE | 9 |
| CHAPITRE I : PORTRAIT AGRICOLE DE SAINT-JEAN-VALLEYFIELD..... | 16 |
| 1.1 Situation géographique..... | 16 |
| 1.2 Profil agricole de la région de Saint-Jean-Valleyfield | 19 |
| CHAPITRE II : ESTIMATION DE LA BIOMASSE..... | 31 |
| 2.1 Biomasse d'origine végétale | 31 |
| 2.2 Biomasse d'origine animale..... | 37 |
| CHAPITRE III : POTENTIELS ÉNERGÉTIQUES DE LA BIOMASSE AGRICOLE: BIOGAZ | 44 |
| 3.1 Méthodologie d'estimation du biogaz..... | 50 |
| 3.2 Production de biogaz..... | 53 |
| CHAPITRE IV : VALORISATION DU BIOGAZ..... | 61 |
| 4.1 Potentiel énergétique..... | 63 |
| 4.2 Potentiel économique de la production de biogaz..... | 67 |
| AUTRES BÉNÉFICES MARGINAUX | 82 |
| DISCUSSION..... | 88 |
| RECOMMANDATIONS..... | 92 |
| CONCLUSION | 97 |
| RÉFÉRENCES..... | 102 |
| ANNEXES | 109 |

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Les MRC de la région de Saint-Jean-Valleyfield | 18 |
| Figure 2 : Superficie agricole et superficie cultivée en 2006 | 21 |
| Figure 3 : Répartition des fermes selon les secteurs de production végétale | 23 |
| Figure 4 : Répartition géographique des fermes en production végétale | 24 |
| Figure 5 : Répartition des fermes selon les secteurs de production animale..... | 25 |
| Figure 6 : Répartition géographique des fermes en production animale..... | 25 |
| Figure 7 : Utilisation des résidus végétaux. | 29 |
| Figure 8 : Utilisation du fumier..... | 29 |
| Figure 9 : Quantité de paille en tonnes..... | 32 |
| Figure 10 : Quantité de grains produite par MRC..... | 35 |
| Figure 11: Quantité de fumier produite par secteur d'élevage..... | 39 |
| Figure 12 : Quantité de fumier produite par sous-secteur bovin (T/année) | 41 |
| Figure 13: Quantité de fumier produite par sous-secteur porcin (T/année) | 42 |
| Figure 14 : Processus de méthanisation | 46 |
| Figure 15 : Cycle de production du biogaz | 48 |
| Figure 16 : Potentiels méthanogènes des différents substrats (en Nm ³ CH ₄ /tonne MO) (ADEME, 2009) | 49 |
| Figure 17 : Pourcentage de production de biogaz par tonne de résidus d'origine végétale | 53 |
| Figure 18: Potentiel de production de biogaz par MRC..... | 54 |
| Figure 19: Estimation du biogaz produit par secteur d'élevage..... | 57 |
| Figure 20: Volume potentiel de biogaz en m ³ dans chaque MRC | 57 |
| Figure 21: Comparaison de la composition du biogaz et du potentiel énergétique de différents substrats (source APESA, 2007)..... | 61 |
| Figure 22 : Équivalence énergétique du méthane (Molleta, 2008) | 62 |

Tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Taux de rendement et indice de récolte..... | 9 |
| Tableau 2: Coefficient d'estimation de la consommation en grains | 12 |
| Tableau 3 : Facteurs de conversion et taux de rotation par catégorie d'animaux | 13 |
| Tableau 4 : Quantité de fumier produite par bétail | 14 |
| Tableau 5 : Nombre total de fermes en 2006 | 19 |
| Tableau 6 : Superficie agricole et superficie cultivée en 2006..... | 20 |
| Tableau 7: Répartition des fermes selon la valeur marchande..... | 22 |
| Tableau 8 : Superficie agricole et terres en culture..... | 28 |
| Tableau 9 : Quantité de paille mobilisable selon deux scénarios..... | 33 |
| Tableau 10 : Coefficient de consommation en grains du bétail | 35 |
| Tableau 11 : Bilan en grains: Production-consommation (T/année)..... | 36 |
| Tableau 12 : Quantité de fumier par animal..... | 38 |
| Tableau 13 : Production de biogaz selon les résidus..... | 50 |
| Tableau 14 : Volume moyen de biogaz produit par type résidus végétal | 51 |
| Tableau 15 : Composition de différents substrats et volume de biogaz (m ³ /tonne)..... | 52 |
| Tableau 16: Volume de biogaz produit avec 66 % des résidus de cultures végétales..... | 55 |
| Tableau 17: Volume de biogaz produit avec 33 % des résidus de culture végétale..... | 56 |
| Tableau 18: Potentiel énergétique des résidus d'origine végétale selon différents scénarios | 64 |
| Tableau 19: Potentiel énergétique des résidus d'origine animale selon différents scénarios..... | 66 |
| Tableau 20: Rentabilité électrique des résidus agricoles | 69 |
| Tableau 21: Équivalent en électricité..... | 70 |
| Tableau 22: Équivalent en mazout..... | 74 |
| Tableau 23: Équivalent en essence | 77 |
| Tableau 24: Équivalent en gaz naturel | 79 |

CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Au cours des dernières années, la hausse continue des prix du pétrole et de certaines énergies fossiles a laissé entrevoir un épuisement prévisible des réserves mondiales dû à la consommation. La consommation mondiale de pétrole a augmenté de 20 % depuis 1994, et elle devrait continuer à croître de 1,6 % par an pour atteindre 60 % d'ici 2030 (CCE, 2006). Au vu de cette progression effarante de la demande mondiale en combustibles fossiles, les prix du pétrole et du gaz vont probablement se maintenir à des niveaux élevés. En effet, le prix du baril de pétrole est passé de 20\$ en 2001 à près de 150\$ en 2008 pour redescendre vers 116\$ en avril 2011⁷. Au Québec, le prix des énergies a connu des hausses spectaculaires de plus de 180 % pour le mazout, 140 % pour le gaz naturel et 90 % pour l'essence au cours des trois dernières années⁸.

Cette crise énergétique actuelle renchérit les dépenses de chauffage ou de carburant, et fragilise le budget des entreprises agricoles (Wuart, 2008). En effet, le coût de l'énergie pour les entreprises agricoles représente une part très importante du budget d'exploitation et de fonctionnement des fermes du Québec. Ces dépenses peuvent varier d'un minimum de 5 % dans le secteur porcin et avicole jusqu'à un maximum pouvant atteindre 50 % des dépenses dans le secteur serricole (Brodeur, 2008). Dans le secteur des grandes cultures, les dépenses relatives à l'achat d'énergie telle l'électricité, le carburant ou le propane variaient entre 15 % à 19 % pour la production de maïs-grain entre les années 2000 et 2006 (La Financière agricole, 2008).

Parallèlement, le réchauffement climatique et la pollution de l'air issus de l'utilisation de ces énergies fossiles ont conduit la communauté internationale à une prise de conscience sans précédent sur l'impact des activités humaines sur l'environnement. Selon le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), les émissions de gaz à

⁷ <http://prixdubaril.com/>, consulté le 12 avril 2011

⁸ http://www2.nrcan.gc.ca/eneene/sources/pri/pri/prov_map_e.cfm?ProvCode=QC consulté le 03 décembre 2010

effet de serre ont déjà conduit à une augmentation de 0,6°C de la température mondiale moyenne. Si aucune mesure n'est prise, l'augmentation sera comprise entre 1,4 et 5,8 °C d'ici la fin du siècle. Toutes les régions du monde (y compris le Québec) devront faire face à de graves conséquences pour leurs économies et leurs écosystèmes (GIEC, 2007).

Devant un tel constat chaotique, le Québec s'est fixé comme objectif la réduction de 4,5 millions de tonnes, de plus, de GES d'ici 2012. Ces mesures couvrent autant l'efficacité énergétique que la substitution des énergies fossiles par des sources d'énergie plus propres ou renouvelables, la captation d'émissions produites par les matières résiduelles, le transport, les nouvelles technologies, etc. (MDDEP, 2010).

Avec une contribution aux émissions de GES, de près de 8,5 % au Canada et de 7,7 % pour le Québec⁹, l'agriculture constitue relativement, un des secteurs les plus contributifs aux émissions de GES (MDDEP, 2010; Environnement Canada, 2010). Afin de minimiser les impacts des activités agricoles sur l'environnement et de minimiser les dépenses énergétiques, il s'avère nécessaire de réduire l'utilisation des énergies fossiles à la ferme, de favoriser la production d'énergie au moyen de sources d'énergie renouvelable et de limiter les émissions des GES à partir des résidus agricoles.

Dans ce contexte, la mise en place de projet de production d'énergie par la méthanisation de la biomasse agricole est doublement salubre et ne répond pas seulement à un enjeu environnemental. D'une part, le remplacement des énergies fossiles par des énergies « propres » permet de respecter conjointement les engagements pris par le Québec pour atténuer le réchauffement climatique. D'autre part, le développement maîtrisé de la biométhanisation et la contribution de ces énergies à la diversification et à la sécurité d'approvisionnement en énergie en fait un facteur de développement durable central. En effet, la valorisation énergétique des résidus agricoles par la biométhanisation peut être une opportunité pour la diversification des

sources de revenus économiques de certaines exploitations agricoles grâce au gain tiré de la vente d'énergie (biométhane, gaz naturel...) et de la valorisation d'un engrais « vert » (Chen *et al.*, 2005).

C'est dans cette optique que la Fédération de l'UPA Saint-Jean-Valleyfield s'est fixée comme objectif d'explorer les potentialités de la production de biogaz par la méthanisation des résidus agricoles disponibles à l'échelle de son territoire. Ce projet répond à un besoin criard d'information de la part de l'ensemble des producteurs de la région et de la direction régionale qui s'intéressent à la mise en place de structures de méthanisation.

INTRODUCTION

Le rythme effréné de la croissance économique avec son cortège de conséquences sur l'environnement et la pérennité des ressources naturelles autorise une prise de conscience sur le caractère limitatif de ces dernières et incite à la diversification des sources d'énergie. Dans ce contexte, l'agriculture apparaît comme une activité doublement concernée par ce nouveau recours aux énergies renouvelables; d'abord comme consommatrice d'énergies fossiles, mais également comme productrice possible d'énergies renouvelables. Fort de ce constat, la Fédération de l'UPA de Saint-Jean-Valleyfield s'intéresse de plus en plus au potentiel du secteur agricole à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à contribuer à la diversification des sources d'énergies renouvelables. Parmi celles-ci, la digestion anaérobie ou méthanisation des effluents agricoles présente de nombreux intérêts environnementaux, économiques et sociaux.

Plusieurs expériences concrètes dans le monde, soutenues par des études scientifiques, ont démontré la faisabilité et l'efficacité de l'utilisation de la technologie de méthanisation pour le traitement des résidus de productions végétales et animales (Ericksson *et al.* 2005; Chen *et al.* 2005; ATEE 2007; Électrigaz 2008; Zhang *et al.*, 2008, ADEME, 2009 et 2010). Selon ces expériences, ce procédé permet non seulement de réduire la charge organique du lisier, d'en atténuer les odeurs lors de l'entreposage et de l'épandage, mais également d'éliminer une partie des agents pathogènes, de réduire les émissions de GES et de produire du biogaz. En outre, la production d'énergie peut être une source de revenus pour l'agriculteur et peut contribuer ainsi à la diversification des activités agricoles. Au regard de ces enjeux, la production d'énergie renouvelable à partir des effluents agricoles contribue à la valorisation des déchets organiques ainsi qu'à la recherche de ressources complémentaires à la production agricole (Ostrem, 2004; Partl, 2007).

Avec plus de 873 fermes bovines dont 463 en production laitière et pas moins de 2147 fermes en cultures commerciales (soya, maïs, blé...) et maraîchères, la région de Saint-Jean-Valleyfield est une des régions du Québec, les plus productrices de biomasse agricole dont la décomposition engendre d'importants rejets de CH₄ et donc d'énergie renouvelable (FPI, 2003; CEPAF, 2007). Cependant, le manque d'information autant sur la quantité totale de biomasse agricole produite dans la région que sur leur potentiel énergétique exploitable ne permet d'envisager, à l'heure actuelle, une quelconque valorisation des matières résiduelles à la ferme. C'est d'ailleurs pour combler cette lacune que le comité agroenvironnement de la fédération régionale a défini comme axe de priorité; la production et l'utilisation d'énergie renouvelable dans les fermes de la région. Ceci passe d'abord par la caractérisation des résidus de productions végétales (grandes cultures) et animales (bovins, chevaux, montons et chèvres, porcs, volailles) ainsi que par l'évaluation du potentiel énergétique de chaque résidu. La présente étude s'articule autour de quatre grands chapitres :

- Le premier chapitre présente les différents secteurs de production agricole de la région de Saint-Jean-Valleyfield et le profil socio-économique associé. Ce portrait global des activités agricoles met en perspective les gisements potentiels de la biomasse agricole dans la région.
- Le deuxième chapitre établit les quantités potentielles de biomasse d'origine végétale et animale produites dans la région. Cette quantification a permis d'identifier les gisements de biomasse agricoles sur le territoire de la fédération.
- Le troisième chapitre présente une estimation du potentiel énergétique des résidus agricoles produits dans la région. Une telle estimation permet de définir les gisements potentiels de production de biogaz sur le territoire de la Fédération régionale de Saint-Jean-Valleyfield.
- Enfin, le quatrième chapitre propose une estimation des revenus potentiels suivant différentes avenues énergétiques en remplacement des sources d'énergies actuellement utilisées à la ferme. Cette analyse économique partielle permet de comptabiliser les revenus équivalents que l'on peut tirer en termes d'économie à l'achat des énergies conventionnelles.

Objectifs de l'étude

Objectif général

La présente étude a pour objectif de dresser un portrait général de la biomasse agricole et de quantifier le potentiel de production de biogaz par la méthanisation des résidus de productions végétales et animales sur le territoire de la Fédération de l'UPA de Saint-Jean-Valleyfield. Il vise également à promouvoir la valorisation de la biomasse agricole et à proposer une diversification des ressources « énergétiques propres » pour les besoins de la ferme.

Objectifs spécifiques

La présente étude vise à :

1. caractériser et à quantifier la biomasse agricole produite dans la région de Saint-Jean-Valleyfield afin de fournir un portrait du potentiel énergétique des fermes de la région,
2. analyser le potentiel énergétique et la rentabilité économique de l'utilisation d'énergie renouvelable issue de la méthanisation des matières résiduelles organiques.

Résultats attendus

Avant d'envisager la mise en place d'une structure de méthanisation de la biomasse agricole, il s'avère impératif de caractériser et de quantifier les résidus agricoles susceptibles d'être utilisés à cette fin. Cette étude devrait donc aboutir à:

- a. l'identification des sources de biomasse susceptibles d'être converties en énergie de façon optimale ainsi qu'à l'estimation de la quantité totale disponible sur le territoire de la fédération,
- b. l'estimation du potentiel énergétique exploitable sur le territoire de la fédération et à l'évaluation des revenus susceptibles d'être tirés de la valorisation du biogaz suivant différentes avenues énergétiques.

Plutôt que d'étudier l'efficacité des techniques de méthanisation existantes ou la faisabilité ou non d'un projet de méthanisation, cette étude propose une estimation du potentiel énergétique ainsi que des revenus susceptibles d'être tirés de la production d'énergies à partir du biogaz. Ces revenus ne prennent pas en considération les investissements nécessaires pour les équipements et les infrastructures encore moins les coûts de fonctionnement et d'exploitation d'une unité de méthanisation. De telles analyses détaillées ne figurent pas dans les objectifs de la présente étude.

Les produits étudiés

D'une manière générale, les principaux secteurs de production de biomasse sont entre autres; l'agriculture et l'élevage, la forêt et les espaces verts (déchets verts), les milieux marins et aquatiques mais aussi les industries agro-alimentaires, papetières, de transformation du bois et les entreprises de traitement des déchets organiques (notamment les boues de stations d'épuration) ou des effluents d'élevages.

La présente étude porte uniquement sur la biomasse produite par les secteurs de l'agriculture et de l'élevage. Cette biomasse est ici appelée respectivement biomasse d'origine végétale et biomasse d'origine animale.

Biomasse d'origine végétale

Elle désigne principalement la biomasse résiduelle ou paille issue de la production de blé, d'orge, d'avoine, de maïs-grains, de maïs-ensilage, de soya et de foin qui sont les plus représentatifs de la région en termes de superficies cultivées. La biomasse d'origine forestière telle que le bois et celle issue des productions fruitières ou horticoles ne sont pas considérées en raison de l'indisponibilité de certaines données. C'est dire donc que les résultats de cette étude pourraient être bonifiés après intégration des résidus de productions maraîchères dans la comptabilité de la biomasse totale disponible.

Biomasse d'origine animale

La biomasse d'origine animale correspond aux effluents d'élevage (fumier, lisier, fientes) produits par les secteurs d'élevage bovins et vaches laitières, chevaux, porcs, volailles, montons et chèvres qui sont les plus représentatifs de la région en termes de quantités de déjections produites. Il faut noter que seules les déjections animales sont prises en compte. Les produits dérivés de l'élevage (laine, cuire...), les cadavres de bétail encore moins les corps gras et huiles animales (résidus d'abattoir) qui sont également sources de biomasse ne sont pas pris en compte. Ces derniers relèvent plutôt de l'industrie agroalimentaire. Les effluents d'élevage étudiés dans cette section sont exclusivement les effluents solides ou pâteux (fumiers) pour lesquels les données sont disponibles.

Les quantités de paille ainsi que les effluents d'élevage sont estimés à partir des données du recensement agricole de 2006. Afin de respecter les principes agroenvironnementaux de fertilisation et de protection des sols contre l'érosion et l'assèchement, deux scénarios de prélèvement de 66 % et 33 % de la biomasse totale sont prévus. Le but est de produire de l'énergie renouvelable sans pour autant compromettre la viabilité de l'agriculture. Ces deux scénarios de prélèvement doivent être considérés à titre indicatif et peuvent varier du cas par cas. Toutefois, le logiciel Bilan Humique-version 1.02¹⁰ peut permettre mieux évaluer la quantité de résidus pouvant être prélevés lors d'une évaluation du potentiel pour une ferme.

¹⁰ logiciel Bilan Humique-version 1.0

http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/Agroenvironnement/bonnespratiques/fertilisants/Pages/Bilan_humique.aspx

MÉTHODOLOGIE

Cette section présente l'approche utilisée pour quantifier la biomasse d'origine végétale et animale ainsi que leur potentiel énergétique. Cette quantification s'appuie sur les données d'inventaire agricole compilées par Statistique Canada lors du recensement de l'agriculture en 2006 et qui ont été colligées à l'échelle de chaque MRC.

Estimation de la biomasse d'origine végétale

La quantité de biomasse d'origine végétale a été calculée à partir des rendements et des indices de récoltes en paille et en grains tirés des études publiées par Statistique Canada (2006), du CRAAQ (2003) et du Groupe ÉcoRessources (2008). Le tableau 1 présente le coefficient de rendement ainsi que l'indice de récolte pour chaque type de production.

Tableau 1 : Taux de rendement et indice de récolte

| Production | Rendement en grains (t/ha) | Rendement en pailles (t/ha) | Indice de récolte | Rapport approximatif résidus/grains (kg) |
|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|--|
| Blé | 2,95 | 1,24 | 0,42 (0,45+0,38)/2 | 1,5 |
| Soya | 2,92 | 4,10 | 0,55 | 1,5 |
| Maïs-ensilage | 41,81 | 3,97 | 0,50 | 1,0 |
| Maïs-grain | 7,94 | 3,97 | 0,50 | 1,0 |
| Orge | 2,83 | 3,14 | 0,46 (0,48+0,43)/2 | 1,5 |
| Avoine | 2,44 | 3,20 | 0,39 (0,35+0,42)/2 | 2,0 |
| Céréales mélangées | 2,87 | | | |
| Foin cultivé et autre pâturage | 6,43 | 6,43 | | 1,0 |

Source: ÉcoRessources (2008), Laverdière et Thibaudeau (1990), compilations internes.

La production totale de pailles ou de grains est calculée en multipliant le rendement en pailles ou en grains par la surface cultivée et l'indice de récolte associé. Les résultats ainsi obtenus ont été compilés par MRC. Les formules retenues pour estimer le potentiel de production de biomasse d'origine végétale sont les suivantes :

Estimation de la biomasse d'origine végétale : paille

$$Q_p = S * R_d * \Delta p$$

Q_p = *Quantité de biomasse (paille)*

S = *Superficie en culture*

R_d = *Rendement en paille*

Δp = *Indice de récolte en paille*

Estimation de la biomasse d'origine végétale : grain

$$Q_g = S * R_d * \Delta g$$

Q_g = *Quantité de biomasse (grain)*

S = *Superficie en culture*

R_d = *Rendement en grains*

Δg = *Indice de récolte en grains*

Toutefois, la quantité de biomasse ainsi estimée inclut la portion de paille nécessaire à la couverture du sol après la récolte. Cette fraction de la biomasse doit être déduite de la quantité totale produite à l'échelle de la région. À cet effet, la quantité de biomasse d'origine végétale apte à la méthanisation est le solde obtenu après soustraction de la quantité de paille requise pour la conservation des sols. Rappelons qu'une couverture de 20 % de la surface du sol après le semi, aurait pour effet de réduire de moitié les pertes de sol par érosion (CRAAQ, 2000).

À l'état actuel des recherches, le seuil de prélèvement des résidus n'est pas exactement connu. En effet, la quantité précise de résidus de culture nécessaire à la protection des sols varie en fonction de la pratique culturale en usage, de la pente du terrain, de la texture du sol, du type de résidus, des techniques de ramassage ou de récolte et d'autres facteurs. Par exemple, lors du travail du sol, une partie des résidus est enfouie et la majeure partie des résidus restants est aplatie, ce qui les rend moins efficaces pour prévenir l'érosion.

Dans cette étude, la proportion nécessaire au respect des principes agroenvironnementaux ou à d'autres fins est analysée sous deux scénarios. Un premier scénario où la quantité de paille nécessaire à la couverture du sol est fixée à 33 % de la quantité totale brute et un deuxième scénario où la couverture du sol est assurée par 66 % des résidus végétaux (paille). De tels scénarios permettent aussi d'intégrer de facto l'indisponibilité d'une partie de la biomasse due à d'autres usages des résidus (fourrage, litière, fumier). Par exemple, la paille et les grains des céréales sont souvent utilisés comme litière et comme fourrage grossier pour l'hivernage des vaches de boucherie. Ainsi, les producteurs qui ont des vaches sont peu enclins à vendre leur paille et peuvent en fait concurrencer l'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques.

Afin de mieux estimer la quantité de grains disponibles pour le secteur énergétique, la consommation annuelle en grains des animaux a été déduite de la production totale initialement calculée pour chaque MRC. Notons que tant que l'usage ne dépasse pas l'accroissement naturel de la ressource, la biomasse reste une énergie renouvelable.

La méthode de calcul et les coefficients utilisés pour estimer la consommation en grains est tirée des publications de Statistique Canada (2003) et du groupe de travail EcoRessources (2008). Ils servent à mesurer le volume moyen de céréales et de fourrages consommés par tête de bétail et de volaille pour la région de Saint-Jean-Valleyfield.

Consommation animale en grains :

$$\mathbf{C}_a = \mathbf{N}_t * \alpha * \mathbf{B}_t$$

\mathbf{C}_a = Consommation en grains

\mathbf{N}_t = Nombre d'animaux

α = Pondération régionale

\mathbf{B}_t = Besoins alimentaires par tête

Il faut noter que les études les plus récentes obtenues sur la consommation par tête de bétail et de volaille au Québec datent de 2001. En utilisant de telles données cette étude considère au départ que la consommation en grains et fourrage par tête n'a pas

énormément changé au cours des dix dernières années dans la région de Saint-Jean-Valleyfield même si le nombre de têtes a évolué. Les données des deux dernières campagnes de recensement indiquent une variation négative du cheptel pour les cinq principaux secteurs d'élevage de la région (tableau 2).

Tableau 2: Coefficient d'estimation de la consommation en grains

| | Porc | Volailles | Moutons Agneaux | Bovins et veaux | Chevaux |
|--------------------------------|-------------|------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|
| Nombre 2006 | 258820 | 1196489 | 16236 | 116858 | 3648 |
| Nombre 2001 | 206088 | 1056020 | 12652 | 114712 | 3562 |
| Variation 2006-2001 | -20,4 | -5,7 | -23,1 | -1,8 | -2,4 |
| Pondération régionale 2006 (%) | 17,6 | 13,6 | 52,3 | 43,8 | 58,6 |
| Pondération régionale 2001 (%) | 14,3 | 13,7 | 49,6 | 43,1 | 63,8 |
| Avoine (t/tête) | 0,002 | 0,0000 | 0,007 | 0,046 | 0,376 |
| Blé (t/tête) | 0,028 | 0,0004 | 0,002 | 0,029 | 0,000 |
| Céréale mélangées (t/tête) | 0,000 | 0,0000 | 0,001 | 0,064 | 0,161 |
| Maïs grain (t/tête) | 0,200 | 0,0020 | 0,013 | 1,356 | 0,161 |
| Orge (t/tête) | 0,019 | 0,0000 | 0,019 | 0,319 | 0,268 |
| Soya (t/tête) | 0,048 | 0,0006 | 0,004 | 0,081 | 0,064 |
| Pâturage (t/tête) | | | 0,050 | 1,224 | 0,203 |
| Foin sec (t/tête) | | | 0,231 | 2,288 | 2,592 |

Sources : Statistique Canada (2006), Eco-ressources(2008)

Pâturage – fourrages non récoltés consommés par les animaux en pâturage, convertis en matière sèche à 100 %.

Foin sec – tous les fourrages de graminées récoltés en tant que foin sec et convertis en matière sèche à 100 %.

Estimation de la biomasse d'origine animale

Les secteurs d'élevage retenus pour estimer la biomasse d'origine animale sont les secteurs laitiers, bovins et veaux, chevaux et poneys, moutons et agneaux, porcins et volailles qui sont les plus représentatifs dans la région en termes de nombre de fermes et d'unités animales. D'autres secteurs d'élevage comme les bisons, les chevreuils et les lapins, n'ont pas été inclus dans l'analyse car leur contribution d'ensemble à la production totale de fumier semble relativement négligeable.

Les données d'inventaire du cheptel, issues du recensement agricole 2006 effectué par Statistique Canada, ont été colligées pour chaque MRC du territoire de la fédération. Pour chaque type d'élevage et pour chaque catégorie d'animaux, les données obtenues ont été converties en tonnes métriques de fumier à partir des facteurs de conversion

publiés par le Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec (CRAAQ) et Statistique Canada repris par ÉcoRessources (2008). Ainsi, la quantité de fumier produite par chaque type de bétail a été multipliée par le nombre de têtes d'animaux recensé dans chaque MRC afin d'obtenir le volume de fumier produit. Le tableau 3 présente les facteurs de conversion utilisés pour estimer la quantité de fumier produite par tête de bétail.

Tableau 3 : Facteurs de conversion et taux de rotation par catégorie d'animaux

| Secteur | Catégorie | Facteur de conversion (kg/tête/durée d'élevage) | Taux de rotation |
|-----------------|-------------------------------------|---|------------------|
| Laitier | Vaches laitières | 13600 | 1 |
| | Taureaux > 1 an | 5464 | 1 |
| | Génisses et taures | 6040(3600+8480)/2 | 1 |
| Bovin | Veaux de lait | 1550 | 2,6 |
| | Veaux de grain | 1778 | 1,8 |
| | Bouvillons | 4770 | 1,2 |
| | Vaches de boucherie (incluant son | 11400 | 1 |
| | Génisses et taures | 6825(5475+8175)/2 | 1 |
| | Taureaux > 1 an | 10688 | 1 |
| Porcin | Truies et cochettes de reproduction | 1360 | |
| | Porcelets sevrés et non sevrés | 610 | |
| | Porcs d'engraissement | 1290 | |
| | Verrats | 1360 | |
| Ovin | Brebis | 1254 | 1 |
| | Bélier s | 1103 | 1 |
| | Agneaux de lait | 995 | 1 |
| | Agneaux légers | 27 | 1 |
| | Agneaux lourds | 98 | 1 |
| Volaille | Poulets à griller | 1,73 (1,69 + 1,37) /2 | 6,5 |
| | Poulets à rôtir | 1,93 | 5 |

Source : CRAAQ (2003), Statistique Canada (2006), Eco-ressources (2008)

Les quantités de fumiers produites ont été estimées à partir de la formule suivante:

| |
|--|
| Quantité de fumier |
| = |
| <i>Nombre de têtes en inventaire * facteur de conversion * taux de rotation annuelle</i> |

Le tableau 4 présente la quantité moyenne annuelle de fumier produite par type de bétail.

Tableau 4 : Quantité de fumier produite par bétail

| Variable | Poids moyen des animaux (kg) | Fumier (kg/année) |
|---|-------------------------------------|--------------------------|
| Vaches de boucherie | 635 | 13 444 |
| Chevaux et poneys | 450 | 8 377 |
| Moutons et agneaux | 45 | 662 |
| Chèvres | 64 | 958 |
| Taureaux | 726 | 15 364 |
| Veaux | 204 | 4 321 |
| Génisses | 421 | 8 904 |
| Vaches laitières | 612 | 22 706 |
| Verrats | 159 | 1 358 |
| Porcs d'engraissement et de finition | 61 | 1 287 |
| Porcelets sevrés et non sevrés | 11 | 613 |
| Truies et jeunes truies | 125 | 1 358 |
| Bouvillons | 454 | 9 603 |
| Poulets à griller, à rôtir et poulets de Cornouailles | 0,9 | 28 |
| Poules pondeuses | 1,8 | 42 |
| Poulettes | 0,9 | 28 |
| Dindons et dindes | 6,8 | 117 |

Source : CRAAQ (2003), Statistique Canada (2006), EcoRessources(2008)

Toutefois, une telle estimation du fumier produit laisse présumer que le bétail du même type produit du fumier de quantités et de caractéristiques semblables (p. ex., production d'azote et de phosphore). On suppose également que les pratiques d'alimentation sont les mêmes d'une ferme à une autre et d'une MRC à une autre.

Il faut noter que la méthodologie utilisée dans cette étude permet de calculer une valeur théorique, et non réelle du niveau de production de biomasse par les exploitations agricoles de la région. En effet, le calcul de la biomasse est basé sur les données statiques de recensement du bétail et des activités agricoles de la région. Ces données ne tiennent pas compte des divers flux pouvant affecter le niveau réel de production de

biomasse, en l'occurrence les variations saisonnières et les flux commerciaux (ÉcoResources, 2008).

CHAPITRE I : PORTRAIT AGRICOLE DE SAINT-JEAN-VALLEYFIELD

Cette section présente le portrait général de la région agricole de Saint-Jean-Valleyfield. Dans un premier temps, une présentation sommaire de la situation géographique du territoire de la fédération est réalisée. Par la suite, une brève description des caractéristiques socio-économiques relatives aux activités agricoles est proposée.

1.1 Situation géographique

Le territoire de la Fédération régionale de Saint-Jean-Valleyfield qui s'étend entre l'Ontario, le fleuve St-Laurent, l'état de New-York est souvent appelé Montérégie Ouest. Cette immense plaine a d'abord été façonnée par les glaciers et l'action de la mer de Champlain qui recouvrait la région il y a 10 000 ans. Le déplacement progressif des glaciers vers le nord et le retrait de la mer qui s'en est suivi a entraîné des dépôts glacières sur toute l'étendue du territoire. Outre l'argile qui domine, on y retrouve des terrasses de sables et de graviers, ainsi que des tourbières à l'origine des « terres noires » si caractéristiques de la région. Saint-Jean-Valleyfield s'avère être la région la plus chaude du Québec, en plus de profiter d'un haut taux d'humidité particulièrement propice à la croissance de la végétation. Son climat favorable à la croissance des végétaux et ses terres connues pour être les plus fertiles du Québec font de la Montérégie « le jardin du Québec ». En effet, l'agriculture est une activité enracinée dans les traditions de la Montérégie.

De plus, sa proximité avec la région Montréalaise, la frontière Canado-américaine et Ontarienne fait de cette région une place propice pour le marché et devient ainsi un pôle important pour les investisseurs. Cette région renferme près de 1/3 des exploitations agricoles sur l'ensemble du Québec.

Pour les besoins de cette étude, le découpage géographique retenu s'inspire du découpage administratif par Municipalité Régionale de Comté (MRC). Ce choix se justifie d'abord

par les données utilisées par Statistique Canada et qui sont disponibles à l'échelle de la municipalité, mais également par un souci de s'inscrire dans la perspective d'une nouvelle reconfiguration de la carte de l'UPA Saint-Jean-Valleyfield conformément aux recommandations de « l'UPA du futur ».

Par conséquent, les unités régionales d'analyse seront les principales MRC qui touchent le territoire de la fédération régionale qui va de la rivière Richelieu à Vaudreuil-Soulanges. Les MRC de la Vallée-du-Richelieu et celle du Haut-Richelieu ne sont pas entièrement comprises dans ce territoire, mais sont tout de même considérées à part entière par souci d'uniformité. Ce territoire regroupe donc au total neuf MRC qui sont Beauharnois-Salaberry, Lajemmerais (Marguerite-D'Youville), Vallée-du-Richelieu, Haut-Richelieu, Haut-Saint-Laurent, Les Jardins-de-Napierville, Longueuil, Roussillon et Vaudreuil-Soulanges (figure 1).

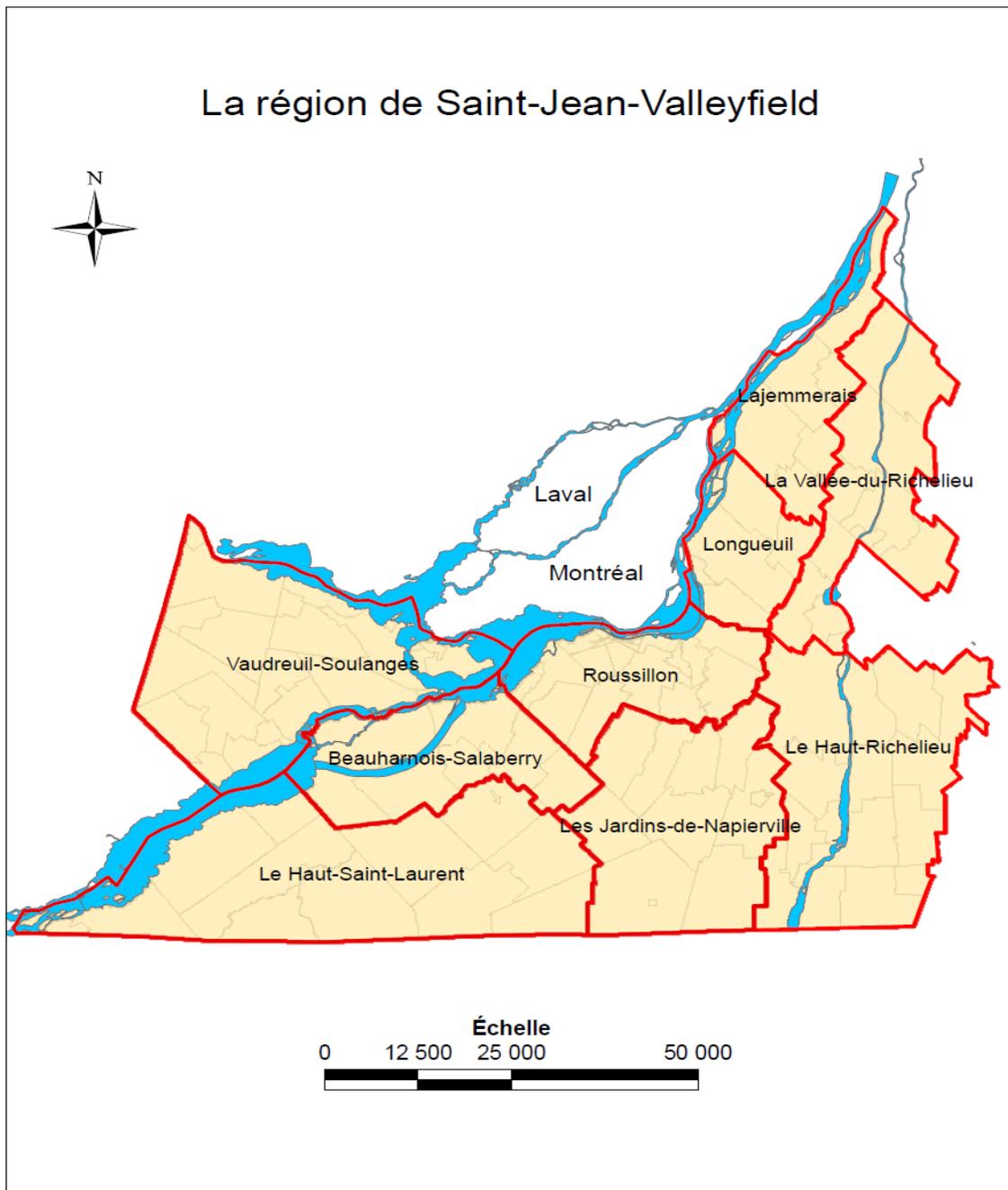


Figure 1 : Les MRC de la région de Saint-Jean-Valleyfield

1.2 Profil agricole de la région de Saint-Jean-Valleyfield

Cette section présente le portrait général des exploitations agricoles suivant leurs secteurs de production et suivant leurs répartitions dans les neuf MRC de la région. La Fédération de Saint-Jean-Valleyfield regroupe plus de la moitié des fermes de la Montérégie avec plus de 3530 fermes (tableau 5), ce qui représente près de 11,5 % de la totalité des fermes de la province du Québec, en 2006, d'où son importance sur l'échiquier agricole de la province.

Le tableau 5 montre que les MRC du Haut-Saint-Laurent, du Haut-Richelieu et des Jardins-de-Napierville regroupent plus de la moitié des exploitations de la Fédération avec près 1873 fermes agricoles. La MRC de Longueuil qui renferme que 57 exploitations agricoles est la localité la moins dotée en infrastructures agricoles (tableau 5).

Tableau 5 : Nombre total de fermes en 2006

| Géographie | Nombre total de fermes |
|-----------------------------|------------------------|
| Le Haut-Richelieu | 618 |
| La Vallée-du-Richelieu | 402 |
| Longueuil | 57 |
| Lajemmerais | 184 |
| Roussillon | 197 |
| Les Jardins-de-Napierville | 607 |
| Le Haut-Saint-Laurent | 648 |
| Beauharnois-Salaberry | 325 |
| Vaudreuil-Soulanges | 492 |
| Fédération régionale | 3530 |
| Montérégie | 7 118 |
| Québec | 30 675 |

Source : Statistique Canada, 2006

En ce qui concerne les superficies agricoles, la fédération régionale totalise 371 967 ha de terres agricoles dont 80 % sont cultivées et moins de 1 % en jachère (tableau 6, figure 2). Les MRC du Haut-Richelieu, du Haut-Saint-Laurent et des Jardins-de-Napierville regroupent plus de la moitié des superficies agricoles de la région. Toutefois, cette superficie agricole est aujourd’hui menacée par la pression constante de l’expansion urbaine puisque près de 20 % de la population du Québec réside en Montérégie (Statistique Canada, 2006).

Tableau 6 : Superficie agricole et superficie cultivée en 2006

| Géographie | Superficie agricole totale | | Superficie cultivée | | Terres en jachère | |
|-----------------------------|----------------------------|----------------|---------------------|-------------|-------------------|------------|
| | total des fermes | hectares | total des fermes | hectares % | total des fermes | hectares % |
| Le Haut-Richelieu | 618 | 73 989 | 553 | 86,4 | 10 | 0,1 |
| La Vallée-du-Richelieu | 402 | 39 160 | 345 | 85,3 | 8 | 0,2 |
| Longueuil | 57 | 5 089 | 40 | 74,4 | - | - |
| Lajemmerais | 184 | 19 133 | 167 | 89,0 | 4 | 0,2 |
| Roussillon | 197 | 17 056 | 174 | 91,2 | 5 | 0,4 |
| Les Jardins-de-Napierville | 607 | 58 142 | 559 | 76,4 | 29 | 0,5 |
| Le Haut-Saint-Laurent | 648 | 72 364 | 594 | 63,7 | 8 | 0,1 |
| Beauharnois-Salaberry | 325 | 35 224 | 301 | 87,7 | 2 | - |
| Vaudreuil-Soulanges | 492 | 51 810 | 416 | 84,3 | 9 | 0,2 |
| Fédération régionale | 3530 | 371967 | 3149 | 81,5 | 75 | 0,2 |
| Montérégie | 7 118 | 707 101 | 6096 | 76,4 | 135 | 0,2 |

Source : Statistique Canada, 2006

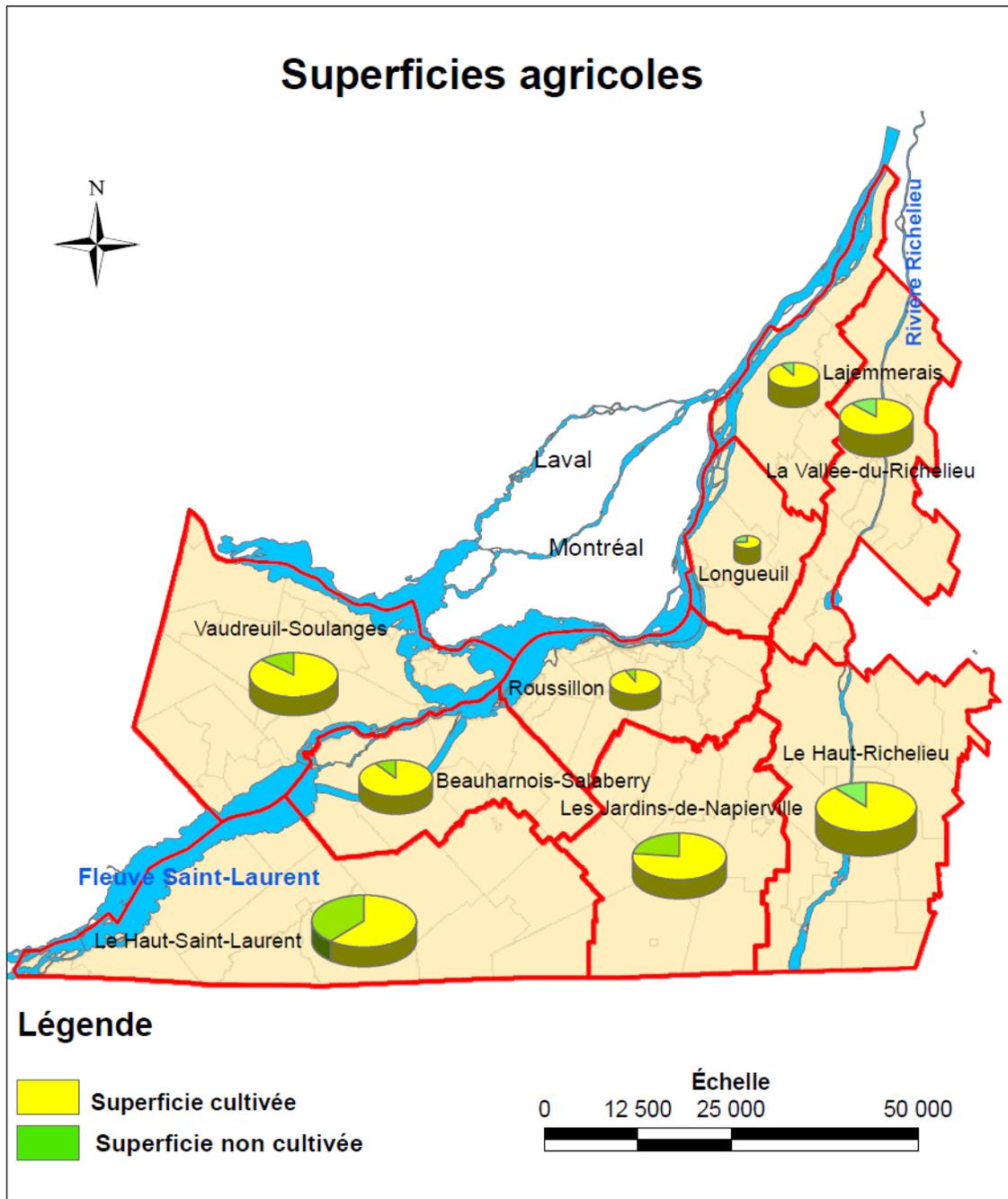


Figure 2 : Superficie agricole et superficie cultivée en 2006

1.2.3 Répartition des fermes selon la valeur marchande de la propriété

Pour ce qui est de la valeur marchande des entreprises agricole, le tableau 7 présente les valeurs marchandes des propriétés agricoles de la fédération régionale dans les 9 MRC. La région de Saint-Jean-Valleyfield représente environ 17 % de la richesse agricole de la province avec une valeur de 4,5 milliards de dollars en actif (tableau 7).

Les statistiques économiques révèlent la distribution spatiale de la richesse agricole dans la région de Saint-Jean-Valleyfield. À l'instar de la répartition spatiale des fermes sur le territoire de la fédération, les MRC du Haut-Richelieu, des Jardins-de-Napierville et du Haut-Saint-Laurent détiennent la majorité de la richesse agricole de la fédération avec un total 2,5 milliards de dollars. De telles informations pourraient être déterminantes dans le choix des sites potentiels de mise en place d'une structure de méthanisation des effluents agricoles.

Tableau 7: Répartition des fermes selon la valeur marchande

| Géographie | Total du capital agricole (dollars canadien) | | | |
|-----------------------------|--|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| | 2006 | | 2001 | |
| | fermes déclarantes | valeur marchande en dollars courants | fermes déclarantes | valeur marchande en dollars courants |
| Le Haut-Richelieu | 618 | 985 453 554 | 672 | 898 338 138 |
| La Vallée-du-Richelieu | 402 | 476 907 867 | 453 | 414 005 890 |
| Longueuil | 57 | 57 190 036 | 23 | 24 323 436 |
| Lajemmerais | 184 | 210 120 673 | 205 | 190 284 583 |
| Roussillon | 197 | 228 527 099 | 217 | 235 869 083 |
| Les Jardins-de-Napierville | 607 | 777 192 452 | 685 | 627 724 706 |
| Le Haut-Saint-Laurent | 648 | 742 800 269 | 695 | 585 539 102 |
| Beauharnois-Salaberry | 325 | 443 571 860 | 348 | 417 584 208 |
| Vaudreuil-Soulanges | 492 | 632 556 633 | 536 | 514 492 059 |
| Fédération régionale | 3530 | 4554320443 | 3834 | 3908161205 |
| Montérégie | 7 118 | 8 987 730 673 | 7 551 | 7 582 624 353 |
| Québec | 30 675 | 26 538 902 059 | 32 139 | 21 466 990 522 |
| Canada | 229 373 | 248 317 591 506 | 246 923 | 196 868 929 481 |

Source : Statistique Canada, 2006

1.2.4 Répartition des fermes selon le secteur de production (culture)

Au total, la fédération régionale de l'UPA Saint-Jean-Valleyfield totalise 3 530 fermes et plus de 370 000 ha de terres agricoles dont 298 791 ha cultivés. Sur l'ensemble de terres agricoles disponibles, près de 80 % sont cultivées et donc potentiellement pourvoyeuses de biomasse agricole. La superficie moyenne des exploitations agricoles est de 105 ha.

Production végétale

La fédération régionale se distingue par sa très forte proportion d'entreprises spécialisées en production de grandes cultures (65 %). En effet, les données indiquent une prédominance des entreprises spécialisées dans la production des céréales et protéagineux (blé, maïs, soya, orge, avoine, céréales mélangées) ainsi que des fourrages. Les cultures dominantes sont le maïs et le soya avec respectivement 26 % et 20 % des exploitations agricoles en production végétale. La production de foin et autre pâturage occupe la troisième place avec près de 14 % des exploitations (figure 3).

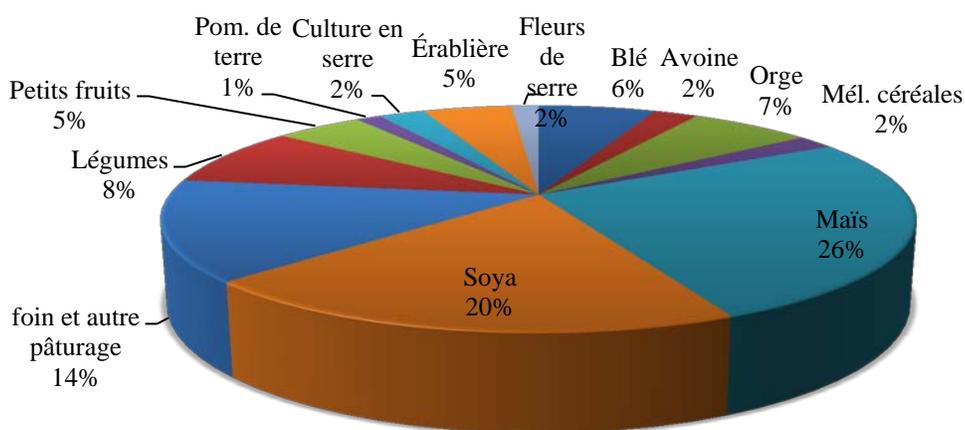


Figure 3 : Répartition des fermes selon les secteurs de production végétale

Les MRC du Haut-Saint-Laurent (19 %), du Haut-Richelieu (18 %) et des Jardins-de-Napierville (16 %) sont en tête pour la plupart des secteurs de production, sauf le blé dont la majorité des entreprises spécialisées se localisent dans la Vallée-du-Richelieu. Ces trois MRC regroupent plus de la moitié des entreprises agricoles de la région. La MRC de Longueuil qui détient moins de 1 % des entreprises agricoles est la localité la moins agricole de la fédération (figure 4).

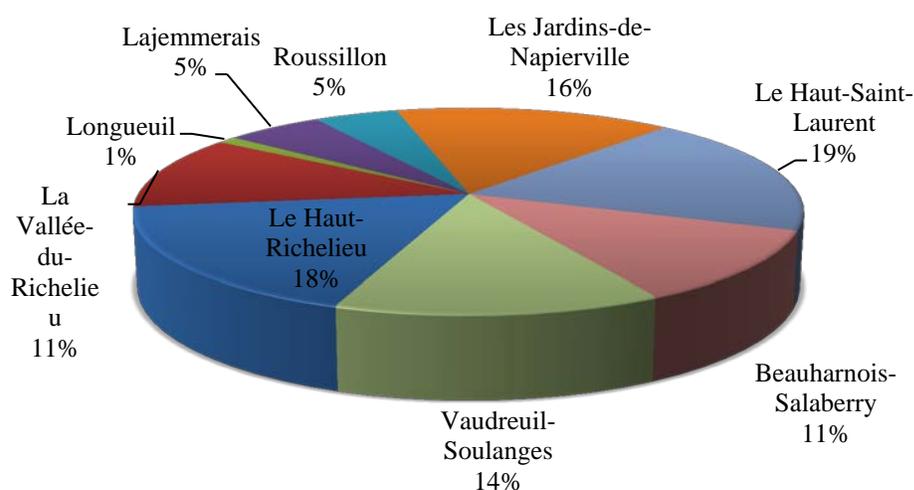


Figure 4 : Répartition géographique des fermes en production végétale

Production animale

En ce que concerne la production animale, le secteur bovin et veau vient en tête avec plus de 1188 entreprises spécialisées, soit près de la moitié (43 %) des entreprises en élevage. Le secteur laitier vient en seconde position (25 %) suivi de la production de chevaux et poneys (15 %). La volaille, la production porcine et ovine sont relativement moins présentes sur le territoire de la fédération (figure 5).

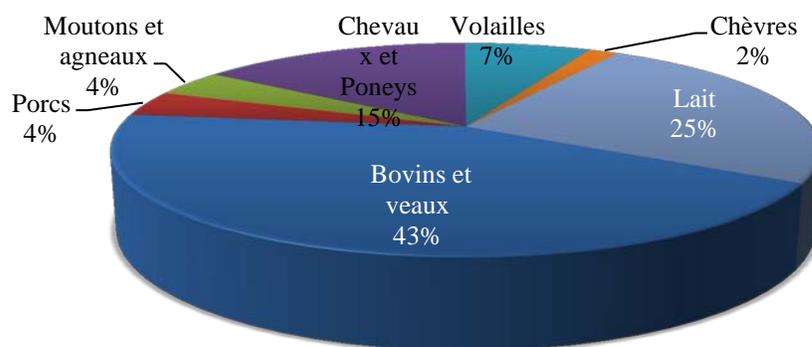


Figure 5 : Répartition des fermes selon les secteurs de production animale

La majorité des entreprises agricoles spécialisées dans la production animale sont localisées dans les MRC du Haut-Saint-Laurent et du Haut-Richelieu qui regroupent respectivement 26 % et 18 % des fermes à vocation animale. La MRC de Vaudreuil-Soulanges (13 %) occupe la troisième place devant les Jardins-de-Napierville (11 %). Longueuil, Lajemmerais et Roussillon ne totalisent pas plus de 10 % des fermes en production animale de la région (figure 6).

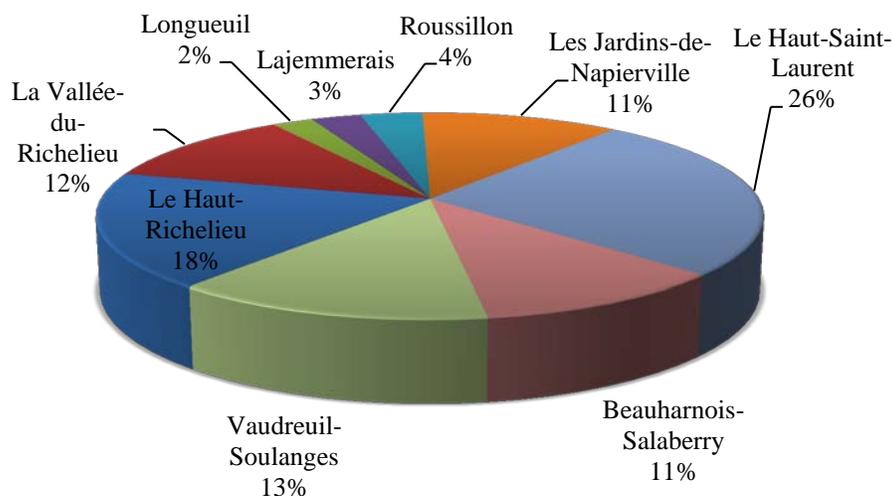


Figure 6 : Répartition géographique des fermes en production animale

La comparaison entre le nombre de fermes spécialisées en production végétale vs celles à vocation animale, permet de dresser le profil de production agricole dans la région de

Saint-Jean-Valleyfield. Plus de deux fermes sur trois sont spécialisées en production végétale avec une nette prédominance du maïs et du soya. Cette diversification des productions végétales et animales peut s'expliquer en partie par la disponibilité des céréales en quantité et en qualité, ainsi que la proximité des marchés. Dans les deux types de production, la MRC du Haut-Saint-Laurent domine avec 1 323 fermes en production végétale et 709 en production animale (figures 4 et 6). Quoi qu'il en soit, la région de Saint-Jean-Valleyfield est caractérisée par une agriculture dynamique, diversifiée, qui met en évidence le niveau de productivité des entreprises agricoles.

Par ailleurs, le profil de la répartition géographique des entreprises agricoles selon les secteurs de production dresse le portrait des MRC potentiellement pourvoyeuses de matières résiduelles pouvant être valorisées dans une unité de méthanisation. De plus, la taille des exploitations ainsi que le nombre de têtes d'animaux auront un impact certain sur le rapport production/consommation dans la région et par conséquent sur la quantité de biomasse disponible.

Utilisation des matières résiduelles

Selon les données affichées dans le tableau 8 du présent document, la valorisation agronomique actuelle des matières résiduelles est soit l'enfouissement ou l'alimentation du bétail pour la paille, soit l'épandage au champ ou le compostage pour les déjections animales.

Les statistiques suggèrent que la majorité des entreprises agricoles, soit 57 %, enfouissent les résidus végétaux dans la terre. En termes de superficie, cela représente plus de la moitié des terres cultivées. Par contre, près d'une ferme sur quatre procède au maintien des résidus végétaux au sol après la récolte (tableau 8, figure 7). Ces techniques culturales utilisent la biomasse agricole disponible pour enrichir et pour protéger le sol contre l'assèchement et l'érosion. Par conséquent, tout projet de méthanisation de cette même biomasse doit prendre en compte l'utilisation actuelle des résidus agricoles. Cela

nécessite une quantification exacte des résidus disponibles après déduction du volume nécessaire à l'enrichissement et à la protection du sol.

Tableau 8 : Superficie agricole et terres en culture

| Géographie | Superficie agricole totale | | Terres en culture | | Sans travail du sol | | Résidus maintenus | | Résidus enfouis | | Terres en jachère | |
|-----------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|----------------|---------------------|---------------|-------------------|----------------|------------------|----------------|-------------------|--------------|
| | Nombre total des fermes | ha | total des fermes | ha | total des fermes | ha | total des fermes | ha | total des fermes | ha | total des fermes | ha |
| Haut-Richelieu | 618 | 73 989 | 553 | 63 962 | 98 | 5 117 | 210 | 14 921 | 397 | 36 217 | 10 | 47 |
| Vallée-du-Richelieu | 402 | 39 160 | 345 | 33 387 | 78 | 4 400 | 125 | 10 472 | 223 | 14 802 | 8 | 83 |
| Longueuil | 57 | 5 089 | 40 | 3 786 | - | - | - | - | 20 | 1 419 | - | - |
| Lajemmerais | 184 | 19 133 | 167 | 17 024 | 23 | 2 343 | 71 | 4 632 | 109 | 8 407 | 4 | 33 |
| Roussillon | 197 | 17 056 | 174 | 15 559 | 42 | 3 681 | 60 | 2 709 | 118 | 7 688 | 5 | 64 |
| Les Jardins-de-Napierville | 607 | 58 142 | 559 | 44 445 | 89 | 6 293 | 174 | 10 098 | 361 | 22 970 | 29 | 203 |
| Haut-Saint-Laurent | 648 | 72 364 | 594 | 46 071 | 114 | 4 610 | 166 | 7 519 | 360 | 22 870 | 8 | 51 |
| Beauharnois-Salaberry | 325 | 35 224 | 301 | 30 902 | 72 | 3 853 | 134 | 7 587 | 229 | 16 124 | 2 | x |
| Vaudreuil-Soulanges | 492 | 51 810 | 416 | 43 655 | 72 | 4 381 | 151 | 10 048 | 279 | 21 982 | 9 | 79 |
| Fédération régionale | 3530 | 371967 | 3149 | 298791 | 588 | 34678 | 1091 | 57938 | 2096 | 152479 | 75 | 560 |
| Montérégie | 7 118 | 707 101 | 6 096 | 540 118 | 1 040 | 52 366 | 2 082 | 130 151 | 3 842 | 267 583 | 135 | 1 160 |

Source : Statistique Canada, 2006

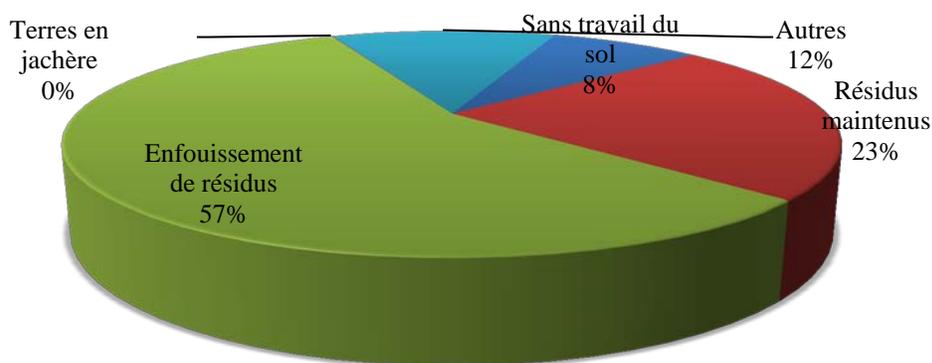


Figure 7 : Utilisation des résidus végétaux.

Sur les 1 781 fermes qui ont déclaré avoir produit ou utilisé du fumier, 1 539 affirment avoir appliqué du fumier sur leurs exploitations, soit 71 % des fermes. Ces chiffres indiquent que la plupart du fumier produit dans la région de Saint-Jean-Valleyfield est réutilisé dans les fermes. Les fermes ayant déclaré avoir vendu ou donné ce fumier ne dépassent pas 12 %. Par contre, 11 % des fermes recensées déclarent avoir acheté ou reçu du fumier en 2006. Enfin, 6 % de ces fermes ont eu recours à une transformation du fumier notamment par le compostage, l'entreposage ou encore le séchage (figure 8).

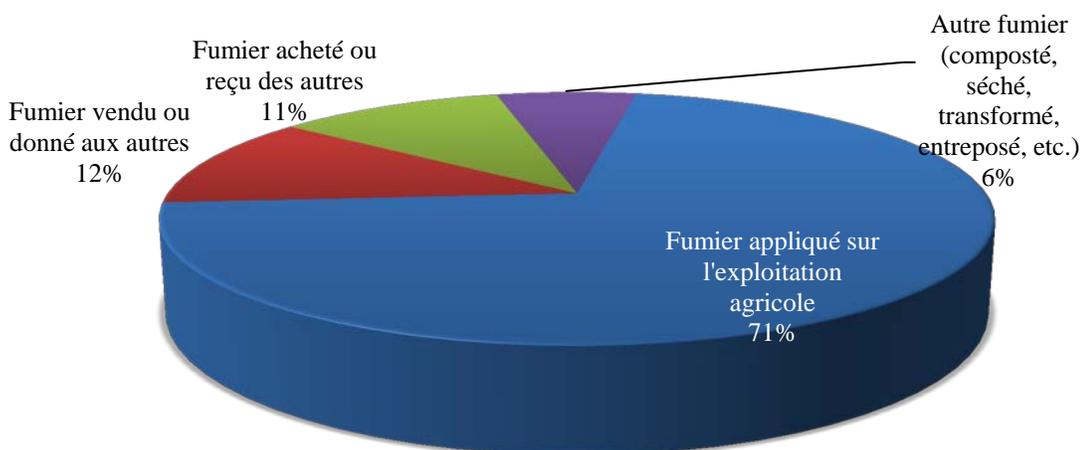


Figure 8 : Utilisation du fumier

Au regard à la figure 8, il appert que la majeure partie du fumier produit dans la région de Saint-Jean-Valleyfield est utilisée pour la fertilisation des terres. Par conséquent, l'introduction de nouvelles formes d'utilisation de ce fumier notamment la méthanisation pourrait entraîner, à priori, un déficit dans la quantité disponible pour la fertilisation ainsi des frais supplémentaires pour compenser les coûts de fertilisation en engrais chimiques.

Toutefois, le lisier méthanisé est réutilisable pour la fertilisation des terres agricoles. En effet, avant d'épandre le fumier aux champs, celui-ci pourrait d'abord être méthanisé afin de produire du biogaz, mais aussi d'être purifié tout en maintenant leur valeur nutritive. D'ailleurs, selon les résultats des travaux de l'ADEME (2010), le digestat constitue une matière fertilisante au même titre que le fumier brut et peut être appliqué aux champs pour des besoins de fertilisation. Donc, la procédure de méthanisation n'entame en rien le potentiel fertilisant des résidus de production animale. Il s'agit de mobiliser les matières résiduelles sans pour autant compromettre le stock et la valeur nutritive nécessaires à la fertilisation et à la couverture des sols. D'ailleurs les lignes directrices sur la biométhanisation du MDDEP donnent des orientations pour le biodigestat produit à la ferme (MDDEP, 2011)

CHAPITRE II : ESTIMATION DE LA BIOMASSE

Cette section présente les quantités de résidus produites à partir des principales activités agricoles de la région de Saint-Jean-Valleyfield. Dans un premier temps, une estimation des résidus de production végétale est présentée. Par la suite, une évaluation des effluents d'élevage issus des principaux secteurs de production animale est proposée. La quantification de ces deux types de matières organiques méthanisables permet de définir les gisements potentiels de production de biogaz sur le territoire de la Fédération régionale de Saint-Jean-Valleyfield.

2.1 Biomasse d'origine végétale

La quantité totale de paille produite par les principales cultures considérées, dans la présente étude, s'élève à près de 1 million de tonnes (990 834 t) dont 60 % proviennent de la production de maïs-grain. Le soya, la deuxième plus importante production en termes de superficie, contribue à hauteur de 23 % de la quantité de paille produite (figure 9). Le secteur foin et autre pâturage arrive en troisième position (11 %) même s'il est présent dans toutes les MRC.

D'un point de vue géographique, la MRC du Haut-Richelieu fournit près du quart de la quantité totale de paille (23 %) alors que les MRC du Haut-Saint-Laurent et de Vaudreuil-Soulanges contribuent à hauteur de 16 et 15 % respectivement. La région la moins pourvue en paille est celle de Longueuil qui produit environ 1 % de la quantité totale de résidus d'origine végétale (figure 9). Les quantités ainsi présentées pour chaque MRC et chaque type de production permettent de mieux localiser les gisements les plus contributifs à la quantité totale de biomasses méthanisable.

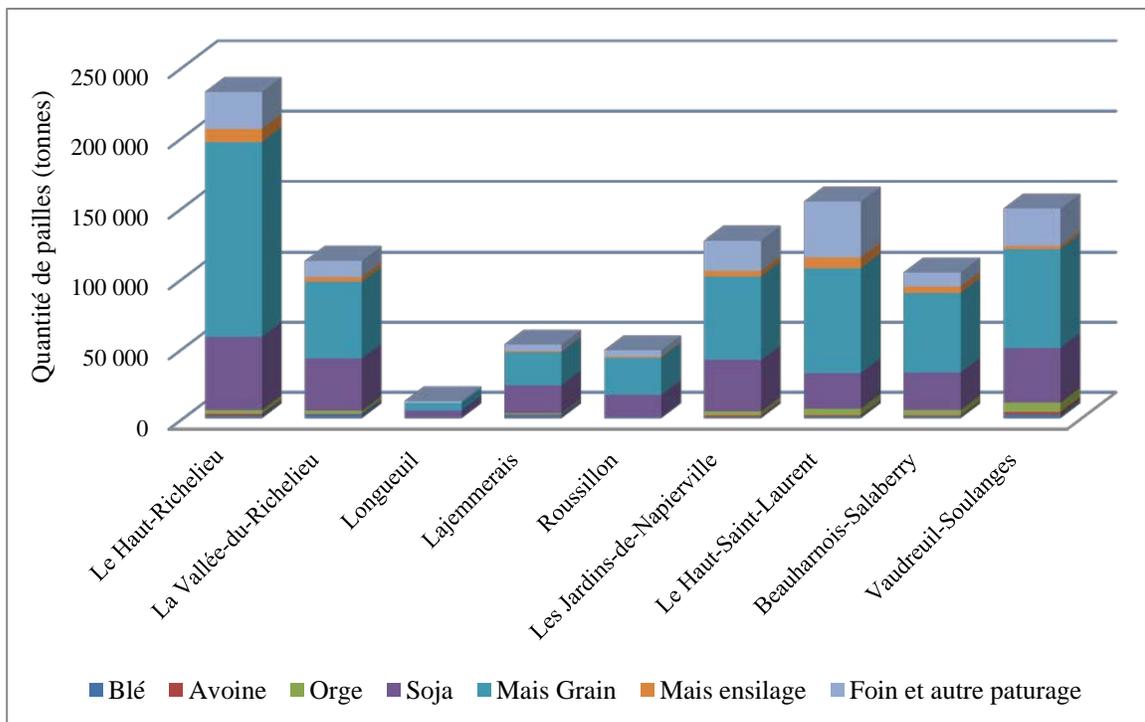


Figure 9 : Quantité de paille en tonnes

Selon les résultats répertoriés dans le tableau 9, il appert que la quantité de paille disponible à des fins de méthanisation, dans la région de Saint-Jean-Valleyfield, représente environ 50 % du potentiel existant pour toute la Montérégie. C'est dire donc qu'une part importante de paille produite dans le sud de la province du Québec revient à la Fédération de Saint-Jean-Valleyfield.

La quantité de paille ainsi estimée ne prend pas en compte la fraction nécessaire à la protection du sol et aux pratiques agroenvironnementales de fertilisation. Dans cette étude, cette proportion est analysée sous deux scénarios (tableau 9). Un premier scénario où la quantité de paille nécessaire à la couverture du sol est fixée à 33 % de la quantité totale brute et un deuxième scénario où la couverture du sol est assurée par 66 % des résidus de culture (paille).

Tableau 9 : Quantité de paille mobilisable selon deux scénarios

| | Quantité totale | Scénario I (66 %) | | Scénario II (33 %) | |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| | | Quantité déduite | Quantité mobilisable | Quantité déduite | Quantité mobilisable |
| Le Haut-Richelieu | 232 038,49 | 76 573 | 155 466 | 155 466 | 76 573 |
| La Vallée-du-Richelieu | 112 171,91 | 37 017 | 75 155 | 75 155 | 37 017 |
| Longueuil | 12 237,92 | 4039 | 8199 | 8199 | 4039 |
| Lajemmerais | 52 644,02 | 17 373 | 35 271 | 35 271 | 17 373 |
| Roussillon | 48 477,05 | 15 997 | 32 480 | 32 480 | 15 997 |
| Les Jardins-de-Napierville | 126 389,09 | 41 708 | 84 681 | 84 681 | 41 708 |
| Le Haut-Saint-Laurent | 153 957,84 | 50 806 | 103 152 | 103 152 | 50 806 |
| Beauharnois-Salaberry | 103 949,03 | 34 303 | 69 646 | 69 646 | 34 303 |
| Vaudreuil-Soulanges | 148 966,79 | 49 159 | 99 808 | 99 808 | 49 159 |
| Fédération régionale | 990 834,14 | 326 975 | 663 859 | 663 859 | 326 975 |
| Montérégie | 1 875 437,98 | 618 895 | 1 256 543 | 1 256 543 | 618 895 |

Source : Statistique Canada, 2006

2.1.1 Scénario I : (66 % mobilisable)

Si la quantité de paille nécessaire à la couverture du sol est fixée à 33 % de la quantité totale de paille produite dans la région, la quantité de paille mobilisable est estimée à un peu moins de 700 000 t, soit plus exactement 663 859 t.

Le plus important gisement de paille se trouve dans le Haut-Richelieu et dans le Haut-Saint-Laurent. Ces deux MRC totalisent plus de 258 000 t de paille à l'année soit près de 40 % du potentiel de la région. La MRC la moins pourvue en paille est celle de Longueuil avec moins de 10 000 t de paille mobilisable.

2.1.2 Scénario II (33 % mobilisable)

Dans le cas où la quantité de résidus nécessaire à d'autres fins (protection du sol) est fixée à 66 % de la quantité brute récoltable, la proportion mobilisable serait de 326 975 t de paille. Pour un tel scénario, Haut-Richelieu et Haut-Saint-Laurent qui constituent les principaux gisements de paille de la région produisent un peu moins de 128 000 t, soit

une baisse de près de 50 % par rapport au scénario I. La MRC de Longueuil produit moins de 5 000 t de résidus d'origine végétale.

Cependant, dépendamment de la nature des sols (texture, humidité, teneur en matière organique, pente...) et de la technique culturale (semis direct, travail réduit du sol, labour), la quantité de résidus nécessaire à la protection des sols et aux pratiques agroenvironnementales peut varier de façon significative. Une estimation exacte nécessite non seulement des études plus poussées sur la pédologie des sols en culture, les pratiques culturales et les rendements en paille spécifiques mais aussi des analyses en laboratoire selon un maillage d'échantillons à une échelle très fine. Le logiciel Bilan Humique-version 1.02¹¹ développé par le MAPAQ, permet d'ailleurs de mieux estimer la quantité de résidus nécessaire au sol.

Même si la quantité de paille disponible reste théorique en raison des incertitudes liées aux facteurs susmentionnés, elle donne une estimation du potentiel mobilisable. Quoiqu'il en soit, les proportions de prélèvement des deux scénarios incluent la marge d'erreur annihilant ces incertitudes.

2.1.3 Production en grains

La production brute en grains de l'ensemble des cultures considérées dans cette étude est estimée à plus de 1.6 million de tonnes (figure 10). À l'instar de la production de paille, la production en grains est largement dominée par le maïs-grain suivi du maïs-ensilage destiné à l'alimentation.

Au regard de la figure ci-dessous, il appert que Haut-Richelieu occupe la tête du classement des régions les plus productives avec plus de 400 000 t de grains en 2006 suivi du Haut-Saint-Laurent avec un peu moins de 250 000 t. Les MRC de Vaudreuil-Soulanges, des Jardins-de-Napierville, de Beauharnois-Salaberry et de la Vallée-du-Richelieu produisent entre 200 000 et 250 000 t de grains (figure 10).

¹¹ logiciel Bilan Humique-version 1.0

<http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/Agroenvironnement/bonnespratiques/fertilisants/Pages/Bilanhumique.aspx>

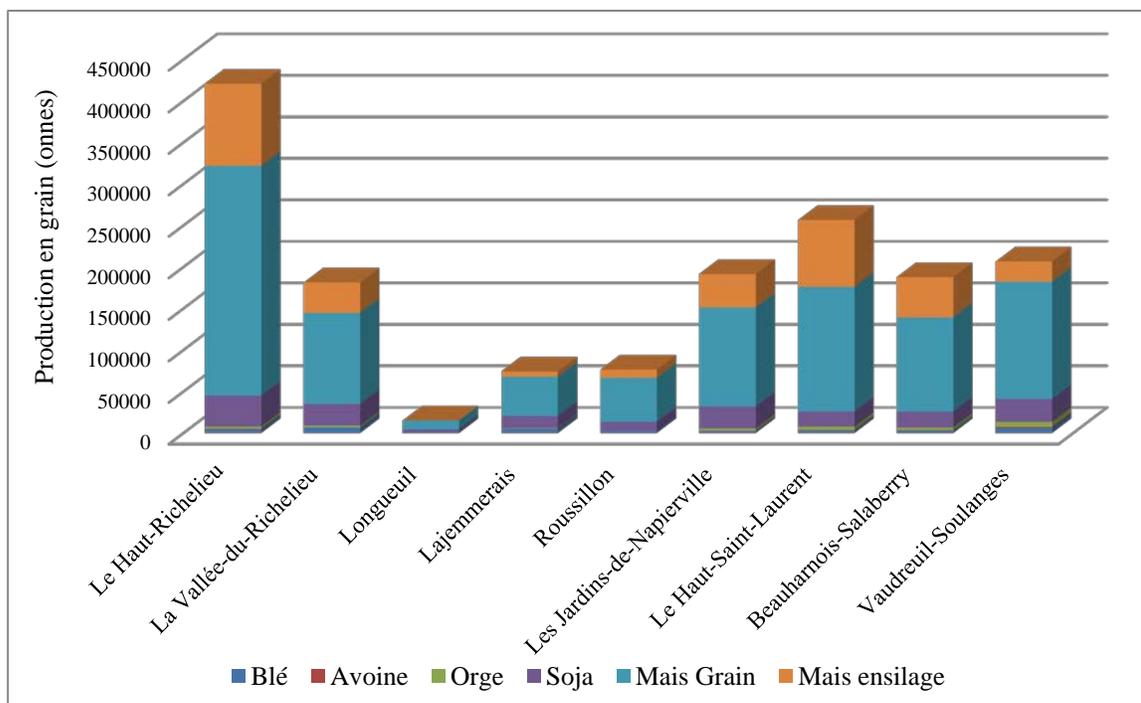


Figure 10 : Quantité de grains produite par MRC

Toutefois, la production de grains ainsi estimée inclut les besoins alimentaires du bétail qui doivent être déduits de la production totale afin d’obtenir une estimation du volume de grains méthanisables. Les besoins alimentaires du bétail sont calculés à partir de différents coefficients de consommation des animaux présentés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Coefficient de consommation en grains du bétail

| Bétail | Nombre de têtes (milliers) | Alimentation (t/tête) | | | | | | | |
|-------------------|----------------------------|-----------------------|--------|-------|------------|------------|--------|--------------------|--------------------|
| | | Blé | Avoine | Orge | Soya moulu | Mais grain | Foin | Céréales mélangées | Paille de céréales |
| Laitier et bovin | 154 542 | 0,029 | 0,046 | 0,319 | 0,081 | 1,356 | 2,336 | 0,064 | 0 |
| Porcin | 258 820 | 0,028 | 0,002 | 0,019 | 0,048 | 0,2 | 0 | 0 | 0 |
| Ovin | 16 236 | 0,002 | 0,007 | 0,019 | 0,004 | 0,013 | 0,5475 | 0,001 | 0 |
| Volaille | 1 196 489 | 0,0004 | 0 | 0 | 0,0006 | 0,002 | 0 | 0 | 0 |
| Chevaux et Poneys | 3 648 | 0,3 | 0,2 | 0,22 | 0,11 | 0,24 | 1,277 | 0 | 1,095 |

Source : Statistique Canada (2003), ÉcoRessource (2008), compilations internes

Le tableau 11 dresse le bilan entre la production et la consommation en grains du cheptel présent sur le territoire de la fédération pour les principales cultures de la région. Ainsi, nonobstant la consommation du bétail, la production de blé, soya et maïs-grain affiche un solde positif. Pour ces cultures, la consommation en grains du bétail local ne dépasse guère la quantité de grain produite dans la région. Ainsi, le surplus non consommé pourrait être mobilisé à des fins énergétiques. Par contre, le bilan en grains de la production d'avoine et d'orge affiche un solde négatif de 3590 et 34 005 t respectivement. Donc, la quantité de grain produite à partir de ces cultures ne doit pas être comptabilisée dans l'estimation de la biomasse méthanisable.

Tableau 11 : Bilan en grains: Production-consommation (T/année)

| | Blé | Avoine | Orge | Soja | Maïs-grain |
|----------------------------|-----------|----------|-----------|------------|--------------|
| Production totale | 32 845,56 | 4882,44 | 21 318,39 | 184 222,80 | 1 021 012,54 |
| Consommation totale | 13 334,15 | 8472,56 | 55 323,87 | 26 123,56 | 264 792,49 |
| Solde en grains | 19 511,41 | -3590,12 | 34 005,48 | 158 099,24 | 756 220,05 |

Même si l'autosuffisance en grains n'est pas atteinte pour certaines cultures telles que l'avoine, l'orge et le foin, le solde total en grains calculé à l'échelle du territoire de la fédération est positif. L'excédent en grains, après soustraction de la consommation du bétail, est évalué à plus d'un million de tonnes. Ce surplus correspond à la quantité mobilisable à d'autres fins sans pour autant engendrer un déséquilibre alimentaire pour l'élevage local. D'ailleurs, cette estimation pourrait être revue à la hausse si l'on considère que les besoins fourragers du bétail en question peuvent être comblés ou complétés à partir d'autres sources telle les sous-produits végétaux, la paille, les minéraux, les gras, etc.

Ces résultats suggèrent que le problème d'usages concurrents - entre les besoins alimentaires et la valorisation de la biomasse à des fins énergétiques - ne se pose pas pour certains types de cultures.

Toutefois, par mesure de prudence et pour éviter toute concurrence pouvant hypothéquer la satisfaction des besoins alimentaires, tant animal qu'humain, cette étude ne prend pas en compte la quantité de grains produite dans l'estimation de la biomasse disponible. D'ailleurs, la consommation alimentaire et la consommation énergétique se développent à un rythme élevé et la surface agricole productive se réduit d'année en année. Ce qui, à court ou moyen terme, risque de poser un problème d'approvisionnement tant pour des fins alimentaires qu'énergétiques. Néanmoins, la mise en valeur de grains déclassés impropres à la consommation humaine ou animale, par leur incorporation dans la biomasse méthanisable, peut être une option intéressante.

2.2 Biomasse d'origine animale

Les effluents d'origine animale sont liquides (purin), solides ou pâteux (fumier et lisier). Dans cette présente étude, seuls les effluents solides et pâteux sont considérés. Il s'agit du lisier et du fumier dont les teneurs en matières sèches varient entre 3 % et 36 % (Tessier, 2000; Hofmann et Beaulieu, 2006). Les lisiers contiennent des urines et des excréments mélangés alors que les fumiers sont principalement constitués d'excréments d'animaux additionnés de paille très hétérogène. Les éléments les plus importants sur la composition et la qualité des déjections produites sont les paramètres physiques (volume et teneur en solides), biochimiques (demande biologique en oxygène, DBO) et chimiques (éléments fertilisants, demande chimique en oxygène, DCO). Toutefois, cette composition est affectée par plusieurs facteurs tels que l'âge de l'animal, la formulation de la ration, la consommation d'eau, l'ambiance à l'intérieur du bâtiment d'élevage et le climat (Taiganides et Hazen, 1966). Elle peut également varier suivant le mode de manutention, le type d'entreposage et l'activité biologique du fumier (Ghaly *et al.*, 1988). La teneur en matières sèches du lisier varie en fonction de la qualité du fourrage et du paillage. Par exemple, un paillage même léger dans une stabulation de bovins peut augmenter la teneur en matières sèches du lisier. A contrario, une alimentation plus riche en eau (porcs, volailles) a tendance à faire diminuer la teneur en matières sèches (Taiganides et Hazen, 1966; ASAE, 2003; Hofmann et Beaulieu, 2006).

Toutefois, les effectifs d'animaux recueillis dans le cadre du recensement agricole de 2006 ne permettent pas de connaître le mode d'alimentation et de conduite des exploitations. Le tableau ci-après récapitule les quantités de fumiers produites par chaque secteur d'élevage.

Tableau 12 : Quantité de fumier par animal

| Secteurs d'élevage | Poids moyens des animaux (kg) | Fumier (kg/année) |
|---|-------------------------------|-------------------|
| Vaches de boucherie | 635 | 13 444 |
| Chevaux et poneys | 450 | 8 377 |
| Moutons et agneaux | 45 | 662 |
| Chèvres | 64 | 958 |
| Taureaux | 726 | 15 364 |
| Veaux | 204 | 4 321 |
| Génisses | 421 | 8 904 |
| Vaches laitières | 612 | 22 706 |
| Verrats | 159 | 1 358 |
| Porcs d'engraissement et de finition | 61 | 1 287 |
| Porcelets sevrés et non sevrés | 11 | 613 |
| Truies et jeunes truies | 125 | 1 358 |
| Bouvillons | 454 | 9 603 |
| Poulets à griller, à rôtir et poulets de Cornouailles | 0,9 | 28 |
| Poules pondeuses | 1,8 | 42 |
| Poulettes | 0,9 | 28 |
| Dindons et dindes | 6,8 | 117 |

Source: American Society of Agriculture Engineers (ASAE), 2003

2.2.1 Quantité de fumier produite par secteur d'élevage

La quantité de fumier produite sur le territoire de la fédération est estimée à partir des données du cheptel des cinq principaux secteurs d'élevage de la région (bovin et lait, porc, chevaux et poneys, volaille, mouton et chèvre). La quantité de fumier ainsi calculée correspond à la biomasse d'origine animale méthanisable estimée à plus de 1 768 000 t en 2006 (figure 11). Ce chiffre peut être revu à la hausse si l'on considère les autres secteurs d'élevage comme les bisons, les chevreuils et les lapins, non pris en compte dans cette étude.

Les secteurs d'élevage les plus contributifs sont le bovin et le porcin qui fournissent respectivement 65 % et 32 % de la quantité totale de biomasses d'origine animale. Les secteurs volaille, équin et ovin fournissent chacun moins de 1 % de la biomasse animale; soit environ 30 000 t de biomasse pour la volaille et les chevaux, et moins de 15 000 t pour les moutons et chèvres (figure 11).

La MRC du Haut-Richelieu est le principal gisement de biomasse d'origine animale avec un total plus 600 000 t de fumier produit en 2006. Haut-Saint-Laurent occupe la deuxième place avec environ 400 000 t suivi de Beauharnois-Salaberry avec environ 210 000 t de fumier la même année. Même si la MRC de Vaudreuil-Soulanges occupe la troisième place des MRC les mieux dotées en entreprises agricoles spécialisées dans la production animale, elle fournit moins de fumier que la MRC de Beauharnois-Salaberry (figure 11).

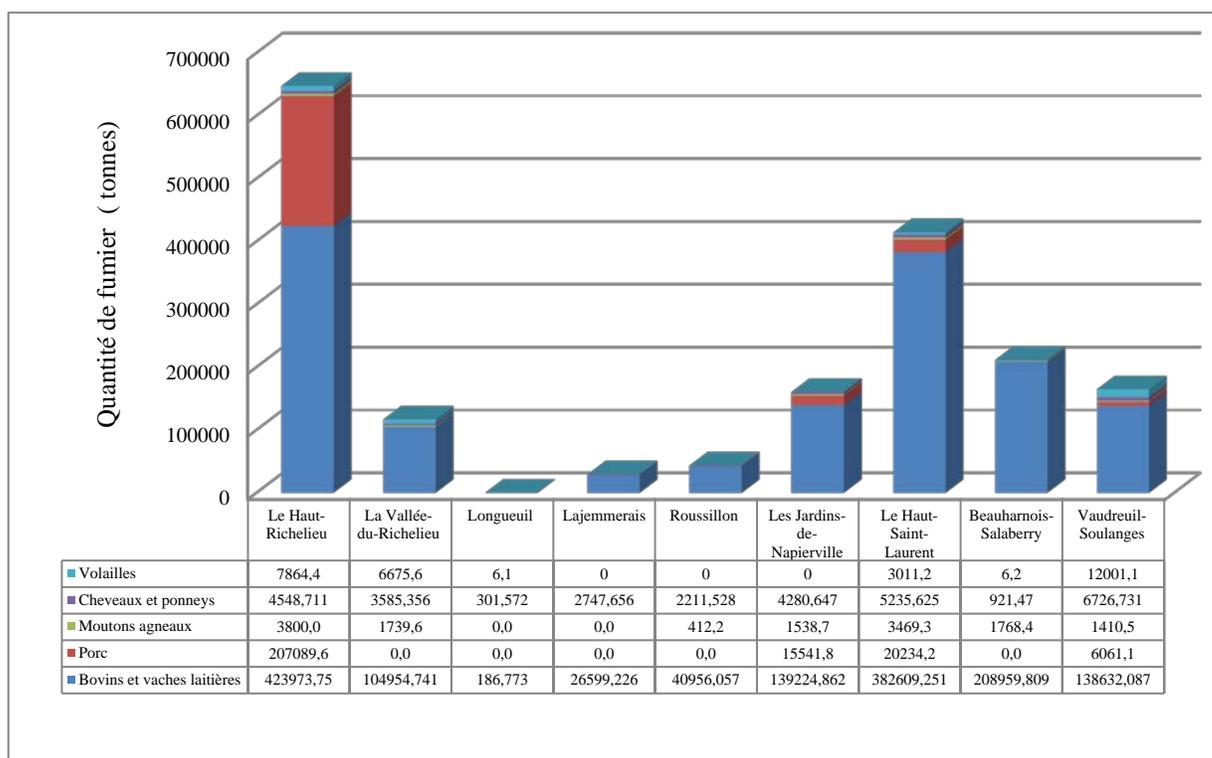


Figure 11: Quantité de fumier produite par secteur d'élevage

2.2.2 Le secteur bovin

Depuis un peu plus de deux décennies, la production bovine connaît un essor remarquable au Québec. Elle est la troisième plus importante production animale de la province, après les productions laitière et porcine, et la première sur le territoire de la Fédération de Saint-Jean-Valleyfield¹².

La majeure partie du fumier (65 %) produite sur le territoire de la fédération provient du secteur d'élevage bovin et veau incluant le lait. En 2006, les quelques 1 188 entreprises d'élevage bovin de la fédération ont produit près de 1.5 million de tonnes de fumier (figure 12).

Le fumier produit par le secteur laitier représente près de 60 % de la quantité totale de fumier bovin. La contribution des autres sous-secteurs bovin et veau dans la production totale de fumier varie entre 1 % pour les taureaux et 15 % pour les génisses.

En général, tous les types de bovins produisent de grandes quantités de fumier : les taureaux (42 kg/jour), les vaches de boucherie (37 kg/jour), les bouvillons (26 kg/jour), les génisses (24 kg/jour) et les veaux (12 kg/jour). Avec des quantités de fumier pouvant atteindre 62 kg par jour, représentant environ 10 % du poids moyen d'une vache, les vaches laitières sont les plus grandes productrices de fumier (Hofmann et Beaulieu, 2006).

¹² Fédération des producteurs de bovins du Québec
http://www.bovin.qc.ca/fr/la_production_bovine_quebecoise/portrait_global/coup_doeil.php

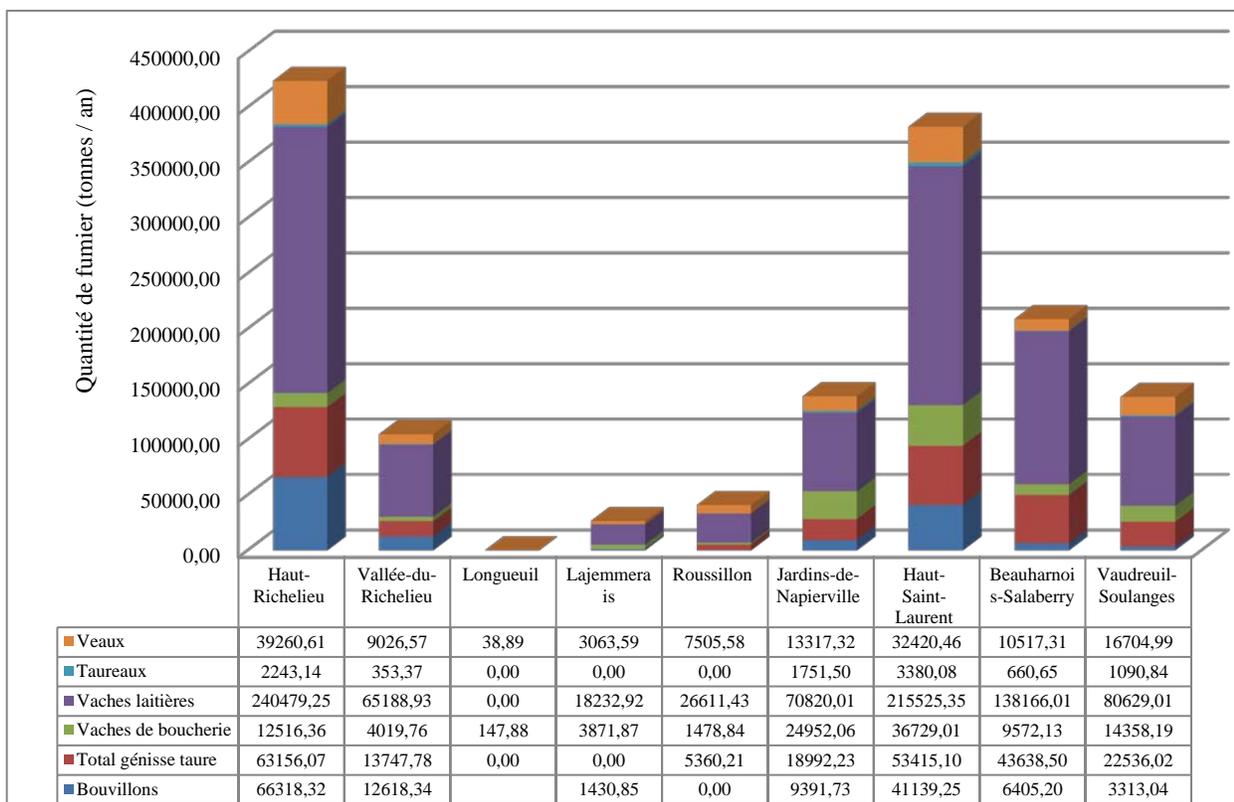


Figure 12 : Quantité de fumier produite par sous-secteur bovin (T/année)

2.2.3 Le secteur porcin

Le secteur porcin est le deuxième plus gros fournisseur de fumier de la région avec une contribution de près de 228 000 t. Comparativement aux bovins et veaux, les différentes catégories de porcs, y compris les porcelets sevrés, les truies, les verrats et les porcs de marché, produisent des quantités bien moindres de fumier, soit entre 1 et 4 kg par jour. Près de 70 % du fumier porcin est produit par la variété des porcs d'engraissement (figure 13).

La production de fumier porcin est fortement dominée par la MRC du Haut-Richelieu qui contribue à hauteur de 77 % de la quantité totale enregistrée en 2006, soit 207 089 t. La production porcine est quasi inexistante dans les autres MRC à l'exception des Jardins-de-Napierville, Haut-Saint-Laurent et Vaudreuil-Soulanges qui ne totalisent pas plus de 37 000 t de fumier par an (figure 13).

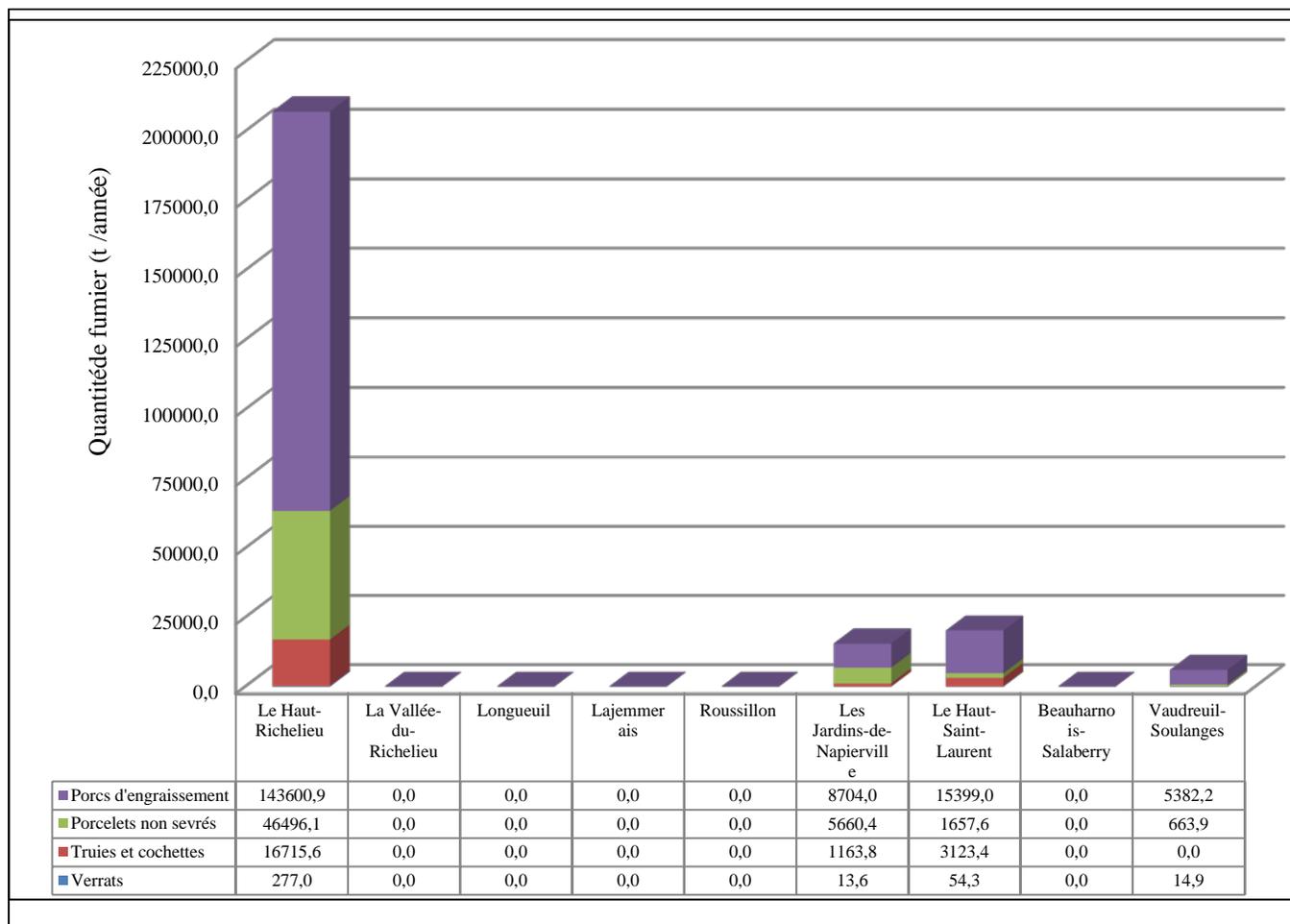


Figure 13: Quantité de fumier produite par sous-secteur porcin (T/année)

La plupart des entreprises porcines de la région sont relativement de petites tailles (inférieure à 5000 têtes) et valorisent localement leur production. Il faut noter que cet élevage est très dépendant de la présence d'abattoir de proximité. Or, la région de Saint-Jean-Valleyfield n'est pas équipée d'abattoir multiespèces publics ou privés. Cela implique des frais de transport élevés vers les abattoirs, car les plus proches se trouvent sur la Rive-Nord de Montréal (Saint-Esprit) ou en Montérégie-Est (Saint-Hyacinthe). Même s'il génère plus de 24 000 emplois directs et indirects à travers le Québec (MAPAQ, 2006), le secteur porcin fait face à plusieurs défis de : valoriser le lisier dans le respect réglementaire, réduire les impacts environnementaux liés à la gestion du lisier et des odeurs, cohabiter avec le voisinage et le tout, en demeurant compétitif sur le marché national et international. En effet, les producteurs de porcs sont souvent confrontés à la

réticence du voisinage et aux préjugés non valorisants de la profession qui n'autorisent guère une cohabitation harmonieuse. À cela s'ajoute, les coupures dans le programme d'ASRA : 25 % des producteurs dits « moins efficaces » (Bélanger, 2010; communication interne). Ce contexte agroéconomique explique en partie l'absence de fermes porcines dans la plupart des MRC de la région de Saint-Jean-Valleyfield (figure 13).

CHAPITRE III : POTENTIELS ÉNERGÉTIQUES DE LA BIOMASSE AGRICOLE: BIOGAZ

La section précédente a permis de quantifier les substrats méthanisables issus de la production agricole et de dresser le portrait de la répartition géographique des gisements de biomasse dans la région. Le présent chapitre propose une estimation du potentiel de production de biogaz à partir des résidus issus des activités agricoles dans la région. Auparavant, un bref rappel sur l’historique et les différentes étapes du processus de méthanisation permet de mieux comprendre la rentabilité énergétique de la biomasse agricole.

La production de biogaz à partir de la matière putrescible est connue depuis des siècles. La découverte que la fermentation de la matière organique dégage un gaz inflammable a été faite vers 1630 par Van Lemond. Un siècle et demi plus tard, en 1776 Alessandro Volta démontre que le gaz issu de la décomposition des vases de marais, c’est-à dire le méthane, était combustible. Cependant, les premières techniques de digestion anaérobie ont été mises au point au cours de la première moitié du XX^{ème} siècle (Moletta et Verstraete, 2008). Le choc pétrolier des années 1970 a accéléré les activités de recherche et développement dans le domaine de la méthanisation des boues d’épuration d’eaux usées, des effluents industriels et agricoles et de mise au point de digesteurs. Malheureusement, le contre choc pétrolier a rendu obsolète la production de biogaz à des fins énergétiques. Par contre, le contexte énergétique actuel favorise la renaissance et la valorisation du biogaz à des fins économiques et environnementales (Godon, 2008; Amarante, 2010).

La biométhanisation est un processus complexe de transformation d’une partie de la matière organique (digestion anaérobie) en biogaz. Selon les travaux de Molleta (1993) repris par Ostrem, (2004) puis par Gordon (2008), cette production de biogaz est le résultat d’une combinaison de quatre réactions principales, qui ont lieu dans le digesteur (figure 14, p.47). Il s’agit de:

- **l'hydrolyse**, par laquelle les macromolécules organiques complexes sont transformées en éléments plus petits. Le déchet solide est ainsi liquéfié et hydrolysé en molécules intermédiaires solubles;
- **l'acidogénèse**, qui transforme les monomères de l'étape antérieure en acides de faibles poids moléculaires (acides gras volatiles, alcools, en acides organiques, en hydrogène et en CO₂...) par l'action des bactéries spécifiques;
- **l'acétogénèse**, où les molécules issues des processus antérieurs sont ensuite transformées, sous l'effet des bactéries réductrices, en acide acétatique ou en dioxyde de carbone et hydrogène;
- **la méthanogénèse** qui est la phase ultime où les molécules issues de l'acétogénèse se transforment en méthane et dioxyde de carbone.

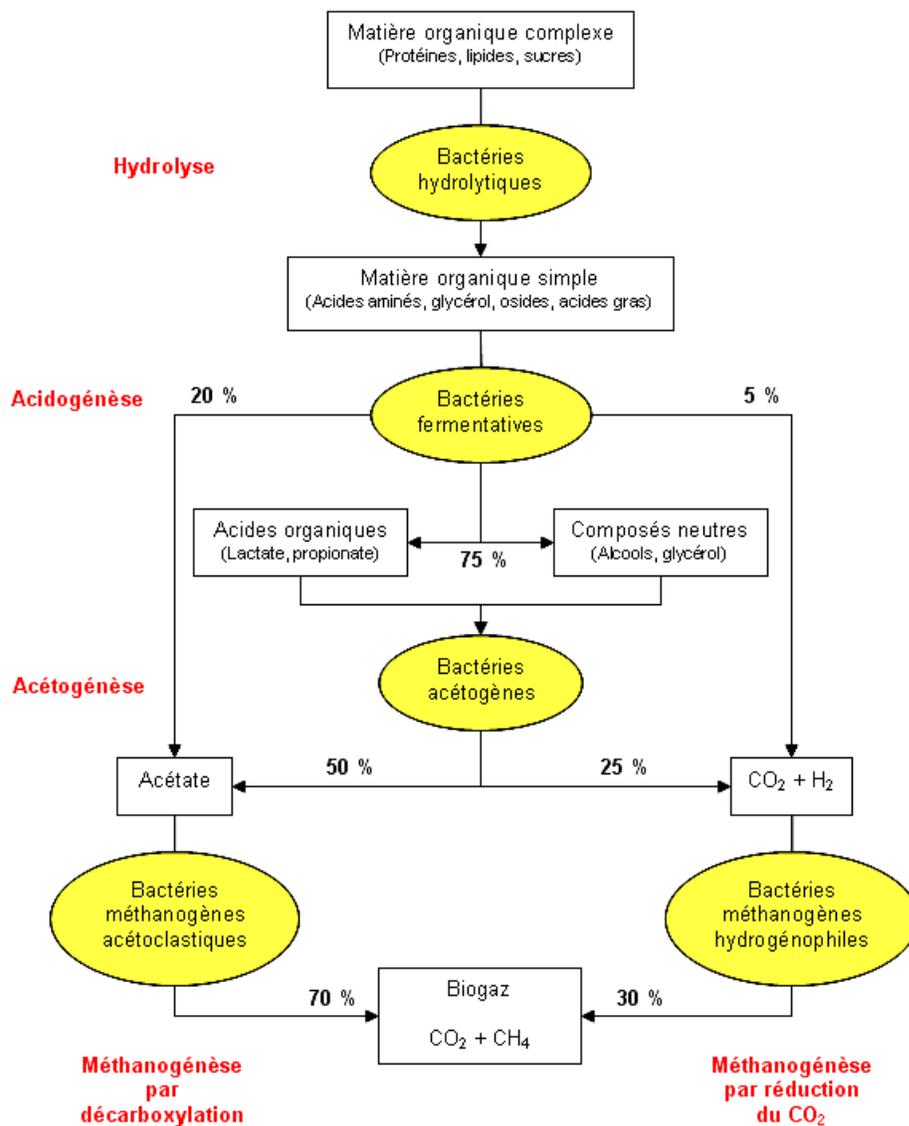


Figure 14 : Processus de méthanisation¹³

La méthanisation s'effectue généralement à des niveaux d'oxydoréduction très bas (-300 à -400mV) et à un niveau de pH voisin de la neutralité (6,5 à 8,5). La température requise pour enclencher une activité bactérienne varie entre 10 et 65°C; on parle de bactéries psychrophiles (10 et 25°C), mésophiles (25 et 45°C), thermophiles (45 et 65°C) (Cresson, 2006; Zaher *et al.*, 2007; ADEME, 2009). Les vaches possèdent naturellement ces bactéries méthanogènes dans leur tube digestif.

¹³ <http://www.methanisation.info/etapes.html>

La composition du biogaz varie en fonction des substrats, mais est principalement composée de 55-65 % de méthane (CH₄), d'où le terme de « méthanisation » souvent employé pour décrire le processus de digestion anaérobie. Elle se compose également de 35 à 45 % de dioxyde de carbone (CO₂), de 2 à 7 % d'eau (H₂O), de 0,2 à 0,5 % de sulfure d'hydrogène (H₂S), de 0,2 à 3 % d'azote (N₂) et des traces d'autres gaz (en ppm) (Truong, 2004; Görish et Helm, 2006; Massé *et al.*, 2007; CRAAQ, 2008; ADEME, 2009).

La composition biochimique de la matière organique joue un rôle primordial dans la biodégradabilité du végétal et donc dans la production potentiel de méthane contenu dans le biogaz. En effet, le biogaz est sensible entre autres : au ratio de carbone sur l'azote (C/N), au pH, à la proportion de matière organique vs matières sèches, à la température et à la siccité ou mélange de substrat (CRAAQ, 2008; ADEME, 2009). En fin de cycle, le processus de méthanisation laisse un produit appelé digestat qui sert à nouveau comme fertilisant (ADEME, 2009). La figure 15 illustre le cycle général de production d'énergie (biogaz) à partir de la méthanisation de la biomasse (agricole ou urbaine).

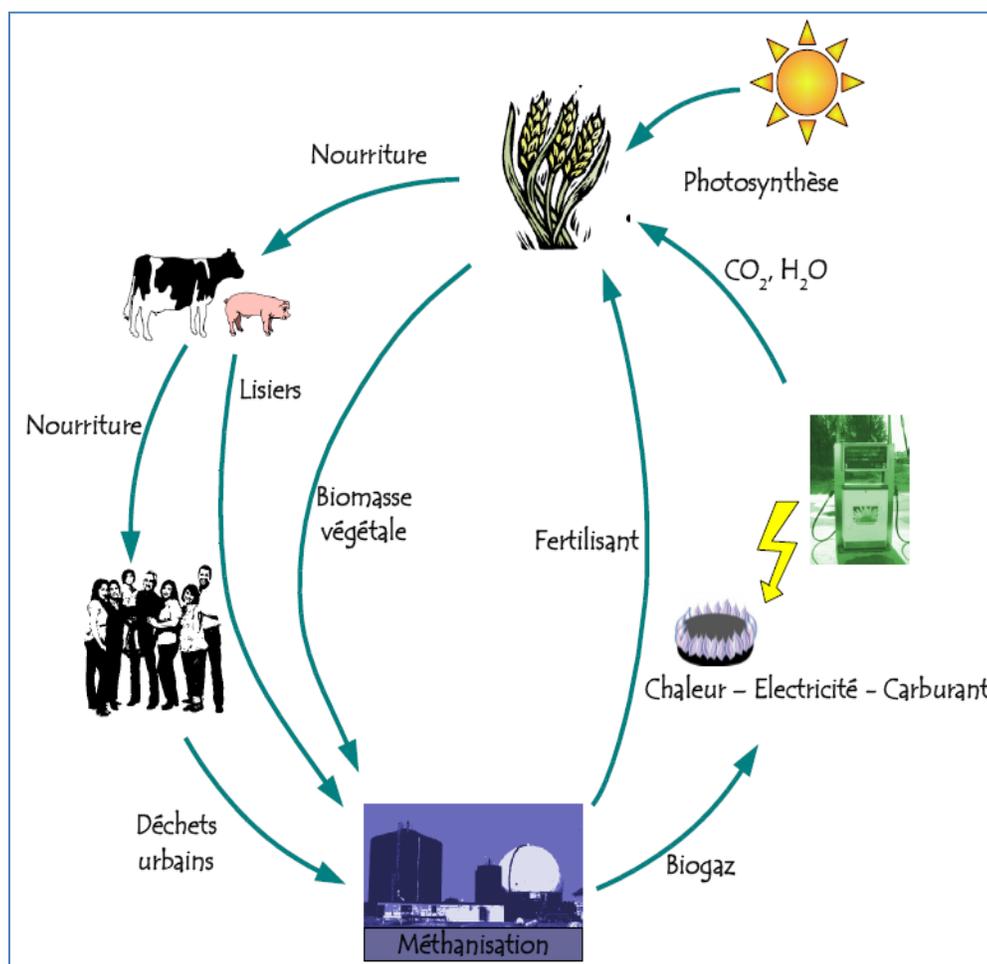


Figure 15 : Cycle de production du biogaz¹⁴

Certes, l'intérêt d'un résidu végétal ou animal à des fins de méthanisation est déterminé sur la base des quantités produites, mais également sur la base de son potentiel méthanogène qui détermine la production de méthane que l'on peut attendre lors de leur traitement par digestion anaérobie. Ainsi, un substrat à faible potentiel méthanogène nécessitera une plus grande quantité d'apport qu'un substrat à fort potentiel. Il s'exprime en volume de méthane ramené à la masse de matière organique considéré; l'unité la plus utilisée est le $\text{Nm}^3\text{CH}_4/\text{kgMO}$ avec Nm^3 pour normal mètre cube (conditions standards de température et de pression) et MO pour matière organique (Jones *et al.*, 1980; ADEME, 2009).

¹⁴ <http://www.methaneva.eu/la-methanisation-2.html>

Toutefois, le potentiel méthanogène de la biomasse agricole disponible sur le territoire de la fédération dépend de plusieurs facteurs liés non seulement à la nature et à la quantité du substrat traité, mais aussi à sa demande chimique en oxygène (DCO). Le volume de biogaz produit peut également varier en fonction du débit d'alimentation du digesteur, de la température de fermentation, de la qualité de l'agitation, du temps de séjour, etc. (Tchouate Héteu et Martin, 2003).

La figure ci-après (figure 16) illustre les rendements en méthane des différents substrats méthanogènes. Elle permet une comparaison entre les potentiels énergétiques des résidus de cultures considérés dans cette étude avec ceux d'une série de sous-produits habituellement utilisés comme matière première dans les unités de méthanisation.

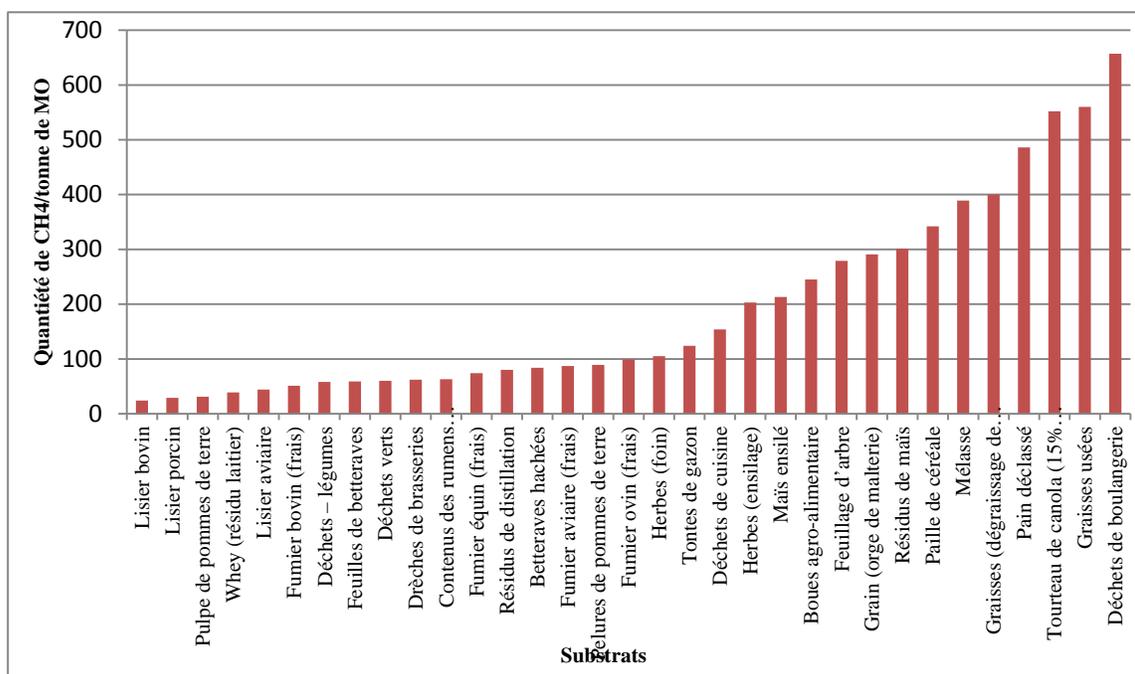


Figure 16 : Potentiels méthanogènes des différents substrats (en Nm³CH₄/tonne MO) (ADEME, 2009)

Les pailles de céréales et les résidus de maïs présentent un potentiel méthanogène relativement élevé par rapport aux autres sous produits d'origine végétale. Par contre, les déjections animales issues de la production bovine et porcine présentent les plus faibles potentiels méthanogènes des résidus biométhanisables considérés dans cette étude. En

effet, la production de méthane à partir des résidus agricoles est influencée par la composition biochimique et la teneur en matière sèche (MS) / matière organique (MO) de ces derniers (tableau 13). Les matières qui ont une très faible teneur en MS (comme les fumiers très dilués) donnent un rendement énergétique très faible, voire nul (Moletta, 2008; Görish et Helm, 2008; Pouech, 2008a; ADEME, 2009).

Tableau 13 : Production de biogaz selon les résidus

| Intrants | Matière sèche (%) | Volume en m³/t de matière (fraîche) |
|---------------------|--------------------------|---|
| Lisier de porcs | 6 | 16-23 |
| Lisier de bovins | 8 | 13-32 |
| Fumier de volailles | 24 | 61-112 |
| Déchets domestiques | 20 | 126 |
| Foin (ensilage) | 30 | 145 |
| Maïs (ensilage) | 30 | 197 |
| Gras | 25 | 238 |

Source : Fischer, 2007

3.1 Méthodologie d'estimation du biogaz

Les données sur la quantité de biomasse disponible dans la région de Saint-Jean-Valleyfield permettent d'estimer le potentiel énergétique de différents résidus agricoles sans procéder à des essais au laboratoire. Pour ce faire, des coefficients tirés des études de Statistique Canada et de la littérature ont été appliqués aux volumes de biomasse estimés pour chaque MRC. Toutefois, les facteurs de conversion utilisés dans la littérature sont très variables. Pour éviter des résultats très disparates et non adaptés aux réalités québécoises, cette étude s'est inspirée des recherches réalisées au Québec (Statistique Canada, 2006; CRAAQ, 2008; ÉcoRessources, 2008) et ailleurs (Massé, 2007; NRCS, 2007; ADEME, 2009, 2010; Görish et Helm, 2008).

- **Résidus d'origine végétale**

Le potentiel énergétique de la biomasse d'origine végétale est calculé à partir des facteurs de conversion et de la quantité de paille spécifique à chaque type de culture. Les facteurs de conversion utilisés pour estimer le volume de biogaz par type de résidu végétal sont répertoriés dans le tableau 14.

Tableau 14 : Volume moyen de biogaz produit par type résidu végétal¹⁵

| Matières premières | Facteurs de conversion (Biogaz en m³/t de résidu) |
|---------------------------|---|
| Maïs-ensilage | 197 |
| Paille de blé | 342 |
| Paille d'avoine | 342 |
| Foins | 145 |
| Paille de soya | 342 |
| Résidus de maïs (grain) | 301 |
| Paille d'orge | 342 |

Source : Fischer, 2007

Il faut cependant noter que la valeur énergétique de la paille est très variable (0,42 à 0,50 UFL¹⁶/kg MS). Elle dépend de l'espèce et de la variété botanique des céréales, des conditions de maturation de la plante ainsi que des conditions de récolte et de stockage. Elle varie aussi avec la quantité et la nature de la complémentation utilisée (Hannes, 2004, Görish et Helm, 2006; ADEME, 2009). L'équation utilisée pour chaque type de résidu est la suivante.

$$\text{Volume de biogaz} = \text{quantité de résidus végétaux (tonnes)} * \text{facteur de conversion (m}^3\text{/tonne)}$$

¹⁵ Fischer, T. 2007. Expérience allemande : Politique et apprentissage technologique in *ÉcoRessources*, 2008

¹⁶ UFL: Upper Flammable Limit

- **Résidus d'origine animale**

Pour chaque tonne de fumier produit correspond un volume de biogaz récupérable après méthanisation. Le tableau 15 dresse la composition et les équivalences en biogaz (m³) pour chaque tonne de matière organique d'origine animale.

Tableau 15 : Composition de différents substrats et volume de biogaz (m³/tonne)

| Résidus d'élevage | Caractéristiques physiques (%) | | | | | Facteur de conversion (Biogaz en m ³ /t de résidus) |
|-----------------------------------|--------------------------------|------------|------|-------|-----------|---|
| | Mat. sèches | Mat. orga. | C/N | Azote | Phosphore | |
| Lisier bovin | 8,7 | 78,7 | 14,6 | 4,8 | 1,5 | 24 |
| Lisier porcin | 5,8 | 75,3 | 9,5 | 7,7 | 3,6 | 29 |
| Fumier bovin (frais) | 22,6 | 81,7 | 14,3 | 3,5 | 1,4 | 51 |
| Fumier chevaux et poneys (frais) | 22 | - | - | - | - | 74 |
| Fumier volailles (frais) | 18,1 | 76,1 | 7,0 | 4,2 | 4,3 | 87 |
| Fumier moutons et agneaux (frais) | 23 | - | - | - | - | 99 |

Sources : Fisher (2007) in CRAAQ (2008), ÉcoRessources (2008), ADEME, 2009; compilations internes.

À partir de la quantité de fumier produite dans chaque MRC et pour chaque secteur d'élevage, il est possible d'appliquer des facteurs de conversion afin d'estimer le volume de biogaz potentiellement exploitable. Même si une certaine disparité est à noter entre les méthodes d'estimation du biogaz issu de la méthanisation des effluents d'élevage, il s'avère que le rendement en biogaz des déjections animales se situe en général entre 1,3 et 2,0 m³ par jour par unité animale (500 kg de poids vif) selon l'espèce animale (Balsam et Ryan, 2006; Camirand, 2007). La méthodologie utilisée pour estimer le volume de biogaz à partir des déjections animales est la suivante :

$$\text{Volume de biogaz} = \text{Quantité de fumier (tonnes)} * \text{facteur de conversion (m}^3\text{/tonne)}$$

3.2 Production de biogaz

3.2.1 Volume de biogaz produit à partir des résidus d'origine végétale

Sur l'ensemble du territoire de la fédération, le volume total de biogaz potentiellement productible à partir des résidus végétaux est évalué à plus de 285 millions de m³ par an (2006). Ce volume de biogaz serait majoritairement fourni par les résidus de maïs-grain dont le potentiel s'élève à plus de 153 millions de m³/an, soit 54 % du volume total (figure 17). Les résidus de soya occupent la deuxième place des secteurs agricoles (grandes cultures) les plus contributifs au potentiel de production de biogaz de la région avec plus de 88 millions de m³ (31 %). La contribution de ces deux secteurs de productions est évaluée à près de 85 % du volume total de biogaz (figures 17 et 18).

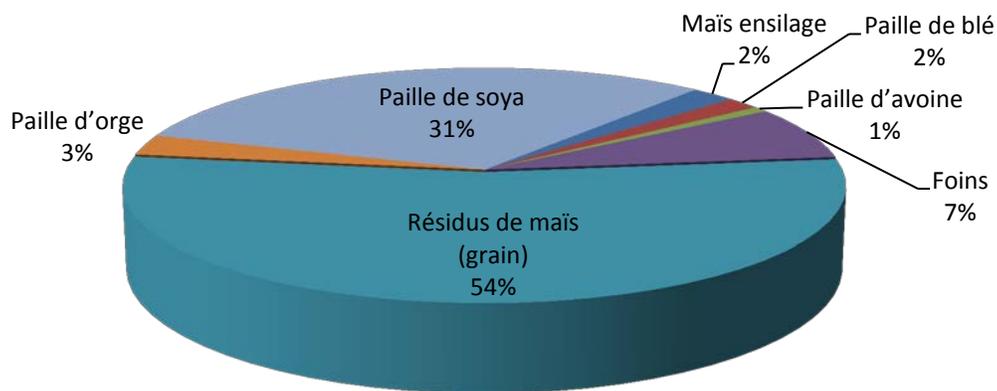


Figure 17 : Pourcentage de production de biogaz par tonne de résidus d'origine végétale

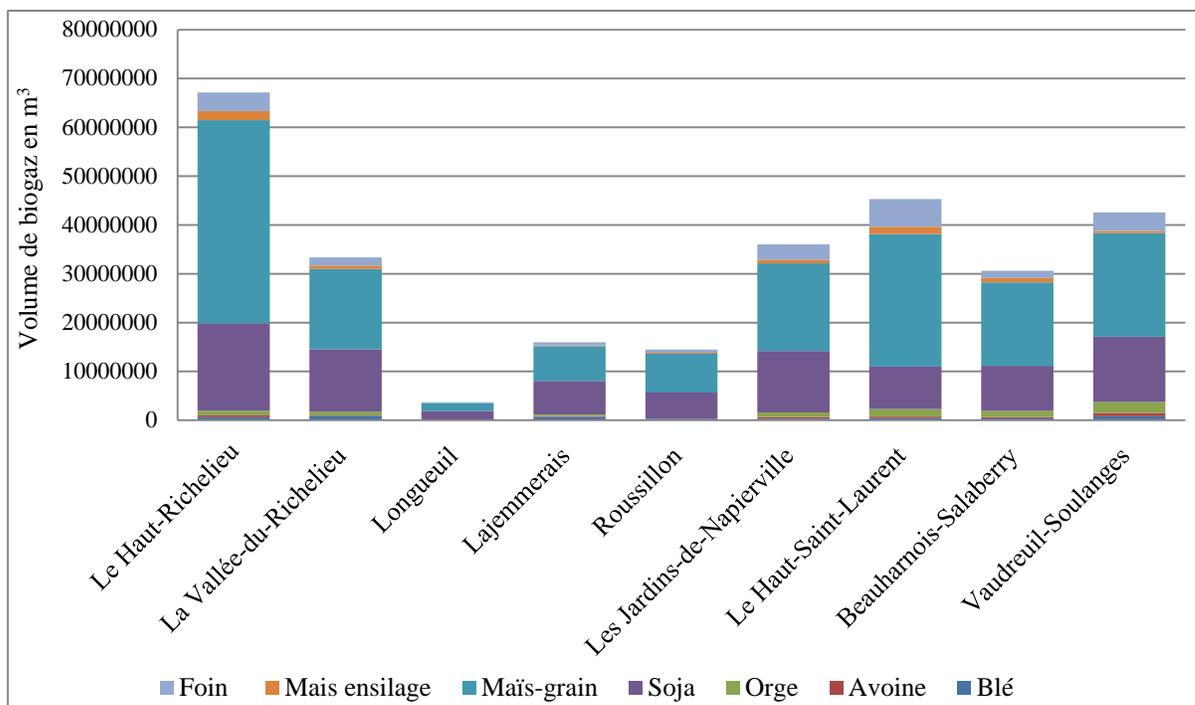


Figure 18: Potentiel de production de biogaz par MRC

Toutefois, ces volumes de biogaz sont calculés à partir des quantités brutes de résidus de culture végétale. Une telle estimation de la biomasse ne prend pas en compte la portion nécessaire à la conservation des sols, aux pratiques agroenvironnementales de fertilisation et autres usages ou pertes liées aux aléas. Pour ce faire, une estimation du volume de biogaz a été réalisée suivant les scénarios décrits au chapitre II.

Scénario I: (66 % mobilisable)

Le tableau 16 affiche les estimations sur le volume de biogaz suivant le scénario 2/3 mobilisable. Ce scénario propose une mobilisation de 66 % des résidus de culture végétale pour des fins de production de biogaz et 33 % pour les besoins agroenvironnementaux.

À partir de ce scénario, le volume total de biogaz potentiellement exploitable sur le territoire de la fédération s'élève à plus de 190 millions de m³. La perte en énergie induite par la réduction du potentiel mobilisable à 66 % se chiffre à près de 94 millions de tonnes.

Par ailleurs, la répartition spatiale des gisements de biogaz suit celle déjà décrite sur les quantités de résidus de cultures végétales au chapitre II.

Tableau 16: Volume de biogaz produit avec 66 % des résidus de cultures végétales

| Quantité de paille (Tonne) | | | Volume de biogaz en m ³ | | |
|-----------------------------|------------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| | Quantité totale | Quantité déduite (33 %) | Quantité disponible (66 %) | Volume total | Volume disponible (66 %) |
| Le Haut-Richelieu | 232 038 | 76 573 | 155 466 | 67 149 076 | 44 989 881 |
| La Vallée-du-Richelieu | 112 172 | 37 017 | 75 155 | 33 354 785 | 22 347 706 |
| Longueuil | 12 238 | 4039 | 8199 | 3 694 553 | 2 475 351 |
| Lajemmerais | 52 644 | 17 373 | 35 271 | 15 987 513 | 10 711 634 |
| Roussillon | 48 477 | 15 997 | 32 480 | 14 469 849 | 9 694 799 |
| Les Jardins-de-Napierville | 126 389 | 41 708 | 84 681 | 36 007 230 | 24 124 844 |
| Le Haut-Saint-Laurent | 153 958 | 50 806 | 103 152 | 45 320 440 | 30 364 695 |
| Beauharnois-Salaberry | 103 949 | 34 303 | 69 646 | 30 594 355 | 20 498 218 |
| Vaudreuil-Soulanges | 148 967 | 49 159 | 99 808 | 42 582 666 | 28 530 386 |
| Fédération régionale | 990 834 | 326 975 | 663 859 | 284 588 740 | 190 674 456 |
| Montérégie | 1 875 438 | 618 895 | 1 256 543 | 518 512 641 | 347 403 469 |

Scénario II : (33 % mobilisable)

Dans le cas où les 1/3 des résidus agricoles ne suffisent pas à protéger et fertiliser les terres en culture, un deuxième scénario peut être envisagé. Il s'agit de fixer le prélèvement à 33 % de la quantité totale de résidus végétaux. Cela implique une baisse de la quantité de biomasses méthanisable et par conséquent une baisse du potentiel de production de biogaz. Ce potentiel est estimé à un peu moins de 97 millions de mètres cubes par an (tableau 17).

Tableau 17: Volume de biogaz produit avec 33 % des résidus de culture végétale

| | Quantité de paille (t) | | | Volume de biogaz (m ³) | |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------------------|--------------------------|
| | Quantité totale | Quantité déduite (33 %) | Quantité disponible | Volume total | Volume disponible (33 %) |
| Le Haut-Richelieu | 232 038 | 155 466 | 76 573 | 67 149 076 | 22 830 686 |
| La Vallée-du-Richelieu | 112 172 | 75 155 | 37 017 | 33 354 785 | 11 340 627 |
| Longueuil | 12 238 | 8199 | 4039 | 3 694 553 | 1 256 148 |
| Lajemmerais | 52 644 | 35 271 | 17 373 | 15 987 513 | 5 435 755 |
| Roussillon | 48 477 | 32 480 | 15 997 | 14 469 849 | 4 919 749 |
| Les Jardins-de-Napierville | 126 389 | 84 681 | 41 708 | 36 007 230 | 12 242 458 |
| Le Haut-Saint-Laurent | 153 958 | 103 152 | 50 806 | 45 320 440 | 15 408 949 |
| Beauharnois-Salaberry | 103 949 | 69 646 | 34 303 | 30 594 355 | 10 402 081 |
| Vaudreuil-Soulanges | 148 967 | 99 808 | 49 159 | 42 582 666 | 14 478 106 |
| Fédération régionale | 990 834 | 663 859 | 326 975 | 284 588 740 | 96 760 172 |
| Montérégie | 1 875 438 | 1 256 543 | 618 895 | 518 512 641 | 176 294 298 |

3.2.2 Volume de biogaz produit à partir des résidus d'élevage

Dans la région de Saint-Jean-Valleyfield, le volume total de biogaz produit à partir des résidus d'élevage est estimé à plus de 88 millions de m³ en 2006. Nonobstant son faible rendement énergétique, le fumier issu de la production bovine et laitière est le substrat qui totalise le plus de potentiel énergétique avec près de 75 millions de m³ de biogaz soit 85 % du potentiel régional (figure 19). Ce potentiel s'explique par la quantité importante de déjections issues de ce secteur d'élevage qui reste le plus important en termes de nombre de têtes en exploitation.

Malgré l'absence de données sur l'activité porcine dans la MRC de Longueuil, Lajemmerais, Roussillon et Beauharnois-Salaberry, le secteur porcin totalise un potentiel de production de biogaz, à partir du lisier, de plus de 200 000 m³ par an. Ce qui lui confère la deuxième place en termes de volume de biogaz potentiellement exploitable. Le secteur moutons et agneaux est relativement le secteur qui produit le moins de biogaz avec environ 15 000 m³ à l'année, soit 2 % du volume total (figure 19).

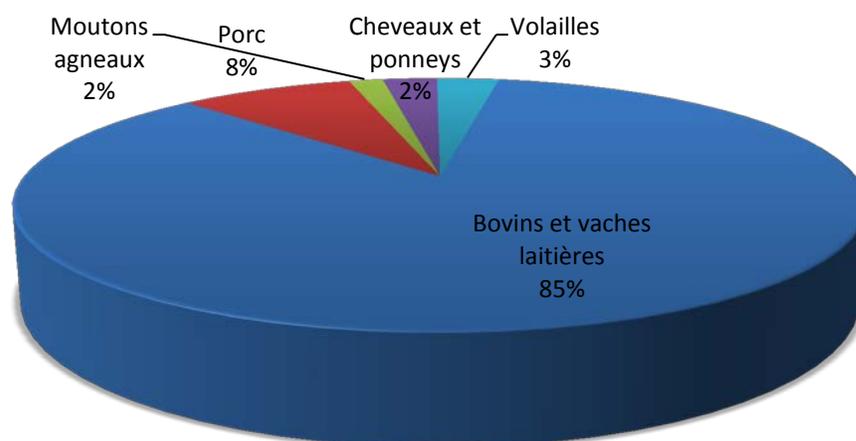


Figure 19: Estimation du biogaz produit par secteur d'élevage

Les plus importants gisements de biogaz produit à partir de la méthanisation des résidus d'origine animale sont localisés dans la MRC du Haut-Richelieu, du Haut-Saint-Laurent et de Beauharnois-Salaberry avec respectivement 29 millions, 21 millions, 10 millions de m³ de biogaz par an (figure 20).

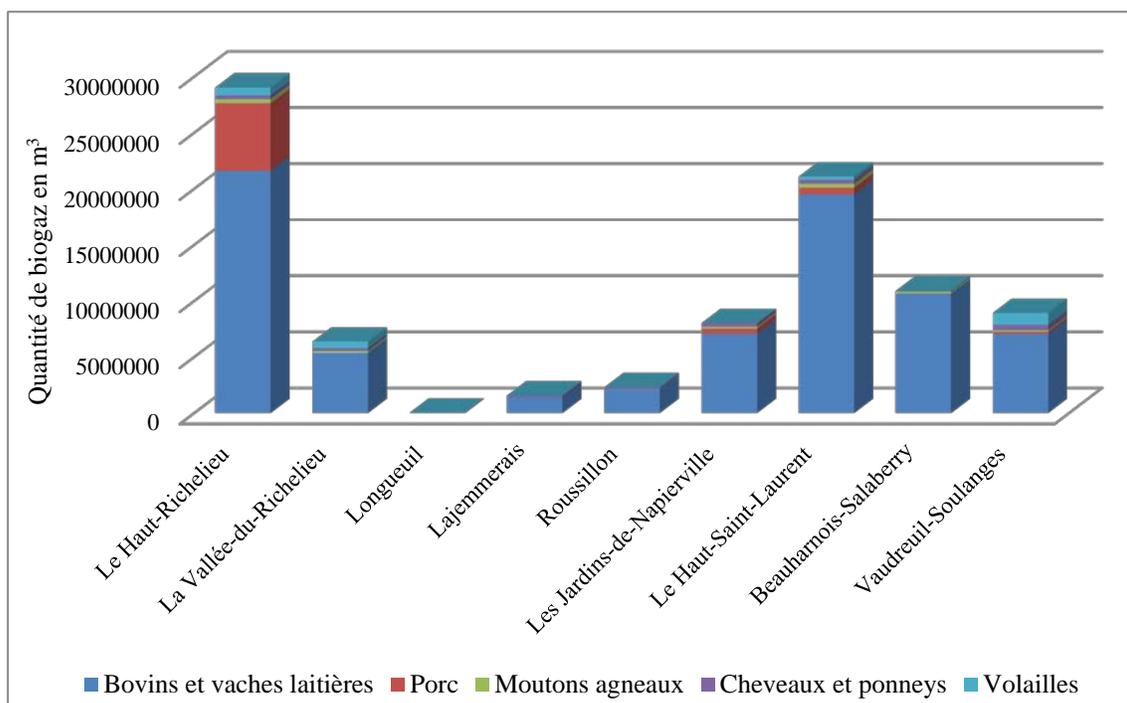


Figure 20: Volume potentiel de biogaz en m³ dans chaque MRC

Le volume de biogaz produit à partir de la biométhanisation des résidus agricoles est fonction de leurs caractéristiques et de leurs contenus en matières organiques biodégradables. En effet, le traitement anaérobie est particulièrement bien adapté aux substrats riches en matières organiques et à ceux qui contiennent une forte proportion de carbone par rapport à l'azote et le phosphore (ADEME, 2009). Par exemple, les lisiers de porcs et bovins sont relativement peu performants pour la production de biogaz en raison de leur faible teneur en matière sèche et en matière organique et de leur forte dose de liquide de dilution (tableau 15, p.52). Certes, les déjections animales ne présentent pas un potentiel méthanogène très élevé par rapport à la paille de céréale, mais sont cependant indispensables à la fermentation. En effet, les effluents d'élevages sont à la base du processus de méthanisation puisqu'ils permettent d'ensemencer le digesteur en bactéries responsables de la dégradation de la matière organique en biogaz (Balsam & Ryan, 2006).

Pour pallier aux carences ou à la non-disponibilité d'éléments indispensables à l'activité microbienne, il est souvent recommandé de rajouter des compléments nutritionnels comme la matière organique (CRAAQ, 2008; Pouech, 2008a). Ceci permet d'augmenter de manière importante la production de biogaz.

Toutefois, la majeure partie du fumier produit dans la région de Saint-Jean-Valleyfield est utilisée pour la fertilisation des terres cultivées. La quantité de fumier consacrée aux compostages et autres activités de transformation ne dépasse guère 6 % de la quantité totale de déjections (figure 8, p.30). En 2007, les agriculteurs du Québec ont épandu près de 30 millions de tonnes humides de fumiers et lisiers sur les terres du Québec (MDDEP, 2008). C'est dire donc qu'une éventuelle utilisation de ces matières fertilisantes à des fins de méthanisation implique une prise en considération de cette réalité.

Quoi qu'il en soit, la quantité de fertilisants organiques disponibles ne serait pas compromise. En effet, le digestat constitue une matière fertilisante au même titre que le fumier brut et peut être appliqué sur les terres agricoles pour des besoins de fertilisation (MDDEP, 2011). Selon les travaux d'Ostrem (2004), Balsam & Ryan (2006), Massé *et al.* (2007), Pouech (2008), ADEME (2009), la fermentation anaérobie du fumier favorise non seulement une augmentation de son pH, mais la minéralisation des éléments nutritifs

induite par la décomposition de la matière sèche favorise leur disponibilité pour les plantes tout en conservant la majorité de l'azote et du phosphore total.

D'après ces résultats de recherche, la digestion anaérobie, en général, permet de réduire environ 8 % du calcium, 18 % du magnésium, 15 % du fer, 42 % du cuivre, 21 % du manganèse, 18 % du zinc, 3 % du sodium et 68 % du soufre. Le taux de matière organique ayant fortement diminué (50 %), les formes minérales de ces éléments sont proportionnellement plus importantes (Ostrem, 2004; Massé *et al.* 2007; ADEME, 2009).

Les analyses effectuées à la ferme St-Hilaire, qui utilise le digestat issu de son unité de méthanisation, révèlent que celui-ci contient 90 % de l'azote (N) et du potassium (K) du lisier initial et seulement 50 % de son phosphore (P) ou, plus précisément, 3,9 kg d'azote total, 1,4 kg de P₂O₅ et 3,11 kg de K₂O par mètre cube. Ces trois principaux éléments (N, azote; P, phosphore et K, potassium) sont beaucoup plus facilement accessibles pour les plantes. Par exemple, le rapport le ratio N/P du lisier du porc passe d'environ 3,9 à 5,2 pour l'ensemble de l'effluent et à 9,2 pour la fraction liquide (Massé *et al.*, 2007).

D'ailleurs d'aucuns préfèrent le digestat au lisier brut en raison de la réduction des odeurs induite par le processus de méthanisation. En effet, la désodorisation et l'hygiénisation des effluents par la méthanisation facilitent leur utilisation en agriculture notamment par l'élimination des nuisances olfactives tant sur le voisinage de l'installation que lors de l'épandage. De plus, l'utilisation du digestat permet également d'éviter l'épandage d'une proportion équivalent de fertilisants chimiques à partir des produits dérivés du pétrole. Rappelons qu'un projet de méthanisation dans la région de Saint-Jean-Valleyfield vise non seulement la gestion maîtrisée des résidus de culture et la production d'énergie renouvelable en remplacement de celles fossiles. On ne craint donc pas une rupture de stock pour la fertilisation organique des terres agricoles à partir des déjections animales.

Cela implique, malgré tout, la comptabilité des frais de transport de la matière première (fumier brut) et du digestat (fumier digéré) dans le processus de planification d'un projet de méthanisation. Par conséquent, une bonne planification entre la collecte des déchets, leur temps de séjour en condition anaérobie et leur épandage est nécessaire. En effet, le temps de rétention de la matière à l'intérieur du digesteur peut varier de quelques jours à 2 mois. Certains substrats se dégradent plus lentement que d'autres. Par exemple, le lisier

de bovin peut être dégradé deux fois plus vite que certains fumiers (Tafdrup, 1995; Gregersen, 1999; Seadi, 2000; Raven & Gregersen, 2007; Ghafoori *et al.* 2007; ADEME, 2009).

Quoi qu'il en soit, la viabilité d'un projet de production de biogaz par la méthanisation des effluents d'élevage requiert l'intérêt, l'implication et la collaboration autant des éleveurs fournisseurs de matières premières que des producteurs utilisateurs du fumier digéré.

CHAPITRE IV : VALORISATION DU BIOGAZ

L'intérêt énergétique du biogaz produit à partir des résidus de productions végétale et animale réside dans sa teneur plus ou moins importante en méthane qui lui confère un pouvoir énergétique certain. Rappelons que la proportion de méthane dans le biogaz se situe entre 50 et 75 % (Moletta, 2008; APESA, 2007; Pouech, 2008). Dans cette étude, la proportion de méthane est fixée à une valeur moyenne de 60 %. La figure 21 illustre la proportion de CH₄ vs CO₂ pour différents substrats organiques.

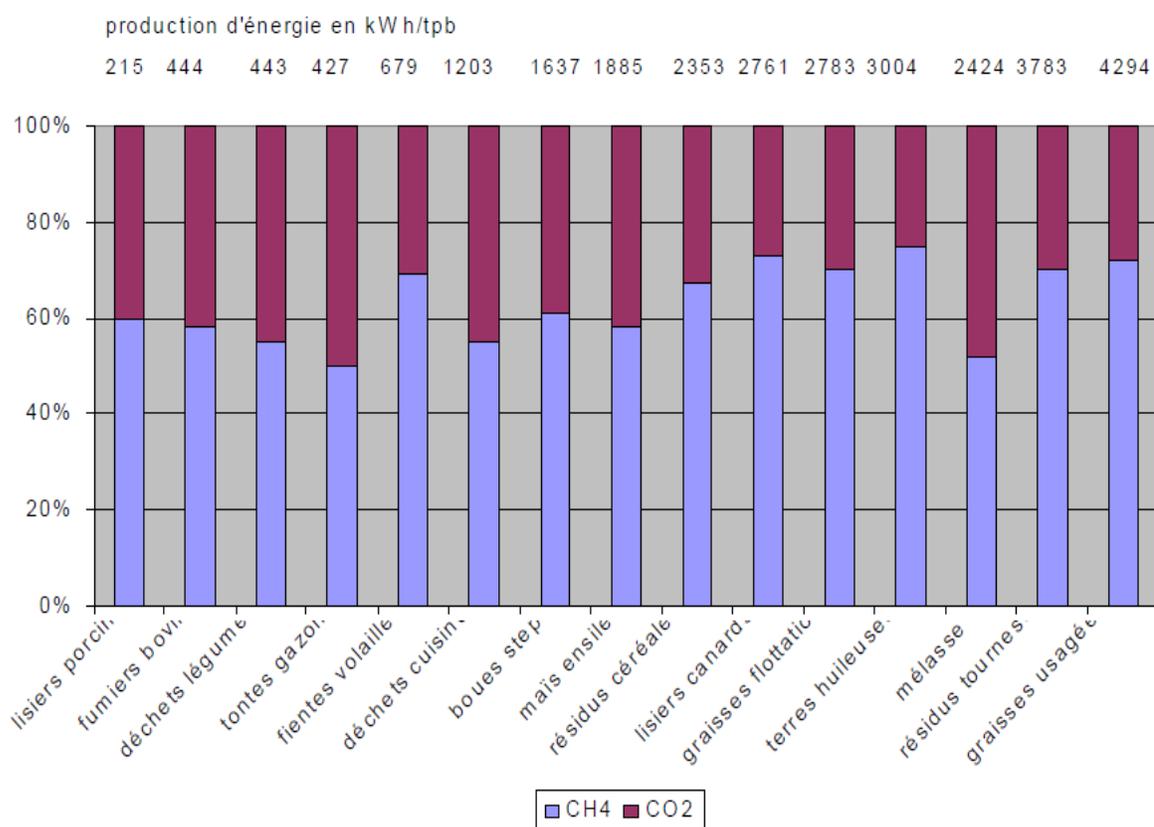


Figure 21: Comparaison de la composition du biogaz et du potentiel énergétique de différents substrats (source APESA, 2007)

Le méthane produit à partir des résidus agricoles peut être converti en pratiquement toutes les formes utiles d'énergie (Molleta, 2008; 2008a). En ce sens, le méthane peut être valorisé par :

- la production combinée d'électricité et de chaleur par cogénération,
- la production de gaz naturel après épuration,
- la production de carburant automobile après épuration et compression.

Le schéma, ci-dessous, présente le rendement énergétique par mètre cube de méthane généré pour différentes matières.

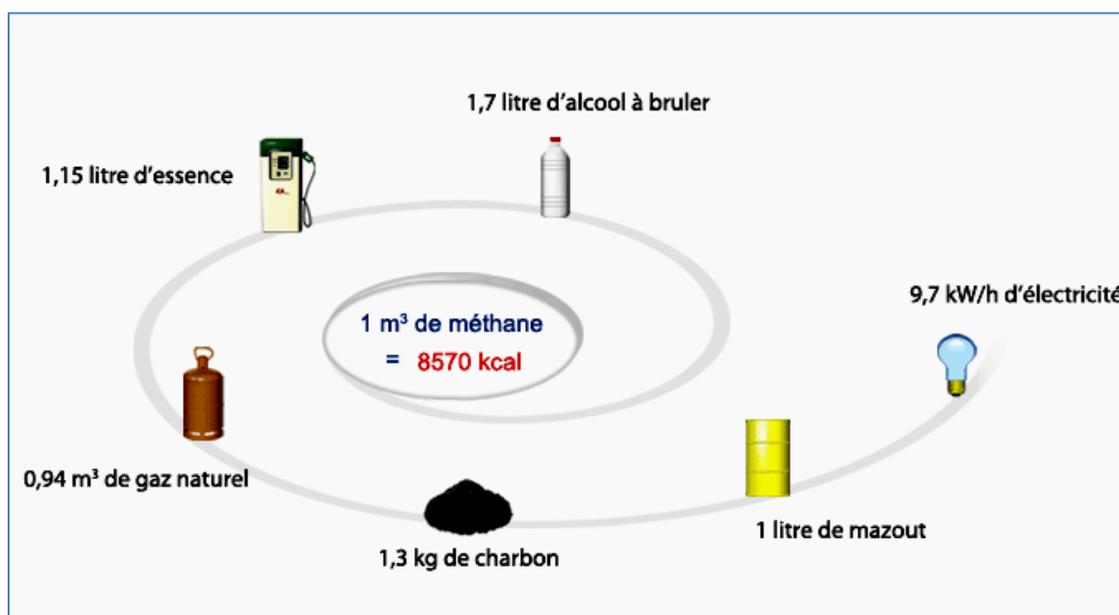


Figure 22 : Équivalence énergétique du méthane (Molleta, 2008)

Toutefois, la rentabilité énergétique de la digestion anaérobie dépend fortement du système de méthanisation utilisé et des propriétés physico-chimiques du substrat (Jones *et al.*, 1980; Fisher, 2007). Plutôt que d'étudier l'efficacité des techniques de méthanisation existantes, cette étude propose une estimation du potentiel énergétique ainsi que des revenus susceptibles d'être tirés de la valorisation du biogaz issu des résidus agricoles. Ces revenus ne prennent pas en considération les investissements nécessaires pour les infrastructures, le fonctionnement et les équipements de méthanisation.

4.1 Potentiel énergétique

Plusieurs études et applications ont démontré que le biogaz permet de produire de l'énergie renouvelable en remplacement des combustibles fossiles non renouvelables (Parking & Miller 1983; EPA 2002; Chen *et al.* 2005; NRCS, 2007; APESA, 2007; Molleta, 2008; ADEME, 2009). Les tableaux 18 et 19 présentent les résultats obtenus sur la valeur énergétique en kWh de la biomasse agricole dans la région de Saint-Jean-Valleyfield. L'énergie brute correspond à l'énergie totale (électricité nette et chaleur) qu'il est possible de produire par la méthanisation de l'ensemble de la biomasse disponible sur le territoire de la fédération. Un mètre cube de biogaz équivaut à 6kWh d'énergie brute dont 2 kWh en électricité nette; et un mètre cube de méthane a une teneur énergétique d'environ 10 kWh (9,94 kWh), dont 3,3 kWh en électricité nette (ADEME, 2009). Dans la présente étude, le rendement énergétique de la biomasse agricole a été calculé à partir de ces deux facteurs de conversion. Le rendement en électricité est donc d'environ 35 % par rapport au gisement d'énergie primaire (Molleta, 2008).

Suivant les calculs d'équivalence réalisés à partir des données sur la biomasse d'origine végétale, la charge énergétique totale (énergie brute) des résidus du secteur végétal est évaluée à plus de 1,707 TWh (tableau 18). En considérant un taux de prélèvement équivalent à 66 % de la quantité totale de résidus au sol, la valeur énergétique se réduit à un peu plus de 1,144 TWh pour atteindre 580 GWh à 33 % de prélèvement. Donc, dans tous les cas, l'énergie produite est évaluée à plus de 500 GWh. Les secteurs de production végétale les plus contributifs sont de loin le secteur du maïs-grain et du soya dont les résidus permettent de produire plus de 920 et 530 GWh respectivement.

Tableau 18: Potentiel énergétique des résidus d'origine végétale selon différents scénarios

| Matières premières | Quantité totale de résidus (Tonne) | Volume de biogaz (m ³ /tonne de résidus) ¹⁷ | Volume total de biogaz (m ³) | Concentration en méthane 60 % | Énergie brute (kWh) 6 kWh/ m ³ biogaz | Scénario I (66 %) (kWh) | | Scénario II (33 %) (kWh) | |
|--------------------------------|------------------------------------|---|--|-------------------------------|--|-------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------|
| | | | | | | Énergie déduite | Énergie disponible | Énergie déduite | Énergie disponible |
| Maïs-ensilage | 32 835,87 | 197 | 6 468 666 | 3 881 200 | 38 811 998 | 12 807 959 | 26 004 039 | 25 615 919 | 13 196 079 |
| Paille de blé | 13 667 | 342 | 4 674 114 | 2 804 468 | 28 044 684 | 9 254 746 | 18 789 938 | 18 509 491 | 9 535 193 |
| Paille d'avoine | 6403 | 342 | 2 189 826 | 1 313 896 | 13 138 956 | 4 335 855 | 8 803 101 | 8 671 711 | 4 467 245 |
| Foins | 145 099,38 | 145 | 21 039 410 | 12 623 646 | 126 236 461 | 41 658 032 | 84 578 429 | 83 316 064 | 42 920 397 |
| Paille de soya | 258 669 | 342 | 88 464 798 | 53 078 879 | 530 788 788 | 175 160 300 | 355 628 488 | 350 320 600 | 180 468 188 |
| Résidus de maïs (grain) | 510 506,27 | 301 | 153 662 387 | 92 197 432 | 921 974 324 | 304 251 527 | 617 722 797 | 608 503 054 | 313 471 270 |
| Paille d'orge | 23 653,62 | 342 | 8 089 538 | 4 853 723 | 48 537 228 | 16 017 285 | 32 519 943 | 32 034 571 | 16 502 658 |
| Total | | | 284 588 740 | 170 753 244 | 1 707 532 439 | 563 485 705 | 1 144 046 734 | 1 126 971 410 | 580 561 029 |

¹⁷Fisher 2007, CRAAQ, 2008

En ce qui concerne le secteur animal, les quantités de fumier potentiellement disponibles peuvent permettre de produire plus de 525 GWh d'énergie brute (électricité nette et chaleur). Au cas où une partie de la quantité de déjections est vouée à d'autres usages (agroenvironnement), deux scénarios sont prévus (tableau 19). Le premier scénario qui suggère une disponibilité de 66 % de la charge totale de fumier permet de produire environ 352 GWh alors que le deuxième scénario à 33 % de résidus disponibles aboutit à un peu moins de 179 GWh. Le fumier issu de l'élevage de bovins et vaches laitières est de loin le plus énergétique suivi du lisier de porc et de la volaille. Les quantités potentielles de biogaz pouvant être tirées de ces trois secteurs d'élevage sont respectivement de 448 GWh, 39 GWh, 15 GWh.

Ceci s'explique non seulement par la quantité importante de fumier générée par le secteur bovin et vache laitière, mais également par le fait que les vaches laitières enregistrent le coefficient d'émissions de méthane le plus élevé, soit 119 kg de CH₄/tête/an d'où la forte concentration de méthane dans les lisiers (Balsam & Ryan, 2006).

Tableau 19: Potentiel énergétique des résidus d'origine animale selon différents scénarios

| | Quantité de fumier | Biogaz en m ³ /tonne de résidus ¹⁸ | Biogaz en m ³ | Concentration en méthane 60 % | Énergie brute (kWh) 6 kWh/ m ³ biogaz | Scénario 1 (66 %) (kWh) | | Scénario 2 (33 %) (kWh) | |
|-----------------------------------|--------------------|--|--------------------------|-------------------------------|--|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| | | | | | | Énergie déduite | Énergie disponible | Énergie déduite | Énergie disponible |
| Bovins et vaches laitières | 1 466 096,6 | 51 | 74 770 925 | 44 862 555 | 448 625 550 | 148 046 432 | 300 579 119 | 296 092 863 | 152 532 687 |
| Porc | 227 923,8 | 29 | 6 609 790 | 3 965 874 | 39 658 740 | 13 087 384 | 26 571 356 | 26 174 768 | 13 483 972 |
| Moutons agneaux | 14 193,2 | 99 | 1 405 127 | 843 076 | 8 430 762 | 2 782 151 | 5 648 611 | 5 564 303 | 2 866 459 |
| Chevaux et poneys | 30 559,3 | 74 | 2 261 388 | 1 356 833 | 13 568 328 | 4 477 548 | 9 090 780 | 8 955 096 | 4 613 232 |
| Volailles | 29 564,6 | 87 | 2 572 120 | 1 543 272 | 15 432 720 | 5 092 798 | 10 339 922 | 10 185 595 | 5 247 125 |
| Total | 1 768 337,5 | | 87 619 350 | 52 571 610 | 525 716 100 | 173 486 313 | 352 229 787 | 346 972 626 | 178 743 474 |

¹⁸ Fisher 2007, CRAAQ, 2008

Au total, le potentiel énergétique brut que l'on peut tirer de la méthanisation autant de la biomasse d'origine végétale que de la biomasse d'origine animale se chiffre à plus de 2,233 TWh. L'application des scénarios susmentionnés conduit à une disponibilité énergétique de près de 1,261 TWh (scénario I) vs 0,640 TWh (scénario II). Dans l'hypothèse où l'énergie produite par le biogaz est convertie dans des proportions de 35 % en électricité et de 45 % en énergie thermique, une partie de l'énergie thermique peut servir à chauffer le digesteur. Selon la technologie employée, environ 10 à 30 % de la production de biogaz est utilisée pour le chauffage des bioréacteurs et que le reste est disponible pour diverses utilisations (CRAAQ, 2008; APESA, 2007).

4.2 Potentiel économique de la production de biogaz

Le potentiel économique de la biométhanisation de la biomasse agricole sur le territoire de la fédération régionale est estimé suivant différentes avenues de valorisation énergétique du biogaz. Les filières énergétiques les plus usitées dans la région sont l'électricité, le gaz naturel, le carburant (essence) et le mazout. Les revenus potentiels de la vente d'énergie à partir du biogaz sont calculés selon les prix de vente fixés par les principaux distributeurs d'énergie au Québec (Hydro-Québec, Gaz Metro) ainsi que des statistiques de Ressources Naturelles Canada. Ces prix correspondent à la moyenne obtenue à partir des prix affichés au cours des trois premiers mois de l'année 2011 (Hydro-Québec, 2011¹⁹; Gaz Métro, 2011; RNCAN, 2011). Le kWh d'électricité est vendu à 0,068 \$ alors que les prix moyens de l'essence et du mazout sont respectivement de 1,15 \$ et 0,96 \$ par litre (RNCAN, 2011). Pour ce qui est du gaz naturel, le coût de vente se situe en moyenne à 0,18 \$/m³.

¹⁹ Hydro-Québec (2010). Tarifs et factures. In *Hydro-Québec*, [En ligne]. <http://www.hydroquebec.com/publications/fr/tarifs/index.html> (Page consultée le 8 avril 2011).

4.2.1 Électricité et chauffage

Plusieurs études et applications ont démontré que le biogaz permet de produire de l'électricité (énergie électrique) ou de la chaleur (énergie mécanique) en remplacement de combustibles fossiles non renouvelables (Parking & Miller 1983; Chen *et al.* 2005; NRCS, 2007; APESA, 2007; Molleta, 2008; ADEME, 2009). Celle-ci se fait via la cogénération qui consiste à produire en même temps et dans la même installation de l'électricité et de la chaleur. L'énergie mécanique est transformée en énergie électrique grâce à un alternateur et l'énergie thermique est utilisée pour la production de chaleur (chauffage de l'installation, de bâtiments, d'habitations) à l'aide d'un échangeur. La cogénération est à l'heure actuelle le mode de valorisation du biogaz le plus utilisé dans le monde (ADEME, 2009). En effet, contrairement à la production séparée de chaleur et d'électricité, la filière cogénération «2 en 1» de chaleur et d'électricité réduit les pertes d'énergie de manière significative. Les pertes sous forme de chaleur et pendant le transport sont évaluées à plus de 45 % pour la centrale électrique la plus performante qui soit à ce jour. Même si la production par cogénération transforme jusqu'à 85 % du contenu du biogaz en électricité et en chaleur, la transformation de l'énergie thermique en énergie électrique se fait au détriment du rendement énergétique global du biogaz (CRAAQ, 2008).

Quoi qu'il en soit, la rentabilité électrique varie selon le type de biomasse utilisée et de sa capacité à générer du biogaz (CRAAQ, 2008). Le tableau 20 dresse la rentabilité électrique de certains résidus. Les résidus de maïs (grain ou ensilage) demeurent les substrats les plus méthanogènes et les plus énergétiques de la biomasse agricole en raison de leur forte proportion de matière sèche propice à la production de biogaz.

Tableau 20: Rentabilité électrique des résidus agricoles

| Résidus | Équivalence électrique |
|---------------------|------------------------|
| Lisier de porcs | 65 kWh/t |
| Fumier de volailles | 140 kWh/t |
| Déchets domestiques | 285 kWh/t |
| Ensilage de maïs | 450 kWh/t |
| Gras | 540 kWh/t |

Source : CRAAQ, 2008

Si l'on considère une concentration moyenne de 60 % de méthane sur un mètre cube de biogaz, les résidus de production végétale peuvent fournir plus de 170 millions m³ de méthane par année. À cela s'ajoutent les déjections issues de l'élevage qui fournissent un volume de méthane estimé à plus de 52 millions de m³. Ainsi, la quantité totale de méthane contenu dans la biomasse agricole est évaluée à plus de 122 millions de m³. L'équivalence totale en électricité est estimée à environ 781 GWh (tableau 21). Ceci correspond à la consommation annuelle de plus de 28 000 ménages québécois se chauffant à l'électricité. Avec telle production d'électricité, il serait possible d'alimenter en électricité toutes les exploitations agricoles de la Montérégie.

Tableau 21: Équivalent en électricité

| Matières premières | Quantité totale de résidus (Tonne) | Volume de biogaz (m ³ /tonne de résidus) ²⁰ | Volume total de biogaz (m ³) | Concentration en méthane 60 % | Énergie brute (kWh) 6 kWh/ m ³ biogaz | Électricité | Prix 1 kWh = 0,068\$ | Scénario I (66 %) KWh | Scénario II (33 %) KWh |
|---------------------------|------------------------------------|---|--|-------------------------------|--|--------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Maïs-ensilage | 32 835,87 | 197 | 6 468 666 | 3 881 200 | 38 811 998 | 13 584 199 | 923 726 | 618 896 | 314 067 |
| Paille de blé | 13 667 | 342 | 4 674 114 | 2 804 468 | 28 044 684 | 9 815 639 | 667 463 | 447 201 | 226 938 |
| Paille d'avoine | 6403 | 342 | 2 189 826 | 1 313 896 | 13 138 956 | 4 598 635 | 312 707 | 209 514 | 106 320 |
| Foins | 145 099,38 | 145 | 21 039 410 | 12 623 646 | 126 236 461 | 44 182 761 | 3 004 428 | 2 012 967 | 1 021 505 |
| Paille de soya | 258 669 | 342 | 88 464 798 | 53 078 879 | 530 788 788 | 185 776 076 | 12 632 773 | 8 463 958 | 4 295 143 |
| Résidus de maïs (grain) | 510 506,27 | 301 | 153 662 387 | 92 197 432 | 921 974 324 | 322 691 013 | 21 942 989 | 14 701 803 | 7 460 616 |
| Paille d'orge | 23 653,62 | 342 | 8 089 538 | 4 853 723 | 48 537 228 | 16 988 030 | 1 155 186 | 773 975 | 392 763 |
| Total végétal | | | 284 588 740 | 170 753 244 | 1 707 532 439 | 597 636 354 | 40 639 272 | 27 228 312 | 13 817 352 |
| Bovins / vaches laitières | 1 466 096,56 | 51 | 74 770 925 | 44 862 555 | 448 625 547 | 157 018 941 | 10 677 288 | 7 153 783 | 3 630 278 |
| Porc | 227 923,8 | 29 | 6 609 790 | 3 965 874 | 39 658 741 | 13 880 559 | 943 878 | 632 398 | 320 919 |
| Moutons agneaux | 14 193,2 | 99 | 1 405 127 | 843 076 | 8 430 761 | 2 950 766 | 200 652 | 134 437 | 68 222 |
| Chevaux et poneys | 30 559,3 | 74 | 2 261 388 | 1 356 833 | 13 568 329 | 4 748 915 | 322 926 | 216 361 | 109 795 |
| Volailles | 29 564,6 | 87 | 2 572 120 | 1 543 272 | 15 432 721 | 5 401 452 | 367 299 | 246 090 | 124 882 |
| Total animal | 1 768 337,46 | | 87 619 350 | 52 571 610 | 525 716 100 | 184 000 635 | 12 512 043 | 8 383 069 | 4 254 095 |
| TOTAL | | | 372 208 090 | 223 324 854 | 2 233 248 539 | 781 636 989 | 53 151 315 | 35 611 381 | 18 071 447 |

²⁰ Fisher 2007, CRAAQ, 2008

Le prix de vente de l'électricité produite sur le réseau d'Hydro-Québec se situe entre 0,035 et 0,07 \$/kWh (Hydro-Québec, 2010). Si l'on considère une valeur moyenne du prix de l'électricité vendue par Hydro-Québec dans la région (0,068 \$/kWh), la vente d'électricité produite grâce à la méthanisation de la biomasse totale, sur le territoire de la fédération, en 2006, peut engendrer des revenus bruts de plus de 53 millions de dollars (tableau 21).

Toutefois, le prix de vente de l'électricité est nettement inférieur aux coûts de production par la méthanisation puisque le seuil de rentabilité serait de l'ordre de 0,13 à 0,22 \$/kWh (CRAAQ, 2008). La rentabilité de la filière électrique peut être plus intéressante si le prix de vente utilisé est celui fixé par Hydro-Québec lors de l'appel d'offres de 2009 pour la production d'énergie à partir de la biomasse, soit 0,112 \$/kWh (Hydro-Québec, 2009). En Ontario, le prix offert par Hydro-Ontario est plus élevé et varie entre 0,11 et 0,145 \$/kWh et le prix européen se situe entre 0,11 et 0,25 \$/kWh (CRAAQ, 2008).

Si l'énergie produite à partir de la méthanisation de la biomasse agricole est subventionnée, les producteurs peuvent vendre l'énergie produite plus chère et acheter de l'électricité à un coût moindre pour le fonctionnement de l'unité de méthanisation. En effet, la subvention accordée par Hydro-Québec permet l'achat d'électricité générée à partir la valorisation de la biomasse à un coût moyen de 0,112 \$/kWh alors que les entreprises agricoles achètent l'énergie électrique à un prix moyen de 0,68 \$/kWh. Une marge de profit de 0,056 \$/kWh sur les kWh consommés par les entreprises agricoles peut être envisagée (Hydro-Québec, 2009).

D'ailleurs, les récents programmes du gouvernement du Québec laissent entrevoir une lueur d'espoir en faveur des nouvelles sources d'énergie verte et de la production indépendante. L'adoption du projet de loi 52 et les développements en cours permettent de spéculer sur les revenus potentiels de la vente de l'électricité. En effet, le projet d'acquisition d'un premier bloc de 150 MW permet de croire à la réalisation des premiers projets permettant de vendre l'électricité produite au réseau de distribution (Bélanger, 2009).

Selon les résultats des recherches de Perron (2010), la cogénération offre des revenus potentiels relativement plus intéressants de 0,41 \$/m³, suivi de la production d'électricité à l'aide de piles à combustible (0,36 \$/m³), de la production d'énergie électrique à l'aide de turbines à gaz ou à vapeur (0,24 \$/m³), de la production thermique par combustion (0,22 \$/m³) et de la production de carburant (0,21 \$/m³).

Au-delà des revenus potentiels issus de la vente d'énergie thermique ou électrique, l'électricité ainsi produite peut être utilisée directement à la ferme à différentes fins : fonctionnement des équipements, ventilation des bâtiments, éclairage, séchage de céréales, de l'habitation, maintien du digesteur à bonne température, etc. Selon Laganière (2007), la répartition typique de l'utilisation de l'énergie contenue dans le biogaz est la suivante:

- Maintien de la température des digesteurs : 10 %
- Énergie transformée en électricité : 25 à 35 %
- Énergie transformée en énergie thermique : 40 à 45 %
- Perte d'énergie liée à l'efficacité des équipements : 15 à 25 %

L'électricité produite peut également être exportée vers des consommateurs externes (industries, réseaux de chaleur, etc.). Pour ce faire, l'emplacement de l'usine de biométhanisation et de cogénération doit se trouver à la fois près des gisements de biomasse, d'un réseau électrique et des utilisateurs de la chaleur résiduelle (Ricard, 2010; ADEME, 2009).

Afin de conserver un bilan énergétique positif (différence entre l'énergie produite et la somme de celle valorisée et celle consommée par le procédé), la majorité de l'énergie calorifique doit être valorisée afin d'atteindre une utilisation globale de 80 % du pouvoir énergétique du biogaz produit (NRCS, 2007; Frazier *et al.* 2006).

Par ailleurs, la chaleur produite par cogénération peut également être utilisée en lieu et place du mazout actuellement utilisé comme source de chaleur dans les chaudières. Le tableau 22 dresse les équivalences en mazout du méthane issu des résidus agricoles de la région de Saint-Jean-Valleyfield. La quantité totale de méthane susceptible d'être produite équivaut environ à 223 millions de litres de mazout, soient des revenus équivalents de plus de 214 millions de dollars à raison de 0,96 \$ le litre de mazout. Rappelons que ces revenus correspondent aux coûts évités à l'achat du mazout et à la substitution de celui-ci par une énergie renouvelable (électricité, chaleur ou gaz naturel) issue du biogaz.

Les scénarios I (66 %) et II (33 %) permettent non seulement de prendre en compte l'indisponibilité d'une portion des matières résiduelles, mais également d'envisager des aléas pouvant entraîner une réduction de la quantité de biomasses disponible. Dans le cas où les scénarios I et II s'appliqueraient, les revenus équivalents que l'on peut tirer en termes d'économie à l'achat du mazout sont chiffrés à plus de 140 millions et 70 millions de dollars respectivement.

Tableau 22: Équivalent en mazout

| Matières premières | Quantité totale de résidus (Tonne) | Volume de biogaz (m ³ /tonne de résidus) ²¹ | Volume total de biogaz (m ³) | Concentration en méthane 60 % | Équivalent en mazout | Prix 0,96 \$ | Scénario 1 | | Scénario 2 | |
|----------------------------|------------------------------------|---|--|-------------------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | | 1 m3 méthane = 1 litre de mazout | | (33 %) | Prix | (66 %) | Prix |
| Maïs-ensilage | 32 835,87 | 197 | 6 468 666 | 3 881 200 | 3 881 200 | 3 725 952 | 2 561 592 | 2 459 128 | 1 280 796 | 1 229 564 |
| Paille de blé | 13 667 | 342 | 4 674 114 | 2 804 468 | 2 804 468 | 2 692 289 | 1 850 949 | 1 776 911 | 925 474 | 888 455 |
| Paille d'avoine | 6403 | 342 | 2 189 826 | 1 313 896 | 1 313 896 | 1 261 340 | 867 171 | 832 485 | 433 586 | 416 242 |
| Foins | 145 099,38 | 145 | 21 039 410 | 12 623 646 | 12 623 646 | 12 118 700 | 8 331 606 | 7 998 342 | 4 165 803 | 3 999 171 |
| Paille de soya | 258 669 | 342 | 88 464 798 | 53 078 879 | 53 078 879 | 50 955 724 | 35 032 060 | 33 630 778 | 17 516 030 | 16 815 389 |
| Résidus de maïs (grain) | 510 506,27 | 301 | 153 662 387 | 92 197 432 | 92 197 432 | 88 509 535 | 60 850 305 | 58 416 293 | 30 425 153 | 29 208 146 |
| Paille d'orge | 23 653,62 | 342 | 8 089 538 | 4 853 723 | 4 853 723 | 4 659 574 | 3 203 457 | 3 075 319 | 1 601 729 | 1 537 659 |
| Total végétal | | | 284 588 740 | 170 753 244 | 170 753 244 | 163 923 114 | 112 697 141 | 108 189 255 | 56 348 571 | 54 094 628 |
| Bovins et vaches laitières | 1 466 096,56 | 51 | 74 770 925 | 44 862 555 | 44 862 555 | 43 068 053 | 29 609 286 | 28 424 915 | 14 804 643 | 14 212 457 |
| Porc | 227 923,8 | 29 | 6 609 790 | 3 965 874 | 3 965 874 | 3 807 239 | 2 617 477 | 2 512 778 | 1 308 738 | 1 256 389 |
| Moutons agneaux | 14 193,2 | 99 | 1 405 127 | 843 076 | 843 076 | 809 353 | 556 430 | 534 173 | 278 215 | 267 086 |
| Chevaux et poneys | 30 559,3 | 74 | 2 261 388 | 1 356 833 | 1 356 833 | 1 302 560 | 895 510 | 859 689 | 447 755 | 429 845 |
| Volailles | 29 564,6 | 87 | 2 572 120 | 1 543 272 | 1 543 272 | 1 481 541 | 1 018 560 | 977 817 | 509 280 | 488 909 |
| Total animal | 1 768 337,46 | | 87 619 350 | 52 571 610 | 52 571 610 | 50 468 746 | 34 697 263 | 33 309 372 | 17 348 631 | 16 654 686 |
| TOTAL | | | 372 208 090 | 223 324 854 | 223 324 854 | 214 391 860 | 147 394 404 | 141 498 627 | 73 697 202 | 70 749 314 |

²¹ Fisher 2007, CRAAQ, 2008

4.2.2 Équivalent en essence

Des multiples avenues que peut offrir la méthanisation de la biomasse agricole figure le biogaz carburant souvent appelé biométhane ou Gaz Naturel Véhicule (GNV). Ce carburant « propre » substituable aux carburants fossiles se compose d'au minimum 10 % de biogaz et de 90 % de gaz naturel (ADEME, 2009). Si l'on considère que la valeur énergétique d'un mètre cube de méthane correspond à 1,15 l d'essence, l'équivalent du méthane produit à partir des résidus agricoles est chiffré à plus de 256 millions de litres d'essences, soit plus de 1,6 million de barils de pétrole brut. En termes monétaires, une telle production de biométhane peut engendrer des revenus bruts de près de 295 millions de dollars, si le prix du litre de l'essence se maintient 1,15 \$ /litre (tableau 23). Dans ce cas, le revenu engendré par l'utilisation du biométhane serait considéré comme un coût évité à l'achat de l'essence et suppose une substitution de l'énergie fossile (essence) par l'énergie renouvelable (biométhane).

L'application des scénarios I et II autorise des revenus de près 200 millions et 100 millions respectivement. Le tiers de ces revenus provient de la biomasse d'origine végétale, dominée par les résidus de maïs-grain, qui peut produire à elle seule plus de 225 millions de dollars (tableau 23).

L'équivalence en carburant produite correspond à une consommation en essence de plus de 242 286 véhicules légers avec un moteur de 1,5 l soit près de 5 % de la flotte de véhicules de la province du Québec (4,3 millions) ou l'équivalent du nombre de véhicules immatriculés dans la ville de Québec²². Selon l'Office de l'efficacité énergétique de Ressources Naturelles Canada (RNC, 2005), un tel véhicule génère en moyenne 2289 kg de CO₂ par an²³. À une telle proportion, la quantité de CO₂ qui est potentiellement réduite grâce à la consommation de biométhane à partir de la biomasse

²² <http://www.oee.nrcan.gc.ca/Publications/statistiques/evc05/chapitre2.cfm?attr=0> le 14-03-2011

²³ Le véhicule le plus éconergétique est décerné par l'Office de l'efficacité énergétique de RnCan reconnaît, pour chaque année modèle, les constructeurs de véhicules légers neufs les plus éconergétiques de leur catégorie vendus au Canada. Les véhicules gagnants sont choisis en fonction d'un essai qui simule un parcours annuel de 20 000 kilomètres (55 % en ville et 45 % sur l'autoroute).

agricole est estimée à 585 984 t de CO₂. Le CO₂ émis lors de la combustion de biométhane correspond au CO₂ que la plante a capté lors de sa croissance. Le bilan du CO₂ est donc neutre (RNC, 2005, ADEME, 2009).

De plus, l'utilisation du biométhane comme carburant favorise non seulement la réduction des nuisances sonores de 50 % soit 6 dBa, d'odeur et de fumée noire à l'échappement, mais aussi de polluants toxiques : -70 % d'oxyde d'azote, -99 % des composés soufrés acides et -96 % de particules (Nielsen, 2004; ADEME, 2009). Donc, avec des émissions polluantes de 60 à 95 % moins élevées que le gazole, le biométhane s'impose comme une des technologies les plus respectueuses du climat. Toutefois, la présence d'une très grande variété de constituants dans le biogaz, dont certains, comme l'hydrogène sulfuré, possèdent des propriétés toxiques et corrosives impose une épuration poussée de celui-ci. Il est recommandé de procéder à la désulfuration du biogaz à l'aide de charbon actif, par lavage oxydatif du biogaz, des filtres moléculaires ou de façon biologique qui est la façon la plus répandue et la moins chère. Le choix du procédé dépend de la teneur initiale en soufre, l'utilisation finale du biogaz, ainsi que les exigences demandées par les utilisateurs (Perron, 2010; Ricard, 2010).

Tableau 23: Équivalent en essence

| Matières premières | Quantité totale de résidus (Tonne) | Volume de biogaz (m ³ /tonne de résidus) ²⁴ | Volume total de biogaz (m ³) | Concentration en méthane 60 % | Équivalent en essence 1 m ³ de méthane = 1,15 l d'essence | Prix 1,15 l d'essence = 1,15 \$ | Scénario I | | Scénario II | |
|---------------------------|------------------------------------|---|--|-------------------------------|---|------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | | | | (33 %) | Prix | (66 %) | Prix |
| Maïs-ensilage | 32 835,87 | 197 | 6 468 666 | 3 881 200 | 4 463 380 | 5 132 887 | 2 945 831 | 3 387 705 | 1 472 915 | 1 693 853 |
| Paille de blé | 13 667 | 342 | 4 674 114 | 2 804 468 | 3 225 138,2 | 3 708 909 | 2 128 591 | 2 447 880 | 1 064 296 | 1 223 940 |
| Paille d'avoine | 6403 | 342 | 2 189 826 | 1 313 896 | 1 510 980,4 | 1 737 627 | 997 247 | 1 146 834 | 498 624 | 573 417 |
| Foins | 145 099,38 | 145 | 21 039 410 | 12 623 646 | 14 517 192,9 | 16 694 772 | 9 581 347 | 11 018 549 | 4 790 674 | 5 509 275 |
| Paille de soya | 258 669 | 342 | 88 464 798 | 53 078 879 | 61 040 710,85 | 70 196 817 | 40 286 869 | 46 329 900 | 20 143 435 | 23 164 950 |
| Résidus de maïs (grain) | 510 506,27 | 301 | 153 662 387 | 92 197 432 | 106 027 046,8 | 121 931 104 | 69 977 851 | 80 474 529 | 34 988 925 | 40 237 264 |
| Paille d'orge | 23 653,62 | 342 | 8 089 538 | 4 853 723 | 5 581 781,45 | 6 419 049 | 3 683 976 | 4 236 572 | 1 841 988 | 2 118 286 |
| Total végétal | | | 284 588 740 | 170 753 244 | 196 366 230,6 | 225 821 165 | 129 601 712 | 149 041 969 | 64 800 856 | 74 520 985 |
| Bovins / vaches laitières | 1 466 096,56 | 51 | 74 770 925 | 44 862 555 | 51 591 938,25 | 59 330 729 | 34 050 679 | 39 158 281 | 17 025 340 | 19 579 141 |
| Porc | 227 923,8 | 29 | 6 609 790 | 3 965 874 | 4 560 755,1 | 5 244 868 | 3 010 098 | 3 461 613 | 1 505 049 | 1 730 807 |
| Moutons agneaux | 14 193,2 | 99 | 1 405 127 | 843 076 | 969 537,4 | 1 114 968 | 639 895 | 735 879 | 319 947 | 367 939 |
| Chevaux et poneys | 30 559,3 | 74 | 2 261 388 | 1 356 833 | 1 560 357,95 | 1 794 412 | 1 029 836 | 1 184 312 | 514 918 | 592 156 |
| Volailles | 29 564,6 | 87 | 2 572 120 | 1 543 272 | 1 774 762,8 | 2 040 977 | 1 171 343 | 1 347 045 | 585 672 | 673 522 |
| Total animal | 1 768 337,46 | | 87 619 350 | 52 571 610 | 60 457 351,5 | 69 525 954 | 39 901 852 | 45 887 130 | 19 950 926 | 22 943 565 |
| TOTAL | | | 372 208 090 | 223 324 854 | 256 823 582,1 | 295 347 119 | 169 503 564 | 194 929 099 | 84 751 782 | 97 464 549 |

²⁴ Fisher 2007, CRAAQ, 2008

4.2.3 Production de gaz naturel

Le biogaz produit à partir de la méthanisation de la biomasse agricole peut également être utilisé comme gaz naturel par injection dans un réseau de distribution de gaz naturel ou pour les voitures fonctionnant au gaz naturel (GNV). L'équivalent en gaz naturel qui peut être produit à partir de la biométhanisation de la biomasse agricole est évalué à un peu moins de 210 millions de m³, suivant les statistiques de 2006. La vente de ce gaz naturel dans le réseau de Gaz Métro peut générer des revenus de plus de 37.8 millions à raison de 0,18 \$ le mètre cube (tableau 24). Au cas où la totalité de la biomasse agricole n'est pas disponible à des fins de méthanisation, le scénario I et II permettent de prévoir la baisse de la quantité de biomasses liée soit au changement de production, soit aux normes agroenvironnementales à respecter ou aux aléas. Le scénario I qui prévoit la disponibilité de 2/3 de la biomasse agricole permet de dégager un peu moins de 25 millions de dollars alors que le scénario II qui fixe le prélèvement de la biomasse à 1/3 génère près de 12,5 millions de dollars (tableau 24).

Tableau 24: Équivalent en gaz naturel

| Matières premières | Quantité totale de résidus (Tonne) | Volume de biogaz (m ³ /tonne de résidus) ²⁵ | Volume total de biogaz (m ³) | Concentration en méthane 60 % | Équivalent en gaz naturel | Prix 0,18 \$ | Scénario I | | Scénario II | |
|----------------------------|------------------------------------|---|--|-------------------------------|--|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | | 1 m ³ méthane = 0,94 m ³ gaz naturel | | (33 %) | Prix | (66 %) | Prix |
| Maïs-ensilage | 32 835,87 | 197 | 6 468 666 | 3 881 200 | 3 648 328 | 656 699 | 2 407 896 | 433 421 | 1 203 948 | 216 711 |
| Paille de blé | 13 667 | 342 | 4 674 114 | 2 804 468 | 2 636 199,92 | 474 516 | 1 739 892 | 313 181 | 869 946 | 156 590 |
| Paille d'avoine | 6403 | 342 | 2 189 826 | 1 313 896 | 1 235 062,24 | 222 311 | 815 141 | 146 725 | 407 571 | 73 363 |
| Foins | 145 099,38 | 145 | 21 039 410 | 12 623 646 | 11 866 227,24 | 2 135 921 | 7 831 710 | 1 409 708 | 3 915 855 | 704 854 |
| Paille de soya | 258 669 | 342 | 88 464 798 | 53 078 879 | 49 894 146,26 | 8 980 946 | 32 930 137 | 5 927 425 | 16 465 068 | 2 963 712 |
| Résidus de maïs (grain) | 510 506,27 | 301 | 153 662 387 | 92 197 432 | 86 665 586,08 | 15 599 805 | 57 199 287 | 10 295 872 | 28 599 643 | 5 147 936 |
| Paille d'orge | 23 653,62 | 342 | 8 089 538 | 4 853 723 | 4 562 499,62 | 821 250 | 3 011 250 | 542 025 | 1 505 625 | 271 012 |
| Total végétal | | | 284 588 740 | 170 753 244 | 160 508 049,4 | 28 891 449 | 105 935 313 | 19 068 356 | 52 967 656 | 9 534 178 |
| Bovins et vaches laitières | 1 466 096,56 | 51 | 74 770 925 | 44 862 555 | 42 170 801,7 | 7 590 744 | 27 832 729 | 5 009 891 | 13 916 365 | 2 504 946 |
| Porc | 227 923,8 | 29 | 6 609 790 | 3 965 874 | 3 727 921,56 | 671 026 | 2 460 428 | 442 877 | 1 230 214 | 221 439 |
| Moutons agneaux | 14 193,2 | 99 | 1 405 127 | 843 076 | 792 491,44 | 142 648 | 523 044 | 94 148 | 261 522 | 47 074 |
| Chevaux et poneys | 30 559,3 | 74 | 2 261 388 | 1 356 833 | 1 275 423,02 | 229 576 | 841 779 | 151 520 | 420 890 | 75 760 |
| Volailles | 29 564,6 | 87 | 2 572 120 | 1 543 272 | 1 450 675,68 | 261 122 | 957 446 | 172 340 | 478 723 | 86 170 |
| Total animal | 1 768 337,46 | | 87 619 350 | 52 571 610 | 49 417 313,4 | 8 895 116 | 32 615 427 | 5 870 777 | 16 307 713 | 2 935 388 |
| TOTAL | | | 372 208 090 | 223 324 854 | 209 925 362,8 | 37 786 565 | 138 550 739 | 24 939 133 | 69 275 370 | 12 469 567 |

²⁵ Fisher 2007, CRAAQ, 2008

Par rapport à l'énergie initialement contenue dans le biogaz, le rendement en gaz naturel est évalué à près 85 % alors que la cogénération et la production de carburant affichent un rendement de 80 %. La production d'électricité sans récupération de la chaleur résiduelle a démontré des rendements moyens nettement inférieurs de 33 et 50 % (Perron, 2010; ADEME, 2009)

Toutefois, la proportion de méthane contenu dans le gaz naturel carburant doit être équivalente à celle du gaz naturel commercialisé (96 % et plus) afin d'assurer une valeur calorifique intéressante et ne pas atténuer les propriétés calorifiques du gaz dans le réseau de distribution (CRAAQ, 2008). Le gaz naturel distribué dans les réseaux nationaux contient environ 95 % de méthane, 4 % d'éthane et propane et 1 % de dioxyde de carbone (Gaz Métro, 2009).

De tels critères nécessitent au préalable une purification notamment par l'élimination du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau, ainsi que la désulfuration du biogaz. Ce procédé exige également la décarbonatation (qui consiste à enlever le dioxyde de carbone) du biogaz ainsi que l'élimination des organo-halogénés, des métaux lourds, des huiles et des poussières. Le biogaz ainsi traité a presque les mêmes propriétés que le gaz naturel. Donc, l'usage du biogaz comme carburant est le même que le gaz naturel (Truong, 2004; Ressources Naturelles Canada, 2009; Perron, 2010; ADEME, 2009).

Le gaz naturel peut également être utilisé comme carburant pour les véhicules. Dans ce cas, l'alimentation des véhicules en carburant peut se faire à partir du réseau Gaz Metro via des bornes ou des postes particuliers. À l'heure actuelle, le Québec ne possède qu'un seul poste situé à Boucherville alors que ses voisins de l'Ouest canadien en possèdent bien plus. La Colombie-Britannique est en tête avec 22 stations libre-service où il est possible de se procurer du gaz naturel, puis suivent l'Alberta (12), la Saskatchewan (7), l'Ontario (6) (CNGVA, 2005). D'ailleurs, selon différentes études, l'utilisation du gaz naturel ou du biogaz comme carburant pour les véhicules est avantageuse seulement pour les véhicules à usage intensif, tels que les camions de marchandise, les autobus et les

taxis. Une telle valorisation énergétique nécessite une production soutenue et en très grande quantité de gaz naturel.

Il faut toutefois noter que les critères de qualité du gaz naturel carburant sont souvent fixés par les fabricants de ces derniers ou par les gestionnaires des réseaux de distribution (Perron, 2010; CRAAQ, 2008).

L'utilisation de biogaz comme carburant ne nécessite pas des modifications mécaniques sur les véhicules qui utilisent déjà le gaz naturel. Les véhicules qui utilisent le biogaz sont donc les mêmes qui utilisent le gaz naturel (ADEME, 2009). Cette utilisation du gaz naturel comme carburant pour les véhicules est déjà pratiquée dans plusieurs États comme le Brésil, l'Inde, la Chine, l'Australie, la Californie, les États-Unis (Californie). Au Canada, le nombre de véhicules utilisant le gaz naturel comme carburant est d'environ 12 000 contrairement aux États-Unis où près de 110 000 véhicules fonctionnent au gaz naturel (Gaz Métro, 2009).

Afin d'encourager le développement de la filière gaz naturel carburant, Gaz Métro avait prévu la construction de deux unités de ravitaillement entre Toronto-Montréal. Les entreprises qui optent pour cette technologie ont droit à des avantages fiscaux (Gaz Métro, 2009). La transformation du biogaz en carburant pour les véhicules possède une efficacité d'environ 80 % (ADEME, 2009).

AUTRES BÉNÉFICES MARGINAUX

- Environnementaux

Selon plusieurs résultats de recherches, la méthanisation comporte plusieurs aspects bénéfiques pour l'environnement (Nielsen, 2004; CRAAQ, 2008; ADEME, 2009; Perron, 2010). D'après ces recherches, le processus de biométhanisation permet la limitation des émissions de gaz à effet de serre par leur séquestration dans les fosses de stockage ou digesteur. Le méthane, puissant gaz à effet de serre est recueilli au cours de la fermentation, puis brûlé. De plus, la substitution des énergies fossiles par le biogaz permet de réduire les rejets de N_2O et CH_4 qui ont lieu normalement lors de l'épandage des lisiers ou de l'utilisation d'engrais dont la fabrication et le transport sont également sources de gaz à effet de serre. Au total, la digestion anaérobie de la biomasse agricole et la valorisation du biogaz qui en découle permettent d'éviter l'émission de 1 100 g de CH_4 et 14 g de N_2O par tonne de lisier digérée sans compter les émissions évitées par le remplacement de combustibles fossiles (tableau 24, p.79) (Nielsen, 2004).

Donc la méthanisation des résidus agricoles, couplée à la valorisation optimale du biogaz et du digestat contribuent à réduire de 95 % à 100 % les émissions de GES liées à la décomposition de ces substrats comparativement aux techniques de disposition normalement utilisées (ADEME, 2003). D'ailleurs, il a été démontré au chapitre IV de la présente étude que, si tout le biogaz est utilisé en transport mobile, et ce selon les volumes bruts de biogaz produit dans la région, la méthanisation de la biomasse agricole dans la région de Saint-Jean-Valleyfield permettrait de préserver 585 984 t de CO_2 par année. De plus, la récupération des gaz, induite par le processus de méthanisation, empêche l'émission directe d'ammoniac, responsable des pluies acides et limite les rejets de particules dangereuses pour la santé tout en diminuant de plus de 80 % les oxydes d'azote qui menacent la couche d'ozone (Pouech, 2008). En ce sens, la méthanisation de la biomasse agricole dans la région de Saint-Jean-Valleyfield permet de réduire les émissions de ces gaz qui ont un rôle important dans la régulation du climat et ont un impact direct sur le réchauffement climatique.

Par ailleurs, les transformations biochimiques observées lors du processus de digestion anaérobique modifient le produit fermenté en un substrat moins polluant. Ce processus s'accompagne de l'élimination d'une part importante des germes pathogènes contenus dans les effluents agricoles (bactéries, virus et parasites) et la réduction des nuisances olfactives qui sont souvent à l'origine de tensions entre agriculteurs et autres citoyens. En effet, la méthanisation favorise la transformation des acides gras volatils principaux responsables des odeurs désagréables en biogaz.

À l'exception de l'occupation du territoire par de grands bâtiments, qui font déjà partie du décor agricole, il y a peu d'impacts négatifs sur l'environnement. En regard de tels avantages environnementaux, la méthanisation de la biomasse agricole dans la région de Saint-Jean-Valleyfield peut contribuer à améliorer l'acceptabilité sociale de la production agricole et surtout porcine dans la sous-région.

- **Agronomiques**

D'un point de vue agronomique, la mise en place d'un projet de digestion anaérobique des résidus agricoles dans la région de Saint-Jean-Valleyfield peut permettre de pallier à la problématique de gestion des déjections animales surtout dans les zones d'élevages intensifs qui se trouvent confrontés à un problème d'excédent. En Montérégie, le surplus de déjections animales fertilisantes est évalué à plus de 165 % (Bélanger, 2009). La valorisation du fumier par la méthanisation offre une nouvelle alternative à la gestion du fumier excédentaire par stockage aux champs. Rappelons qu'un mauvais stockage des déjections aux champs ou le surdosage de fumier aux plantes occasionne la pollution des sols, des eaux, et de l'air par l'azote, le phosphore et les métaux lourds. Ce phénomène est observé dans la plupart des cours d'eau de la région où les taux de phosphore et d'azote sont anormalement élevés (rivière Esturgeon, rivière Châteauguay).

D'abord, Massé *et al.* (2007) ont démontré que la digestion anaérobie du lisier a un impact positif sur la valeur fertilisante du lisier en améliorant le ratio N/P de l'effluent et, surtout, celui des fractions solides et liquides. Auparavant, les travaux de Pouech *et al.* (2005) portant sur la valorisation agricole de l'effluent de co-digestion ont démontré une plus-value significative sur le rendement aux grains des plantations de maïs arrosées avec

la fraction liquide du digestat (riche en azote) au stade 5-8 (stade de croissance foliaire) comparativement aux plantations témoins et celles arrosées avec du lisier brute suivant les mêmes conditions (Bélangier, 2009). En effet, la digestion anaérobique favorise la transformation de l'azote organique contenu dans les résidus agricoles en ammonium (NH_4) forme mieux assimilable par les plantes ainsi que la diminution de la capacité germinative des graines de mauvaises herbes présentes dans le substrat. L'azote est plus rapidement absorbé, ce qui réduit les risques de pertes par lessivage et les quantités des autres éléments nutritifs principaux, phosphore (P) et potassium (K), sont conservées. Selon les études de Massé *et al.* (2007), le ratio N/P du fumier passe de 3.9 à 5.2 pour l'ensemble de l'effluent et à 9.2 pour la fraction liquide surnageante. Cette transformation résulte d'une plus grande concentration du phosphore dans la fraction solide (62 % à 72 % du phosphore total). De plus, environ 25.5 % du phosphore se lie chimiquement à la surface de petites particules après la digestion (Field *et al.* 1984). Ce phosphore n'est alors plus disponible pour les plantes (Bélangier, 2009). La décomposition en anaérobique de la matière sèche volatile se traduit par la minéralisation accrue des éléments nutritifs ce qui améliore leur disponibilité pour les plantes tout en préservant la majorité de l'azote et du phosphore total (Massé *et al.*, 2007; Bélangier, 2009).

En réduisant la part de matières sèches du digestat, la méthanisation augmente la fluidité et l'homogénéité et rend plus régulier et facile le dosage de la fertilisation. Par conséquent, à travers un épandage contrôlé et adapté aux cultures, l'azote contenu dans le digestat est mieux utilisé par les plantes et l'exploitant peut envisager une utilisation moindre d'engrais minéraux et ainsi faire des économies d'intrants (ADEME, 2003). À cet égard, le digestat possède un potentiel de valorisation environnementale et économique ainsi que des qualités physiques, agronomiques et hygiéniques qui peuvent être très intéressantes pour la production agricole dans la région de Saint-Jean-Valleyfield. Donc, la production du biogaz par la méthanisation de la biomasse agricole sur le territoire de la fédération présente le triple avantage de fournir de l'énergie et des revenus, de la matière fertilisante pour l'agriculture à travers le digestat et de contribuer à l'effort du gouvernement du Québec à réduire les émissions de GES.

- Économiques

D'un point de vue économique, la méthanisation des résidus agricoles, dans la région de Saint-Jean-Valleyfield, comporte plusieurs avantages et peut contribuer à pallier les déficits budgétaires des entreprises agricoles de la région. En effet, la revente de l'énergie produite par l'unité de méthanisation dans des réseaux énergétiques de la région peut constituer une source de revenus importants pour les exploitations. Au-delà des revenus issus de la vente d'énergie, l'énergie obtenue par la production de biogaz (électricité, chaleur, gaz naturel) peut être valorisée dans les exploitations en remplacement d'autres sources d'énergie plus onéreuses. Une telle pratique favorise des économies d'énergie et les frais associés dans les exploitations.

De plus, la perception de redevances pour le traitement de déchets extérieurs en échange du traitement des résidus de production agricole peut également constituer une source de revenus supplémentaire. Par ailleurs, des revenus peuvent être tirés des économies d'engrais et de chauffage (chauffage des habitations, des bâtiments), de la vente de résidus agricole ou de visites de la structure de méthanisation. Cette diversification des revenus agricoles peut être un des facteurs de maintien des exploitations agricoles, actuellement menacées.

Il n'existe actuellement pas de marché pour le digestat. Toutefois, l'estimation de la valeur monétaire de celui-ci peut être établie à partir de sa composition nutritive, en comparant le tonnage de fertilisants chimiques qui pourrait être substitué (Bélanger, 2009). Parallèlement à la hausse des prix des énergies fossiles, les prix des fertilisants chimiques a grimpé. En effet, selon un article de Calvin Leung intitulé *Fertilizer Market : Watch it grow* (mai 2008), le prix du phosphate d'ammonium a plus que quadruplé depuis janvier 2007, s'établissant à environ 1 150 \$ la tonne (au port de la Nouvelle-Orléan). La valeur de la potasse a passé d'une fourchette de prix oscillant entre 172 \$ et 353 \$ la tonne à 325 \$ à 500 \$ la tonne au cours de cette même période. Sur la même lancée, le prix de l'urée a fait un bond de 700 \$ la tonne entre 1998 et 2008 (Bélanger, 2009). Cette hausse des prix de ces matières premières chimiques se traduit par une

hausse des produits fertilisants dérivés d'où l'importance de proposer aux producteurs une alternative plus économique et plus écologique : le digestat.

Une autre avenue de rentabilisation d'une unité de méthanisation peut être envisagée via les marchés du carbone, à condition qu'un protocole lié à la réalisation de projets « biogaz » figure dans leurs juridictions. En effet, la méthanisation du lisier et des matières organiques en milieu contrôlé conjuguée à la valorisation optimale du biogaz peuvent contribuer à réduire de 95 % à 100 % les émissions de GES liées à l'épandage et à la décomposition de ces substrats comparativement aux techniques de disposition normalement utilisées. En ce sens, si tout le biogaz est utilisé en transport mobile, la quantité de CO₂ équivalentes estimée à environ 585 984 t de CO₂ par année pourrait être échangée dans les différents marchés de carbone à moyen et long termes. Toutefois, l'immobilisme des gouvernements fédéraux canadien et américain qui tardent à imposer des plafonds d'émission fixes aux entreprises est actuellement un frein à l'essor du marché dans lequel peu de transactions ont eu lieu (Beauchamp, 2008; Bélanger, 2009). Devant une telle situation d'impasse, le seul marché prometteur actuel où les crédits de carbone pourraient être valorisés demeure le marché volontaire. En Amérique du Nord, le crédit de carbone vaut actuellement 3,85 \$. À ce prix, les revenus potentiels issus de la valorisation à partir des marchés du carbone sont évalués à environ 2 274 171 \$. Ces revenus pourraient être revus à la hausse étant donné que les projections du WCI laissent présager une hausse du prix du carbone qui devrait atteindre entre 18 \$ et 71 \$ la tonne. Au regard de ces avantages économique-environnementaux, la biométhanisation des matières résiduelles organiques constitue « une voie d'avenir payante » sur tous les aspects du développement durable.

- **Territoriaux**

Le développement et l'utilisation d'énergies renouvelables issus de la méthanisation de la biomasse agricole sur le territoire de la fédération ne répondent pas seulement à un enjeu environnemental, agronomique ou économique. En effet, l'apport de l'énergie produite à la diversification et à la sécurité d'approvisionnement en énergie ou en matières premières (digestat), les enjeux industriels qui s'y rattachent et la création d'emplois qu'elles

impliquent en font un facteur de développement durable central surtout dans un contexte de crise lié à la diminution du nombre d'agriculteurs et de coupures subventions gouvernementales. La création de nouveaux débouchés par les agriculteurs peut permettre non seulement de diversifier leurs revenus, mais également de nouer de nouveaux liens avec l'ensemble des autres acteurs sur le territoire de la fédération régionale.

De plus, la présence d'une unité de méthanisation sur le territoire de la Fédération de Saint-Jean-Valleyfield peut être un atout en terme d'image et d'identité (développement durable, énergies renouvelables), tant par son caractère innovateur que par ses aspects économiques, sociaux et environnementaux. Elle peut aussi avoir un impact sur l'attractivité des villes environnantes et leurs développements touristiques (visites touristiques ou scientifiques), mais peut également faciliter l'implantation et le développement de nouvelles entreprises utilisatrices d'énergies suivant les différentes avenues décrites plus haut (station de gaz naturel carburant).

Dans un autre registre, la valorisation de la biomasse locale ainsi que la production d'une énergie locale et renouvelable, favorise non seulement la réduction de l'usage des énergies fossiles dans la sous-région, mais permet aussi de développer l'autonomie énergétique locale. Au delà des économies financières et énergétiques, la méthanisation de la biomasse agricole dans la région peut permettre de maintenir des activités professionnelles existantes (revenus supplémentaires), en les confortant ou en créant des emplois directs et indirects sur le secteur (techniciens).

La réalisation de telles initiatives, par les producteurs agricoles de la région, favorise non seulement l'émergence d'un regard nouveau de leurs concitoyens, mais aussi d'une conscience environnementale accrue chez les producteurs et productrices agricoles en établissant un sentiment d'appartenance et un renforcement du sens de la responsabilité. Le traitement des déchets organiques, la réduction des nuisances olfactives liées à l'épandage de fumier, la production d'énergies renouvelables disponibles localement sont autant d'actions qui favorisent la cohabitation harmonieuse entre producteurs et autres acteurs du milieu.

DISCUSSION

Loin d'être une étude de faisabilité complète d'un projet de méthanisation, cette étude se veut être un premier élément de réflexion sur le potentiel de biomasse agricole utilisable dans une structure de méthanisation à l'échelle locale. En effet, plusieurs facteurs influencent la faisabilité ou non d'un projet de méthanisation, notamment les volumes et les propriétés de la biomasse, les technologies de transformation adaptées, les ressources humaines et financières, les besoins de la communauté et les retombées socioéconomiques et environnementales, sans oublier la volonté politique. Nous n'avons pas la prétention de porter une analyse poussée sur tous ces aspects techniques économiques et même politiques. Les résultats obtenus dans la présente étude restent une estimation théorique du volume de biomasse disponible à des fins de méthanisation sur le territoire de la Fédération de l'UPA Saint-Jean-Valleyfield. Par conséquent, ils doivent être interprétés en tenant compte:

- Premièrement, la quantité de biomasses estimée peut varier d'une année à l'autre selon la superficie cultivée, les secteurs de production animale ou végétale et les résidus associés. Les superficies cultivées varient selon le choix des producteurs agricoles qui suivent un calendrier fixe de rotation des cultures ou selon les tendances du marché ou bien encore selon les aléas climatiques. C'est le cas en cette année 2011 où le niveau d'humidité élevé du sol, dû à la récurrence des précipitations au cours du printemps, a retardé la date de semi et a poussé certains producteurs à opter pour le soya plutôt que pour le maïs dont le degré jours de croissance est relativement plus long. Pour une estimation plus précise de cette biomasse, il conviendrait d'effectuer une étude plus poussée basée notamment sur des enquêtes, des calculs de variations sur les rotations d'élevage, de cultures et des superficies associées.

- Deuxièmement, les données de cette présente étude sont basées sur le nombre d'animaux le 16 mai 2006, date de référence du recensement de l'agriculture de 2006. Ces données sont relativement anciennes ce qui pose le risque de cessation d'activités pour certaines exploitations entre l'année de recensement (2006) et l'année d'élaboration de cette étude (2010-2011). Le nombre de bétails recensé à cette date a servi à l'estimation de la production de fumier relative à l'année civile complète. Toutefois, certains cheptels ont peut être fluctué considérablement au cours de la même année. De plus, les adresses indiquées sur les données de recensement peuvent ne pas correspondre à la localisation exacte des superficies cultivées, des pâturages ou des étables qui abritent les animaux. Les lieux de résidences des producteurs peuvent différer des lieux d'exploitation et constituer une source d'erreur dans l'estimation des données agricoles selon chaque municipalité voire MRC. Il faut noter que les données sur le bétail, compilées par MRC, ne tiennent pas compte des caractères dynamiques des échanges qui peuvent se produire entre les différentes MRC de la région. En outre, malgré les soucis de précision et les efforts considérables pour recueillir l'information exacte, les données de recensement de l'agriculture sont susceptibles de comporter des erreurs liées le plus souvent au dénombrement incomplet, à la déclaration et à la saisie des données. Il importe donc de prendre en compte de tels écarts de précision dans l'estimation des données agricoles. Quoi qu'il en soit, les données de recensement sont généralement de très bonne qualité. Afin de réduire cette marge d'erreur, de compléter l'information manquante et valider celle existante, des entretiens ont été réalisés auprès des fermes de la Montérégie et des institutions gouvernementales (MAPAQ, AAC, Statistique Canada).

- Troisièmement, le rendement en biogaz et en méthane est non seulement spécifique à chaque substrat, mais doit aussi être évalué selon les conditions annexes prédominantes (fonctionnement de l'installation, température, temps de séjour) d'où, en partie, des différences considérables de rendements énergétiques pour les mêmes substrats. Le rendement énergétique peut également varier d'une année à une autre selon la composition chimique de la biomasse ou la teneur en

matières sèches vs matières organiques. Pour une estimation plus précise, il faudrait non seulement comptabiliser les résidus d'origine végétale et animale au moment de l'étude ainsi que les rendements associés, mais aussi procéder à des analyses d'échantillons de résidus en laboratoire.

- Quatrièmement, les estimations du potentiel économique n'incluent pas les frais d'études, d'installation, de fonctionnement et d'entretien de la structure de méthanisation. Le coût d'installation d'une unité de biométhanisation dépend principalement du rendement en biogaz, de l'effluent traité, de la taille de l'unité de méthanisation, mais aussi de l'installation ou non d'une unité de cogénération. Son fonctionnement entraîne aussi des coûts d'entretien des équipements ainsi que des coûts de main-d'œuvre (1 à 2 heures par jour). Le coût d'entretien d'une génératrice est évalué à environ 0.015 \$/kWh (CRAAQ, 2008). Le gain économique est l'élément principal qui attirera les investisseurs dans ces technologies, qui s'avèrent beaucoup plus complexes que les modèles classiques de productions énergétiques et de gestion des déchets comme compostage ou l'enfouissement.

Par ailleurs, certains auteurs (Jones *et al.*, 1980) ont déjà soulevé la question sur les inconvénients potentiels à considérer lors de l'élaboration de projet de digestion anaérobie. Ces inconvénients sont relatifs aux coûts d'investissement substantiels, à la nécessité d'une expertise technique et de gestion pour opérer le système et aux risques pour la santé et la sécurité engendrés par la manipulation et la présence de biogaz (Bélanger, 2010). De plus, le digestat présente donc une valeur fertilisante élevée mais son épandage peut présenter des risques importants de volatilisation de l'azote qu'il contient (sous forme d'ammoniac) d'où la nécessité d'utiliser des méthodes d'épandage appropriées (Pouech, 2008).

Au Québec, il n'existe pas de références techniques et économiques spécifiques à la production et à la valorisation d'énergies issues de la méthanisation de la biomasse agricole puisqu'il n'existe que deux petites unités de microproduction de biogaz à la ferme (ferme Péloquin et ferme St-Hilaire). Même s'il existe des expériences reconnues à l'étranger, les conditions techniques (gisement de matière), politiques (tarif de rachat de l'électricité) sont différentes et par conséquent, les références technico-économiques ne peuvent pas être importées directement dans le contexte québécois.

En dépit des avantages que peuvent engendrer la production et la consommation d'énergie renouvelable, le déterminant principal du développement de la production de biogaz agricole réside dans le prix de rachat de l'électricité produite. Le prix actuel de l'électricité ne favorise guère le développement de la filière biogaz à la ferme. Le défaut d'incitation, axé sur la valorisation énergétique du biogaz, rend nécessaire l'obtention de subventions pour que les projets biométhanisation, soient réalisables d'un point de vue économique. La mise en place de mécanisme d'incitatifs et de subventions à la production d'énergie verte est aujourd'hui un impératif ainsi qu'un gage de succès à la réussite d'un projet de méthanisation des résidus agricoles.

D'ailleurs, le *projet de politique québécoise de gestion des matières résiduelles*, annoncé en novembre 2009 et la mise en place du *Programme de traitement des matières organiques par biométhanisation et compostage* témoigne de la volonté du gouvernement du Québec à prendre le virage vers les énergies renouvelables. Ce nouveau programme, assorti d'un fonds de 650 M\$, permet d'encourager les initiatives de recyclage de la matière organique et de production d'énergie verte. Les objectifs sont de passer d'un taux de mise en valeur de la matière organique résiduelle de 12 % en 2008 à 60 % en 2015 et 100 % en 2020. Malheureusement, ce programme n'autorise pas l'incorporation de plus de 10 % des biosolides agricoles (MDDEP, 2010). C'est dans ce sillage que le MDDEP a élaboré des lignes directrices afin de mieux encadrer la mise en place de projet de biométhanisation (MDDEP, 2011).

RECOMMANDATIONS

En regard aux résultats de la présente étude, le succès d'un projet de méthanisation dans la région de Saint-Jean-Valleyfield nécessite des préalables non seulement en termes de garantie d'approvisionnement en résidus agricoles, mais également en fourniture et achat d'énergie. L'étude des projets de méthanisation dans les fermes Péloquin et St-Hilaire en Estrie ont permis de constater que la disponibilité des matières premières et la valorisation de l'énergie (chaleur et électricité) issue de la production de biogaz sont les deux principaux points critiques d'un projet de méthanisation de la biomasse agricole. En effet, la garantie d'une production d'énergie dépend de la fiabilité du gisement de matières organiques à traiter. Il faudra donc s'assurer de la continuité d'approvisionnement en matières organiques suffisantes pour faire fonctionner l'unité de méthanisation tout au long de l'année. La perte d'un gisement de matières organiques se concrétise immédiatement par une diminution de la production d'énergie et donc une baisse des revenus liés à la revente d'énergie produite.

La saisonnalité des substrats agricoles pouvant affecter l'alimentation du digesteur peut constituer un frein au développement de projet de méthanisation des résidus agricoles dans la région de Saint-Jean-Valleyfield. Afin d'assurer un approvisionnement continu en substrat méthanisable, d'augmenter la production de méthane et d'obtenir des redevances pour le traitement des matières, il serait intéressant d'étudier la possibilité d'intégrer les co-substrats issus des résidus d'industries bioalimentaires (carcasses animales, viscères), les matières résiduelles de table et les boues des municipalités environnantes dont le potentiel de méthanisation est élevé. Toutefois, l'intégration de ces substrats requiert l'inventaire des industries de la région, les quantités et les caractéristiques des matières disponibles. Les municipalités peuvent également y trouver l'opportunité de traiter et valoriser les boues de station d'épuration (Camacho et Prévot, 2008). Un tel élargissement des sources d'approvisionnement en matières organiques permet de garantir une alimentation continue en matière organique, un revenu supplémentaire, mais

aussi d'asseoir les bases d'un projet structurant entre les différentes composantes de la Montérégie Ouest.

D'ailleurs, les études de Zaher *et al.* (2007) ont démontré que la biométhanisation mixte, c'est-à-dire à la fois des matières organiques résiduelles municipales ainsi que des fumiers et lisiers permet de meilleurs rendements et une meilleure rentabilité. Les études sur les expériences en méthanisation des déjections animales ou des résidus végétaux séparément ont démontré de faibles retours sur l'investissement (de l'ordre de 10 ans) tant aux États-Unis qu'en Europe. Pour une meilleure rentabilité, ces études suggèrent d'ailleurs l'intégration de co-substrats permettant d'une part d'augmenter la production de biométhane par l'ajout de matières à haut potentiel de dégradation et d'autre part, d'obtenir une redevance pour le service de traitement de matières résiduelles organiques (ATEE, 2007; APESA, 2007; Raven & Gregersen, 2007; ADEME, 2010). De plus, il est possible d'inclure la production de biomasse à partir de cultures énergétiques telles que les saules, les graminées ou les oléagineux. Ces plantes seraient cultivées sur les terres marginales et les bandes riveraines non occupées par les activités agricoles conventionnelles.

Au-delà de la disponibilité des substrats, la réussite d'un tel projet nécessite aussi la maîtrise des procédés de récupération de cette biomasse sur les terres cultivées. En effet, les systèmes de collecte doivent être adaptés aux diverses sources d'approvisionnement et aux exigences des utilisateurs. De ce fait, le projet de production de biogaz dans la région de Saint-Jean-Valleyfield concerne aussi l'appropriation de méthodes adaptées de collecte d'empilage et de stockage de la biomasse.

Par ailleurs, l'accès aux substrats de base, à un réseau de transport et à un marché favorable à l'écoulement rentable de l'énergie et du digestat produits par l'unité de méthanisation constitue une condition gagnante pour la réussite d'un projet de méthanisation sur le territoire de la fédération. Lors de la planification du projet, il est essentiel de prévoir un approvisionnement suffisant en substrats tout en réduisant les distances de transport (Bélangier, 2009), d'où l'importance du choix de l'emplacement de l'unité de méthanisation. Afin de minimiser le transport des résidus ainsi que de l'énergie

produite sur de longues distances, l'unité de traitement doit se trouver à proximité des principaux gisements de résidus agricoles ainsi que des utilisateurs du biogaz ou produits dérivés. Les coûts de transport augmentent avec les distances d'approvisionnement et le tonnage (Frazier *et al.*, 2006; Ghafoori *et al.*, 2007; Raven & Gregersen, 2007). D'ailleurs dans l'étude de faisabilité de Frazier *et al.* (2006), le rayon d'approvisionnement de l'étude est de 32 km (20 miles) pour une centrale d'une capacité d'environ 138 000 t/an (Bélangier, 2010).

D'après les résultats obtenus sur la quantité de biomasse générée à l'échelle de chaque MRC, les plus importants gisements de résidus agricoles méthanisables se trouvent dans la MRC du Haut-Richelieu et du Haut-Saint-Laurent suivi de Beauharnois-Salaberry et des Jardins-de-Napierville. Par conséquent, l'unité de méthanisation peut être localisée à une distance intermédiaire après pondération des quantités de résidus disponibles dans chaque MRC. De plus, les pollutions olfactives que peuvent engendrer des déficiences opérationnelles de l'unité de méthanisation sont à prendre en compte au moment de la planification de l'emplacement de l'usine de biométhanisation. Quoi qu'il en soit, la localisation de l'unité de méthanisation doit être déterminée par l'étude de faisabilité dudit projet. Celle-ci doit inclure entre autres; la quantité de résidus disponibles, la localisation du projet, la capacité de l'unité de méthanisation, le choix de la technologie de méthanisation, les opportunités du marché (digestat et énergie), et la contribution des parties prenantes.

Étant donné que la distance de transport jusqu'à la structure de méthanisation est un des facteurs qui peuvent affecter la rentabilité économique et environnementale du projet, il est préférable de maximiser la charge utile en fragmentant ou en compactant les résidus de faible valeur énergétique et de faible densité. Une autre option serait de mettre en place plusieurs unités de méthanisation (2 ou 3) dans les secteurs les plus productifs de biomasse (Haut-Richelieu, Haut-Saint-Laurent, Beauharnois-Salaberry, Des Jardins-de-Napierville).

Par ailleurs, la rentabilité économique du projet de méthanisation dans la région de Saint-Jean-Valleyfield dépendra entre autres des prix offerts pour la vente de l'énergie

produite. Il s'avère donc primordial de mettre en œuvre un programme de rachat d'énergie autant pour l'électricité produite que pour le gaz naturel ou le carburant afin de rentabiliser la production et de viabiliser le secteur énergétique renouvelable. Hydro-Québec a d'ailleurs fait quelques avancées à ce sujet d'abord via les plans d'intégration de l'énergie verte dans leur portefeuille énergétique et ensuite en procédant à un appel d'offre de rachat d'électricité produite à partir de sources renouvelables (Hydro-Québec, 2009). Sans une volonté politique axée sur la valorisation et la promotion des énergies vertes issues de la biomasse agricole notamment par la rentabilité de l'énergie produite et la valorisation de la valeur fertilisante du digestat, un projet de méthanisation à l'échelle de la région de Saint-Jean-Valleyfield ne peut atteindre un équilibre financier viable. D'ailleurs, la mise en œuvre d'un projet de méthanisation sur le territoire de la fédération et notamment l'accès aux marchés de vente de l'énergie produite, des biosolides et des crédits de carbone nécessitent l'implication du secteur public (gouvernements, municipalité) et du secteur privé (Hydro-Québec, Gaz-Métro).

Le choix de la production électrique comme mode de valorisation du biogaz n'est peut-être pas le plus économiquement profitable et viable dans le contexte du marché québécois. Même si le prix de rachat de l'électricité issue du biogaz au Québec a été revu à la hausse (0,11 \$/kWh), lors de l'appel d'offres d'Hydro-Québec en 2009, la rentabilité d'une installation de méthanisation n'est pas garantie. Le contexte particulier du Québec, avec une production électrique axée sur l'hydroélectricité, fait en sorte qu'il est important de statuer sur les usages les plus efficaces du biogaz et les types d'énergie à substituer qui génèrent les meilleurs gains économiques et environnementaux (Perron, 2010). La production hydroélectrique au Québec ne favorise pas l'implantation d'unité de méthanisation à des fins de production électrique. L'hydroélectricité est elle-même une énergie renouvelable, jusqu'à une certaine limite, avec des taux d'émission de GES presque nuls si l'on considère tout le processus de mise en place et de fonctionnement des barrages hydroélectriques.

Donc, la valorisation du biogaz produit par l'unité de méthanisation doit être orientée vers la réduction de l'usage des énergies non renouvelables (gaz naturel, pétrole, essence,

mazout...) qui ont un impact négatif majeur sur l'environnement et non le remplacement d'une énergie renouvelable par une autre. Toutefois, une complémentarité des deux peut être envisagée, le tout à la satisfaction des besoins énergétiques et dans un souci de développement durable. De telles initiatives requièrent une bonne volonté politique ainsi qu'une adaptation des programmes de financement et d'encadrement technique.

D'autres options de marché de valorisation biogaz doivent être envisagées. Une des avenues énergétiques les plus prometteuses est la production de gaz naturel carburant en remplacement des énergies fossiles ou comme carburant pour des flottes de transport. De tels projets, d'ailleurs déjà réalisés dans d'autres pays, impliquent des investissements au niveau des infrastructures spécialisées et nécessitent évidemment une étude de marché au préalable.

Le choix entre les diverses possibilités de mise en valeur de la biomasse dépend de nombreux critères technico-économiques, dans lesquels l'expertise technique, la nature des substrats, la localisation du site de production et la valorisation énergétique sont déterminantes. À l'heure actuelle, l'analyse des revenus potentiels est insuffisante pour déterminer de façon claire, la rentabilité économique d'une unité de méthanisation dans la région de Saint-Jean-Valleyfield, puisque les coûts liés aux équipements, infrastructures et à l'exploitation ne sont pas connus. Il serait donc intéressant d'approfondir l'analyse économique et technique à cet égard afin de déterminer les coûts d'implantation et la complexité des différents usages du biogaz présentés dans cette étude. Pour une évaluation plus complète de cette rentabilité, il s'avère nécessaire de quantifier les besoins énergétiques, les frais d'installation de la structure de méthanisation, les coûts de production et de maintenance, ainsi qu'un bilan environnemental complet. De telles évaluations nécessitent des études à une échelle plus fine du potentiel énergétique des résidus agricoles via des analyses au laboratoire et une évaluation précise des coûts de production, ce qui est loin d'être l'objectif de la présente étude. Nonobstant ces incertitudes et ces insuffisances, les résultats de cette étude constituent des indicateurs clés sur la faisabilité ou non d'un projet de méthanisation dans la région de Saint-Jean-Valleyfield.

CONCLUSION

La présente étude apporte un éclairage sur les quantités de résidus agricoles disponibles et le potentiel énergétique associé dans la région de Saint-Jean-Valleyfield. L'étude comprend quatre principaux chapitres :

- Un premier chapitre qui dresse le portrait agricole de la région en faisant ressortir les principaux secteurs de production végétale et animale. L'analyse de la répartition spatiale des activités agricoles a permis d'identifier les gisements potentiels de biomasse agricole à des fins de méthanisation.
- Un deuxième chapitre fait état de la quantité potentielle de résidus agricoles d'origine végétale et animale produite dans la région de Saint-Jean-Valleyfield. La quantification de cette biomasse à l'échelle de chaque MRC a permis de définir les zones ainsi que les secteurs d'activité agricole les plus contributifs à la biomasse méthanisable.
- Un troisième chapitre propose une estimation du potentiel de production de biogaz à partir des résidus issus des activités agricoles dans la région. Pour chaque secteur agricole considéré, le rendement énergétique des résidus associés est estimé. Cette section permet également de définir les gisements potentiels de production de biogaz sur le territoire de la Fédération régionale de Saint-Jean-Valleyfield.
- Un quatrième chapitre évalue les revenus potentiels de la valorisation énergétique du biogaz notamment par la production de chaleur et d'électricité, de mazout, de gaz naturel, de carburant en remplacement de l'essence... Cette analyse économique a permis de cibler les secteurs énergétiques les plus rentables pour une structure de méthanisation dans le contexte québécois en général et Montérégien en particulier.

La quantité totale de paille produite par les principales cultures considérées dans cette étude s'élève à près de 1 million de tonnes (990 834 t) dont 60 % proviennent de la production de maïs-grain et 20 % du soya. Si la quantité de paille nécessaire aux respects des pratiques agroenvironnementales est fixée à 33 % (1/3) et 66 % (2/3), les quantités de paille mobilisables sont estimées à un peu moins de 663 858 t et 326 975 t respectivement. D'un point de vue géographique, la production de paille est nettement dominée par la MRC du Haut-Richelieu qui fournit près du 25 % de la quantité totale de paille, suivi des MRC du Haut-Saint-Laurent et de Vaudreuil-Soulanges qui contribuent à hauteur de 16 et 15 % respectivement.

La biomasse d'origine animale méthanisable est estimée à plus de 1 768 000 t en 2006 avec une nette domination des secteurs bovin et porcin qui fournissent respectivement 65 % et 32 % de la quantité totale de biomasse d'origine animale. Les MRC du Haut-Richelieu et du Haut-Saint-Laurent sont les principaux gisements de biomasse d'origine animale avec un total respectif de plus 600 000 t et 400 000 t en 2006.

Le potentiel méthanogène des pailles de céréales est relativement plus élevé que celui des déjections animales. Le biogaz d'origine végétale estimé à environ 285 millions de m³ par an (2006) provient majoritairement des résidus de maïs (grain) et de soya qui totalisent une contribution de plus de 85 % du volume total de biogaz d'origine végétale. Le volume total de biogaz potentiellement exploitable à partir des résidus d'élevage est estimé à plus de 88 millions m³ par an dont les plus importants gisements sont localisés dans la MRC du Haut-Richelieu, du Haut-Saint-Laurent et de Beauharnois-Salaberry avec respectivement 29 millions, 21 millions, 10 millions de m³ de biogaz par an. Les déjections animales issues de la production bovine et porcine présentent les plus faibles potentiels méthanogènes des résidus biométhanisables considérés dans cette étude, mais enregistrent les plus importantes quantités de biogaz en production animale.

Les résultats ainsi obtenus démontrent que la production de biogaz est fonction du type de matière organique introduite dans le digesteur. Plus les substrats sont riches en matières sèches et en matières organiques, plus la quantité de biogaz produite est importante. Les résidus de céréales ont un fort potentiel puisque leur production de

biogaz peut atteindre 360 m³ par tonne de matière brute. A contrario, le lisier et le fumier, ayant subi une première digestion, ont logiquement un pouvoir méthanogène moins élevé que les résidus de céréales (Jones *et al.*, 1980, Balsam et Ryan, 2006). Ils sont toutefois indispensables au processus de méthanisation puisqu'ils contiennent les bactéries à l'origine de la dégradation de la matière organique en biogaz (ASEA, 2003).

La charge énergétique totale (énergie brute) des résidus du secteur végétal est évaluée à plus de 1,707 TWh. Alors que les quantités de fumier potentiellement disponibles peuvent permettre de produire plus de 525 GWh d'énergie brute (électricité nette et chaleur). Au total, le potentiel énergétique brut que l'on peut tirer de la méthanisation autant de la biomasse d'origine végétale que de la biomasse d'origine animale se chiffre à plus de 2,233 TWh dont 76 % du secteur végétal et 24 % du secteur animal. L'application des scénarios susmentionnés conduirait à une disponibilité énergétique de près de 1,261 TWh (scénario I) vs 0,640 TWh (scénario II). Donc dans tous les cas, l'énergie produite est évaluée à plus de 600 GWh.

Le biogaz produit par la méthanisation de la biomasse peut être valorisé en électricité, chaleur, gaz naturel ou gaz naturel carburant en remplacement des énergies fossiles. La vente d'électricité produite peut engendrer des revenus bruts de plus de 53 millions de dollars (0,068 \$/kWh) alors que l'injection du gaz naturel dans le réseau de Gaz Métro peut générer des revenus de plus de 37 millions à raison de 0,18 \$ le mètre cube. Par contre, la quantité totale de méthane susceptible d'être produite équivaut environ à 223 millions de litres de mazout, soient des revenus équivalents de plus de 214 millions de dollars (0,96 \$/l). La rentabilité économique la plus importante est offerte par la substitution de l'essence par le Gaz Naturel Carburant. En effet, l'équivalent du méthane produit à partir des résidus agricoles est chiffré à plus de 256 millions de litres d'essences. Cela équivaut à des revenus bruts de près de 300 millions de dollars, si le prix du litre de l'essence se maintient 1,15 \$ /litre.

Au vu de ces résultats, la digestion anaérobie constitue un mode de valorisation des résidus agricoles très prometteur. Contrairement au compostage, la biométhanisation de la biomasse agricole recèle une valeur ajoutée liée surtout à la valorisation du biogaz

produit. En effet, l'utilisation du biogaz est non seulement une alternative de taille face à l'épuisement des ressources naturelles fossiles, mais contribue aussi à la diversification des revenus des producteurs dans un contexte de production et de financement agricole de plus en plus difficile (mesures d'efficacité de 25 %, ASRA). La transformation des matières organiques résiduelles en biogaz permet également de répondre à la problématique de gestion de ces matières. D'autres avenues telles que la production d'hydrogène, la pile à combustible ainsi que la production de froid par absorption sont au stade de la recherche et développement.

Cette rentabilité économique ne prend pas en compte les subventions qu'il est possible d'obtenir par les différents programmes existants. En effet, les sommes attribuables dans le cadre des programmes de subventions varient d'un projet à l'autre et qu'il est difficile de prévoir la somme qui serait obtenue. Dans tous les cas et dans une optique de développement durable, la rentabilité économique devrait être exempte de toute subvention. En d'autres termes, la viabilité économique du projet ne doit pas dépendre des subventions, étant donné surtout leurs instabilités liées aux orientations politiques et aux modifications des programmes de subvention au gré du gouvernement en place.

Au-delà de la rentabilité économique et des bénéfices marginaux liés à la valorisation de la biomasse agricole par la production d'énergies renouvelables, la faisabilité et la réussite d'un projet de méthanisation requiert, la volonté et l'implication des producteurs de la région. Donc, avant la mise en place de la structure de méthanisation, il faudra s'assurer que les producteurs, principaux pourvoyeurs de matières premières, sont enclins à rendre disponibles des résidus agricoles, mais aussi à épandre le digestat. Pour ce faire, des études poussées sur le niveau d'implication de producteurs doivent être réalisées au préalable. Dans la littérature, plusieurs facteurs sont souvent évoqués pour optimiser la localisation d'une unité collective de méthanisation parmi lesquels : l'approvisionnement et le transport des substrats, l'implication des producteurs par la fourniture de résidus agricoles, l'intérêt des producteurs à investir dans un projet de méthanisation et à utiliser l'énergie produite et la disponibilité d'un espace voué à cette fin (Frazier *et al.* 2006; EPA 2007; Bélanger, 2010).

Afin d'éviter toute rupture d'approvisionnement en matières organiques et de pallier à la saisonnalité des résidus agricoles, l'intégration des co-substrats d'origine agroalimentaire ou municipale doit être étudiée. Des partenariats ainsi que des contrats d'approvisionnements devront être établis avec les différents partenaires municipaux et industriels (agroalimentaire). Par ailleurs, les questions relatives à la logistique, au transport et à l'entreposage des substrats doivent être analysées et maîtrisées avant l'installation de l'unité de méthanisation. Enfin, le choix de l'emplacement de cette dernière doit se faire en tenant compte des gisements de biomasse les plus importants.

Même si la majeure partie de la biomasse est produite dans Haut-Richelieu et dans le Haut-Saint-Laurent, l'intégration des autres sources de matières organiques (municipales et agro-industrielles) peut ne pas correspondre au schéma de production de biomasse agricole décrite dans la présente étude. Il serait donc opportun de définir le ou les sites d'installation des unités en considérant toutes les sources d'approvisionnement en matières résiduelles méthanisables.

Enfin, un tel projet permet de dégager une synergie d'action entre plusieurs secteurs d'activités : agriculture, industrie et recherche pour explorer les nouveaux usages énergétiques de la biomasse en Montérégie. Dans cette optique, l'aboutissement de ce projet peut constituer également un élément structurant du territoire, par le co-traitement de déchets organiques provenant de l'industrie (agroalimentaire) ou des collectivités (boues de stations d'épuration, déchets verts), mais aussi par son caractère collectif pouvant associer agriculteurs et collectivités.

RÉFÉRENCES

- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) (2003). *Étude sur les gisements de déchets et sous-produits organiques en région Champagne-Ardenne Synthèse*, Biomasse Normandie, Awiplan SARL, Chambre d'Agriculture Régionale de Champagne-Ardenne, Conseil Régional Champagne-Ardenne, 24p.
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), (2009). Méthanisation agricole et utilisation de cultures énergétiques en codigestion Avantages/inconvénients et optimisation. Rapport final, 130 p.
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), (2010). Expertise de la rentabilité des projets de méthanisation rurale. Rapport final, Ministère de l'agriculture et de la pêche. 130 p.
- Amarante J. A. L., (2010). Biométhanisation des déchets putrescibles municipaux - Technologies disponibles et enjeux pour le Québec. Centre Universitaire de Formation en Environnement (M.Env.), Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 99 p.
- American Society of Agricultural Engineers (ASAE), (2003). Manure production & characteristics standard. *ASAE*, 384.1 FEB03, 4 p.
- Association Pour l'Environnement et la Sécurité Aquitaine (APESA), (2007). *Méthanisation et production de biogaz ; Etat de l'art*. s.l. : s.n., 2007, 1, 37 p.
- Association technique énergie et environnement (ATEE), (2007). *Données de base pour les méthaniseurs à la ferme en Allemagne*. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe a. V. (FNR). 2005. Traduit en 2007 par le Club Biogaz de l'ATEE. [En ligne] www.biogaz.atee.fr/news/get_file.php3/id/106/file/Donn%20E9es_base_biogazv3.pdf. (Page consultée le 9 décembre 2010).
- Association technique énergie et environnement (ATEE), (2007). «La méthanisation des matières organiques». *Site de l'ATEE*, [En ligne]. http://www.biogaz.atee.info/news/fullstory.php/aid/24/La_m%20E9thanisation_des_mati%20E8res_organiques.html (Page consultée le 8 mars 2011).
- Balsam, J. and Ryan, D. (2006). *Anaerobic Digestion of Animal Wastes: Factors to Consider*. NCAT Energy Specialist, ATTRA publication n°IP219, 14 p.
- Bélangier, F. (2009). Étude de faisabilité technico-économique et socio-politique d'un projet régional de méthanisation de lisier de porc en co-digestion. Centre Universitaire de Formation en Environnement (M.Env.), Université de Sherbrooke, Montréal, 136 p.
- Brodeur, C. (2008). Efficacité énergétique et production d'énergie renouvelable : des moyens d'action pour faire face au nouveau contexte énergétique. Groupe AGÉCO. [En ligne]. http://www.agrireseau.qc.ca/pdt/documents/Brodeur_Catherine.pdf (Page consultée le 8 décembre 2010).

- Camacho, P. et Prévot, C. (2008). Méthanisation des boues. In Moletta, R., *La méthanisation* (chap. 9, p. 205-233). Paris, Éditions Tec & Doc.
- Camirand, E. (2007). « Principes du biogaz », présentation dans le cadre de la *Journée sur la méthanisation des engrais de ferme*, 24p.
- Canadian Natural Gas Vehicle Alliance (CNGVA), (2005). Where to refuel. [En ligne] <http://www.cngva.org/wheretorefuel.htm> (Page consultée le 11 août 2010).
- CCE (Commission des communautés Européennes), (2006). Livre vert. Une stratégie européenne pour une énergie sûre, compétitive et durable Bruxelles, 105 p.
- Centre d'expertise sur les produits agroforestiers (CEPAF), (2007). La production de biocarburants dans les milieux ruraux du Québec. Ministère des Affaires municipales et des Régions (MAMR), Gouvernement du Québec. 146 p.
- Centre de recherche en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) (2003). Guide de référence en fertilisation – 1ère édition. Québec.
- Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), (2000). Guides des pratiques de conservation en grandes cultures. [En ligne] <http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Le%20semis%20direct.pdf>.
- Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), (2008). *La biométhanisation à la ferme*. Publication n° EVC 033, 18 p. [En ligne] <http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EVC033.pdf> (Page consultée le 11 août 2010).
- Chen, Y, Cheng J., J. and Creamer S., K. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*, vol. 99, p. 4044-4064.
- Cresson, R. (2006). Étude du démarrage de procédés intensifs de méthanisation. Impact des conditions hydrodynamiques et de la stratégie de montée en charge sur la formation et l'activité du biofilm. Thèse, Université Montpellier II. [En ligne] http://www.inra.fr/ea/fichier_these/These-RCresson.pdf. (Page consultée le 3 novembre 2010).
- ÉcoRessources (2008). Étude quantitative et qualitative du potentiel de production de biomasse et de biocarburants sur les fermes de la Mauricie. *Rapport final*, Fédération régionale de l'UPA Mauricie. 120 p.
- Électrigaz, (2008). «Acceuil, Projet». In Électrigaz. Site d'électrigaz. [En ligne] http://www.electrigaz.com/projet_fr.htm (Page consultée le 3 mars 2011).
- Environnement Canada, (2010) - Inventaire canadien des gaz à effet de serre, Division des gaz à effet de serre Environnement Canada 1990-2008. 250 p. [En ligne] <http://www.ec.gc.ca/Publications/default.asp?lang=Fr&xml=492D914C-2EAB-47AB-A045-C62B2CDACC29> (Page consultée le 7 décembre 2011).
- Eriksson, O., Carlsson Reich, M., Frostell, B., Björklund, A., Assefa, G., Sundqvist, J.-O., Granath, J., Baky, A. and Thyselius, L., (2005). Municipal solid waste

management from a system perspective. *Journal of Cleaner Production*, vol. 13, p. 241-252.

Fédération des Producteurs de Bovins du Québec, (FPBQ) (2011). Portrait global. [En ligne] http://www.bovin.qc.ca/fr/la_production_bovine_quebecoise/portrait_global/coup_doeil.php

Fondation Polaire Internationale (FPI) (2003). Les énergies fossiles et renouvelables. Ministère des Transports, de la Mobilité et de l'Énergie de la Région Wallonne (Belgique) Genève (Suisse), 20 p.

Frazier, Barnes & Associated (2006). *Feasibility Study - West Michigan Regional Liquid Livestock Manure Processing Center*. Study report, préparé pour le West Michigan Livestock Producer, Memphis, Tennessee, États-Unis, 104 p.

Gaz Métro (2009). Tout sur le gaz naturel - Le gaz naturel – L'ABC. [En ligne]. <http://www.toutsurlegaznaturel.com/abc.html> (page consultée le 5 avril 2010).

Gaz Métro, (2011). Tarifs et prix du gaz naturel, mise à jour avril 2011. [En ligne] http://www.corporatif.gazmetro.com/data/media/ficheinfo_tarifsprix_avril2011.pdf?culture=fr-ca (page consultée le 9 août 2010).

Ghafoori, E., Flynn, P. C. and Feddes, J. J. (2007). Pipeline vs. truck transport of beef cattle manure. *Biomass and Bioenergy*, vol. 31, p. 168-175.

Ghaly, A.E., Bulley N.R. and Hodgkinson D. (1988). Manure characteristics, Canadian Society of Agricultural Engineers, Annual Conference, Calgary, Alberta. Paper no. 88-102.

Godon, J.-J. (2008). Aspects biochimiques et microbiologiques de la méthanisation. In Moletta, R., *La méthanisation* (chap. 3, p. 61-85). Paris, Éditions Tec & Doc.

Görish, U. et Helm, M. (2008). *La production de Biogaz*. Paris, Les Éditions Eugen Ulmer, 120 p.

Gregersen, KH. (1999). *Centralized Biogas Plant Integrated Energy Production, Waste Treatment and Nutrient Redistribution Facilities*. Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics, Danemark, 32 p.

Hofmann N. et Beaulieu M. S., 2006 - Profil géographique de la production de fumier au Canada, 2001 Ministère de l'Industrie, 2006 n° 21-601-MIF au catalogue ISSN 1707-0376 ISBN 0-662-71014-2. Périodicité : hors série Ottawa

Hydro-Québec (2009). Appel d'offres pour l'achat d'énergie produite par cogénération à la biomasse. [En ligne] <http://www.hydroquebec.com/distribution/fr/marchequbécois/pae-200901/index.html> (Page consultée le 8 avril 2010).

Hydro-Québec (2011). Tarifs et factures. In *Hydro-Québec*, [En ligne]. <http://www.hydroquebec.com/publications/fr/tarifs/index.html> (Page consultée le 6 avril 2011).

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), (2007). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the

- Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p.
- Jones, D.D., Nye, J.C. and Dale, A.C., (1980). *Methane generation from livestock waste*. Publication #AE-105, Purdue University Cooperative Extension Service, West Lafayette, Indiana, 15 p.
- Laganière, G. (2007). *Traitement anaérobie : développement durable. Production de biogaz à la ferme : le Québec a-t-il ce qu'il faut?* Journée sur la méthanisation des engrais de ferme. Sainte-Julie, Québec.
- Laverdière, M.R., et S. Thibaudeau. 1990. Pratiques culturales pour conserver le sol. Pages 117-139 dans Conservation des sols argileux et sablonneux. 15^e Colloque de Génie rural.
- Financière agricole du Québec (2008). *Coût de production, revenu stabilisé et caractéristiques technique : Maïs-grain*. Consulté 21 octobre 2008. Disponible en ligne : <http://www.fadq.qc.ca/index.php?id=1055>
- Lease N. et Théberge L., (2005). Le secteur agricole au Québec : une source d'énergie pour l'avenir. Direction de l'environnement et du développement durable, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. FrancVert, Vol. 2, 1.
- Massé, D. I., Croteau, F. and Masse, L. (2007). The fate of crop nutrients during digestion of swine manure in psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors. *Bioresource Tehcnology*, vol. 98, p. 2819-2823.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2008). Bilan 2007 de la valorisation des matières résiduelles fertilisantes. Gouvernement du Québec. Air. [En ligne] http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/fertilisantes/Bilan2007.pdf (Page consultée le 12 novembre 2010).
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2010). Programme de traitement des matières organiques par biométhanisation et compostage. Gouvernement du Québec. Matières résiduelles. [Enligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/programmes/biomethanisation/index.htm> (Page consultée le 30 mars 2011).
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère (2010). Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2008 et leur évolution depuis 1990. Québec, ISBN 978-2-550-60619-2 (PDF), 18 p.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, (MDDEP), (2011). Lignes directrices pour l'encadrement des activités de biométhanisation, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction des matières résiduelles et des lieux contaminés, ISBN 978-2-550-62016-7, 57 pages.

- Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durable (MÉDAD) / Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (MAP), République Française (2008). Évaluation des conditions de développement d'une filière de méthanisation « à la ferme » des effluents d'élevage. Rapport, Février 2008, 67 p.
- Moletta R. (1993). *La digestion anaérobie : du plus petit au plus grand*. Biofutur
- Moletta, R. et Verstraete, W. (2008). La méthanisation dans la problématique énergétique et environnementale. In Moletta, R., *La méthanisation* (chap. 1, p. 3-8). Paris, Éditions Tec & Doc.
- Moletta, R. (2008a). Technologies de la méthanisation de la biomasse – Déchets ménagers et agricoles. In Moletta, R., *La méthanisation* (chap. 8, p. 181-204). Paris, Éditions Tec & Doc.
- Natural Resources Conservation Service (NRCS). (2007). *An Analysis of Energy Production Costs from Anaerobic Digestion Systems on U.S. Livestock Production Facilities*. Technical Note, U.S. Department of Agriculture, n°1, 33 p.
- Nielsen, Per H., Anne Merete Nielsen, and Rikke H. Frederiksen. 2002, "Heat and power production from pig manure," as viewed at <http://www.lcafood.dk/processes/energyconversion/heatandpowerfrommanure.htm> (Page consultée le 23 octobre 2010).
- Ostrem, K. (2004). *Greening Waste: Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes*. Mémoire de maîtrise, Columbia University, New York, 59 p.
- Parking, G. F. and Miller, S. W. (1983). Response of methane fermentation to continuous addition of selected industrial toxicants. *Proceeding of the 37th Purdue Industrial Waste Conference*, West Lafayette.
- Partl, H. (2007). Kompogas Process – Description and Costings. In Evergreen Energy. *2007 Hyder Consulting Report on the KOMPOGAS process*. [En ligne] <http://www.evergreenenergy.com.au/SiteMedia/w3svc198/Uploads/Documents/c2ec0683-bc78-4a1b-bbf-444448d5fc77.pdf> (Page consultée le 26 novembre 2010).
- Perron, F., (2010). Potentiel énergétique et gains environnementaux générés par la biométhanisation des matières organiques résiduelles au Québec. Université de Sherbrooke, Québec, p. 126.
- Pouech, P. (2008). *Principales caractéristiques des digestats*. In : Journée technique nationale du 7 octobre 2008 organisée par l'ADEME : « Réussir un projet de méthanisation associant des déchets ménagers agricoles et industriels. Les points clés. », Paris, 07/10/2008, 6 p.
- Pouech, P (2008a). Étude préliminaire pour la mise en place d'une unité de méthanisation de fumier de cheval. Parc Équestre Fédéral de Lamotte Beuvron. Fédération Française d'Équitation, P. REF. : 2901_FFE, 54 p.

- Pouech, P., Coudure, R. et Marcato, C.-E. (2005). Intérêt de la co-digestion pour la valorisation des lisiers et le traitement de déchets fermentescibles à l'échelle d'un territoire. *Journée Recherche Porcine*, vol. 37, p. 39-44.
- Raven, R.P.J.M. and Gregersen, K.H. (2007). Biogas plant in Denmark: Successes and Setback. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, n°1, p. 116-132.
- Ressources Naturelles Canada (RNC) (2005). L'Office de l'efficacité énergétique Enquête 2005 sur les véhicules au Canada, Rapport sommaire. [En ligne] <http://www.oee.nrcan.gc.ca/Publications/statistiques/evc05/chapitre2.cfm?attr=0> le (Page consultée le 14 mars 2010)
- Ressources Naturelles Canada (RNC) (2011). Secteur énergétique, statistiques et analyse. <http://www.nrcan.gc.ca/eneene/statstat/index-fra.php> (Page consultée le 1 avril 2010).
- Ricard, M.-A., Drolet, V., Coulibaly, A., Laflamme, C. B., Charest, C., Forcier, F., Lahance, M.-P., Pelletier, F., Levasseur, P., Pouliot, F., S. et Lemay, S. (2010). Développer un cadre d'analyse et identifier l'intérêt technico-économique de produire du biogaz à la ferme dans un contexte québécois. Centre de développement du porc du Québec inc. [En ligne] <http://www.agrireseau.qc.ca/porc/documents/MethanisationFINAL.pdf> (page consultée le 1er août 2010).
- Statistique Canada (2003). Étude sur les besoins alimentaires des animaux 1999-2001. [En ligne] <http://www.statcan.ca/francais/freepub/23-501-XIF/23-501-XIF2003001.pdf> (Page consultée le 3 décembre 2010).
- Statistique Canada, (2006). Recensement de l'agriculture de 2006. [En ligne] <http://www.statcan.gc.ca/ca-ra2006/index-fra.htm>. (Page consultée le 14 août 2010).
- Taiganides, E.P. et T.E. Hazen. (1966). Properties of farm animal excretion. *Transaction of the ASAE* 9(2): 215-221.
- Tchouate Héteu, P. et J. Martin. (2003). Conversion biochimique de la biomasse : aspects technologiques et environnementaux. Working paper no 3. [En ligne] <http://sites.uclouvain.be/term/recherche/TRACTEBEL/WP3-TERM.pdf>. (Page consultée le 1er août 2010).
- Tessier, M. (2000). Rapport d'activités du projet échantillonnage des engrais de ferme, (Été 2000-2001).
- Truong, L.V-A. (2004). *Purification du biogaz provenant de la digestion anaérobie du lisier de porc*. Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Québec.
- Wiar J. (2008). La rentabilité financière des installations « énergies renouvelables » et des habitations énergétiquement performantes des particuliers. [En ligne] <http://www.developpementdurable.banquepopulaire.fr/ddfr/liblocal/docs/travaux-etudiants/textememoireWIART.pdf>. (Page consultée le 1er août 2010).
- Zaher, U., Cheong, D-Y., Wu, B. et Chen S. (2007). Producing energy and fertilizer from organic municipal solid waste. Department of biological systems engineering.

Washington State University. [En ligne] http://www.ecy.wa.gov/climatechange/2008CATdocs/IWG/bw/071108_pefmsw.pdf (page consultée le 27 octobre 2010).

Zhang, R., El-Mashad M., H., Hartman, K., Wang, F., Liu, G., Choate, C. and Gamble, P., (2007). Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, vol. 98, p. 929-935.

ANNEXES

Annexe 1 : Nombre de fermes en Montérégie (recensement 16 mai 2006)

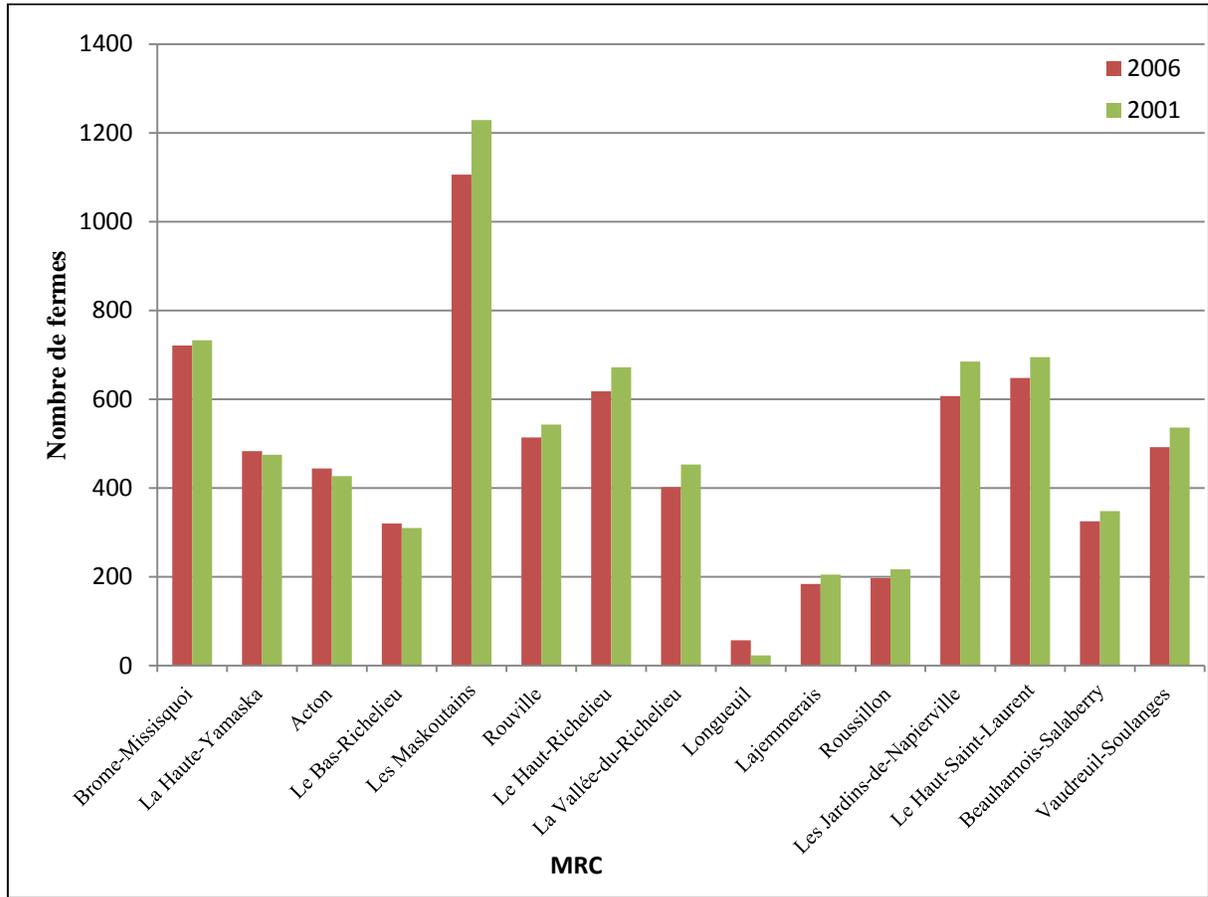
Source : Statistique Canada, 2006

| Géographie | Fermes classées selon la forme juridique | | | |
|--------------------------------------|--|-------|-------------------------------------|-------|
| | Nombre total de fermes | | Ferme individuelle (à propriétaire) | |
| | 2006 | 2001 | 2006 | 2001 |
| | nombre de fermes déclarantes | | | |
| Montérégie | 7 118 | 7 551 | 3 399 | 3 823 |
| Brome-Missisquoi | 721 | 733 | 374 | 389 |
| Frelighsburg | 42 | | 24 | |
| Saint-Armand | 52 | | 27 | |
| Saint-Pierre-de-Véronne-à-Pike-River | 45 | | 18 | |
| Bedford | 22 | | 8 | |
| Stanbridge East | 47 | | 29 | |
| Dunham | 135 | | 72 | |
| Sutton | 46 | | 30 | |
| Bolton-Ouest | 27 | | 16 | |
| Lac-Brome | 84 | | 56 | |
| Brigham | 52 | | 23 | |
| Saint-Ignace-de-Stanbridge | 40 | | 17 | |
| Notre-Dame-de-Stanbridge | 33 | | 15 | |
| Sainte-Sabine | 43 | | 20 | |
| Farnham | 53 | | 19 | |
| La Haute-Yamaska | 483 | 475 | 230 | 218 |
| Bromont | 43 | | 27 | |
| Saint-Alphonse | 53 | | 14 | |
| Granby | 83 | | 41 | |
| Shefford | 72 | | 39 | |
| Saint-Joachim-de-Shefford | 80 | | 39 | |
| Roxton Pond | 89 | | 41 | |
| Sainte-Cécile-de-Milton | 63 | | 29 | |
| Acton | 444 | 427 | 184 | 184 |
| Béthanie | 34 | | 16 | |
| Roxton | 102 | | 55 | |
| Sainte-Christine | 42 | | 13 | |
| Acton Vale | 74 | | 30 | |
| Upton | 69 | | 24 | |
| Saint-Théodore-d'Acton | 60 | | 23 | |
| Saint-Nazaire-d'Acton | 63 | | 23 | |
| Le Bas-Richelieu | 320 | 310 | 170 | 172 |
| Saint-David | 57 | | 28 | |
| Saint-Aimé | 51 | | 18 | |
| Saint-Robert | 40 | | 23 | |
| Sainte-Victoire-de-Sorel | 35 | | 20 | |
| Saint-Ours | 42 | | 27 | |
| Saint-Roch-de-Richelieu | 30 | | 16 | |
| Yamaska | 44 | | 27 | |
| Saint-Gérard-Majella | 21 | | 11 | |
| Les Maskoutains | 1 106 | 1 229 | 484 | 578 |
| Saint-Pie | 109 | | 44 | |
| Saint-Damase | 109 | | 48 | |
| Sainte-Marie-Madeleine | 59 | | 28 | |
| La Présentation | 86 | | 41 | |
| Saint-Hyacinthe | 136 | | 62 | |
| Saint-Dominique | 64 | | 28 | |
| Saint-Valérien-de-Milton | 101 | | 43 | |
| Saint-Liboire | 67 | | 26 | |
| Saint-Simon | 48 | | 17 | |
| Sainte-Hélène-de-Bagot | 70 | | 31 | |
| Saint-Hugues | 78 | | 36 | |
| Saint-Barnabé-Sud | 45 | | 22 | |
| Saint-Jude | 48 | | 23 | |
| Saint-Bernard-de-Michaudville | 28 | | 14 | |
| Saint-Louis | 27 | | 10 | |
| Saint-Marcel-de-Richelieu | 31 | | 11 | |
| Rouville | 514 | 543 | 219 | 253 |
| Ange-Gardien | 106 | | 46 | |
| Saint-Paul-d'Abbotsford | 106 | | 48 | |
| Saint-Césaire | 92 | | 37 | |
| Sainte-Angèle-de-Monnoir | 41 | | 19 | |
| Rougemont | 76 | | 35 | |

| | | | | |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Marieville | 40 | | 12 | |
| Richelieu | 19 | | 9 | |
| Saint-Mathias-sur-Richelieu | 34 | | 13 | |
| Le Haut-Richelieu | 618 | 672 | 247 | 289 |
| Saint-Georges-de-Clarenceville | 36 | | 20 | |
| Noyan | 25 | | 9 | |
| Lacolle | 30 | | 11 | |
| Saint-Valentin | 38 | | 10 | |
| Henryville | 54 | | 18 | |
| Saint-Sébastien | 49 | | 16 | |
| Saint-Alexandre | 63 | | 18 | |
| Sainte-Anne-de-Sabrevois | 39 | | 16 | |
| Saint-Blaise-sur-Richelieu | 29 | | 10 | |
| Saint-Jean-sur-Richelieu | 116 | | 61 | |
| Mont-Saint-Grégoire | 80 | | 37 | |
| Sainte-Brigide-d'Iberville | 59 | | 21 | |
| La Vallée-du-Richelieu | 402 | 453 | 218 | 262 |
| Carignan | 43 | | 23 | |
| Saint-Jean-Baptiste | 103 | | 49 | |
| Saint-Mathieu-de-Beloil | 38 | | 18 | |
| Saint-Marc-sur-Richelieu | 50 | | 30 | |
| Saint-Charles-sur-Richelieu | 56 | | 36 | |
| Saint-Denis-sur-Richelieu | 67 | | 33 | |
| Saint-Antoine-sur-Richelieu | 45 | | 29 | |
| Longueuil | 57 | 23 | 31 | 10 |
| Longueuil | 57 | | 31 | |
| Lajemmerais | 184 | 205 | 107 | 114 |
| Saint-Amable | 42 | | 20 | |
| Varennes | 46 | | 32 | |
| Verchères | 53 | | 28 | |
| Calixa-Lavallée | 43 | | 27 | |
| Roussillon | 197 | 217 | 105 | 127 |
| Saint-Mathieu | 26 | | 17 | |
| Saint-Philippe | 31 | | 19 | |
| Saint-Constant | 43 | | 22 | |
| Saint-Isidore | 43 | | 17 | |
| Mercier | 54 | | 30 | |
| Les Jardins-de-Napierville | 607 | 685 | 298 | 370 |
| Saint-Bernard-de-Lacolle | 62 | | 36 | |
| Hemmingford | 91 | | 55 | |
| Sainte-Clotilde-de-Châteauguay | 48 | | 20 | |
| Saint-Patrice-de-Sherrington | 78 | | 36 | |
| Saint-Cyprien-de-Napierville | 71 | | 31 | |
| Saint-Jacques-le-Mineur | 40 | | 19 | |
| Saint-Édouard | 41 | | 13 | |
| Saint-Michel | 65 | | 26 | |
| Saint-Rémi | 111 | | 62 | |
| Le Haut-Saint-Laurent | 648 | 695 | 330 | 390 |
| Havelock | 52 | | 35 | |
| Franklin | 81 | | 44 | |
| Saint-Chrysostome | 75 | | 44 | |
| Très-Saint-Sacrement | 74 | | 34 | |
| Ormstown | 87 | | 43 | |
| Hinchinbrooke | 72 | | 36 | |
| Elgin | 41 | | 25 | |
| Godmanchester | 67 | | 34 | |
| Sainte-Barbe | 21 | | 8 | |
| Saint-Anicet | 57 | | 20 | |
| Dundee | 21 | | 7 | |
| Beauharnois-Salaberry | 325 | 348 | 136 | 169 |
| Sainte-Martine | 111 | | 51 | |
| Beauharnois | 29 | | 8 | |
| Saint-Étienne-de-Beauharnois | 28 | | 12 | |
| Saint-Louis-de-Gonzague | 53 | | 18 | |
| Saint-Stanislas-de-Kostka | 40 | | 15 | |
| Salaberry-de-Valleyfield | 64 | | 32 | |
| Vaudreuil-Soulanges | 492 | 536 | 266 | 298 |
| Saint-Télesphore | 50 | | 32 | |
| Saint-Polycarpe | 64 | | 24 | |
| Coteau-du-Lac | 32 | | 14 | |
| Saint-Clet | 32 | | 16 | |
| Les Cèdres | 54 | | 28 | |
| Vaudreuil-Dorion | 74 | | 42 | |

| | | | | |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Sainte-Marthe | 58 | | 40 | |
| Sainte-Justine-de-Newton | 48 | | 28 | |
| Très-Saint-Rédempteur | 21 | | 12 | |
| Rigaud | 59 | | 30 | |
| Québec - PR (24000000) | 30 675 | 32 139 | 15 241 | 16 511 |

Annexe 2 : Nombre de fermes en Montérégie (recensement 16 mai 2006)



Source : Statistique Canada, 2006

Annexe 3 : Valeur marchande des fermes suivant les différentes régions agricoles du Québec

| Géographie | Total du capital agricole | | | |
|---|---------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| | 2006 | | 2001 | |
| | fermes déclarantes | valeur marchande en dollars courants | fermes déclarantes | valeur marchande en dollars courants |
| Source | | | | |
| Statistique Canada, Recensement de l'agriculture de 2006, <i>Données sur les exploitations et les exploitants agricoles</i> , n° 95-629-XWF au catalogue. | | | | |
| Canada | 229 373 | 248 317 591 506 | 246 923 | 196 868 929 481 |
| Québec | 30 675 | 26 538 902 059 | 32 139 | 21 466 990 522 |
| Bas-Saint-Laurent | 2 300 | 1 442 858 134 | 2 436 | 1 064 668 734 |
| Saguenay--Lac-Saint-Jean--Côte-Nord | 1 184 | 834 801 769 | 1 227 | 636 452 214 |
| Québec | 1 157 | 736 584 990 | 1 156 | 580 439 956 |
| Mauricie | 1 121 | 900 437 929 | 1 229 | 807 945 179 |
| Estrie | 2 812 | 2 147 506 415 | 2 861 | 1 566 854 066 |
| Montréal--Laval | 225 | 187 015 803 | 216 | 140 639 148 |
| Lanaudière | 1 700 | 1 698 065 407 | 1 776 | 1 450 103 049 |
| Outaouais | 1 217 | 696 824 627 | 1 291 | 520 956 162 |
| Laurentides | 1 448 | 1 124 644 595 | 1 536 | 893 033 835 |
| Abitibi-Témiscamingue--Nord-du-Québec | 785 | 490 266 710 | 810 | 354 233 594 |
| Gaspésie--Îles-de-la-Madeleine | 315 | 119 631 240 | 292 | 87 917 886 |
| Chaudière-Appalaches | 5 845 | 3 940 421 098 | 6 015 | 2 967 519 300 |
| Montérégie | 7 118 | 8 987 730 673 | 7 551 | 7 582 624 353 |
| Centre-du-Québec | 3 448 | 3 232 112 669 | 3 743 | 2 813 603 046 |

Source : Statistique Canada, 2006

Annexe 4 : Répartition du nombre de ferme (exploitants) en culture végétale

| | Blé | Avoine | Orge | Mélange céréales | Maïs (ensilage et grain) | Soya | foin et autre pâturage | Légumes | Petits fruits | Pomme de terre | Culture en serre | Érablière | Fleurs de serre | Total |
|--------------------------------|------------|------------|------------|---------------------|--------------------------------|--------------|------------------------------|------------|------------------|----------------------|------------------------|------------|-----------------------|--------------|
| Le Haut-Richelieu | 74 | 26 | 69 | 31 | 414 | 283 | 185 | 51 | 36 | 2 | 18 | 23 | 9 | 1221 |
| La Vallée-du- Richelieu | 89 | 8 | 45 | 7 | 216 | 187 | 65 | 43 | 51 | 6 | 14 | 64 | 7 | 802 |
| Longueuil | 6 | 1 | 1 | 0 | 11 | 13 | 13 | 6 | 9 | 1 | 7 | 0 | 6 | 74 |
| Lajemmerais | 55 | 8 | 18 | 3 | 90 | 93 | 32 | 20 | 11 | 17 | 7 | 24 | 6 | 384 |
| Roussillon | 27 | 4 | | 5 | 79 | 78 | 32 | 58 | 23 | 1 | 15 | 3 | 7 | 332 |
| Les Jardins-de- Napierville | 34 | 24 | 52 | 13 | 217 | 163 | 158 | 205 | 63 | 54 | 58 | 23 | 33 | 1097 |
| Le Haut-Saint-Laurent | 43 | 30 | 99 | 40 | 336 | 211 | 270 | 70 | 92 | 5 | 5 | 120 | 2 | 1323 |
| Beauharnois- Salaberry | 47 | 22 | 76 | 22 | 238 | 164 | 86 | 72 | 15 | 0 | 15 | 24 | 9 | 790 |
| Vaudreuil-Soulanges | 54 | 37 | 86 | 17 | 229 | 188 | 157 | 60 | 22 | 5 | 28 | 45 | 21 | 949 |
| Fédération régionale | 429 | 160 | 446 | 138 | 1830 | 1380 | 998 | 585 | 322 | 91 | 167 | 326 | 100 | 6972 |
| Montérégie | 786 | 413 | 734 | 243 | 3 577 | 2 371 | 2188 | 905 | 648 | 122 | 254 | 804 | 140 | 10814 |

Source : Statistique Canada

Annexe 5: Répartition des fermes selon l'utilisation des superficies en 2006

| Terres en culture (excluant la superficie en arbres de Noël) | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|----------------|-------------------|----------------|---------------------|---------------|-------------------|----------------|--------------------------|----------------|-------------------|--------------|
| Géographie | Superficie agricole totale | | Terres en culture | | Sans travail du sol | | Résidus maintenus | | Enfouissement de résidus | | Terres en jachère | |
| | total des fermes | hectares | total des fermes | hectares | total des fermes | hectares | total des fermes | hectares | total des fermes | hectares | total des fermes | hectares |
| Montérégie | 7 118 | 707 101 | 6 096 | 540 118 | 1 040 | 52 366 | 2 082 | 130 151 | 3 842 | 267 583 | 135 | 1 160 |
| Le Haut-Richelieu | 618 | 73 989 | 553 | 63 962 | 98 | 5 117 | 210 | 14 921 | 397 | 36 217 | 10 | 47 |
| La Vallée-du-Richelieu | 402 | 39 160 | 345 | 33 387 | 78 | 4 400 | 125 | 10 472 | 223 | 14 802 | 8 | 83 |
| Longueuil | 57 | 5 089 | 40 | 3 786 | | | | | 20 | 1 419 | | |
| Lajemmerais | 184 | 19 133 | 167 | 17 024 | 23 | 2 343 | 71 | 4 632 | 109 | 8 407 | 4 | 33 |
| Roussillon | 197 | 17 056 | 174 | 15 559 | 42 | 3 681 | 60 | 2 709 | 118 | 7 688 | 5 | 64 |
| Les Jardins-de-Napierville | 607 | 58 142 | 559 | 44 445 | 89 | 6 293 | 174 | 10 098 | 361 | 22 970 | 29 | 203 |
| Le Haut-Saint-Laurent | 648 | 72 364 | 594 | 46 071 | 114 | 4 610 | 166 | 7 519 | 360 | 22 870 | 8 | 51 |
| Beauharnois-Salaberry | 325 | 35 224 | 301 | 30 902 | 72 | 3 853 | 134 | 7 587 | 229 | 16 124 | 2 | x |
| Vaudreuil-Soulanges | 492 | 51 810 | 416 | 43 655 | 72 | 4 381 | 151 | 10 048 | 279 | 21 982 | 9 | 79 |
| Fédération régionale | 3530 | 371967 | 3149 | 298791 | 588 | 34678 | 1091 | 67986 | 2096 | 152479 | 75 | 560 |

Source : Statistique Canada, 2006

Annexe 6 : Répartition des fermes (exploitants) selon la superficie et les types de culture (ha)

| | Blé | Avoine | Orge | Mélange céréale | Mais | Mais Grain | Mais ensilage | Soja | Pomme de terre | Légumes | Petits fruits |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------------------|----------------|-----------------------|--------------------------|---------------|---------------------------|----------------|--------------------------|
| Le Haut-Richelieu | 1 479 | 342 | 901 | 416 | 37 208 | 34 835 | 2 373 | 12 759 | x | 1 150 | 283 |
| La Vallée-du-Richelieu | 2 173 | 72 | 720 | 298 | 14 659 | 13 788 | 871 | 9 099 | 36 | 1 065 | 304 |
| Longueuil | 192 | x | x | 0 | 1 350 | 1 350 | 0 | 1 284 | x | 465 | 198 |
| Lajemmerais | 1 720 | 137 | 278 | 12 | 6 106 | 5 948 | 158 | 4 902 | 961 | 453 | 18 |
| Roussillon | 786 | x | | 92 | 6 905 | 6 666 | 239 | 3 802 | x | 1 676 | 82 |
| Les Jardins-de-Napierville | 752 | 300 | 896 | 116 | 16 010 | 15 041 | 969 | 8 962 | 1 446 | 9 459 | 395 |
| Le Haut-Saint-Laurent | 1 000 | 301 | 1 444 | 352 | 20 810 | 18 881 | 1 929 | 6 197 | 31 | 2 403 | 887 |
| Beauharnois-Salaberry | 952 | 227 | 1 201 | 226 | 15 457 | 14 302 | 1 155 | 6 571 | 0 | 1 804 | 78 |
| Vaudreuil-Soulanges | 1 968 | 622 | 2 093 | 205 | 18 357 | 17 780 | 577 | 9 514 | 67 | 1 776 | 83 |
| Fédération régionale | 11 022 | 2 001 | 7 533 | 1 717 | 136 862 | 128 591 | 8 271 | 63 090 | 2 541 | 20 251 | 2 328 |
| Montérégie | | 5 415 | 11 959 | 2 960 | 259 057 | 243 886 | 15 170 | 95 380 | 2 899 | 29 106 | 5 356 |

Source : Statistique Canada, 2006

Annexe 7 : Répartition du nombre de ferme en élevage

| | Bovins Veaux | Porcs | Moutons et agneaux | Chevaux et Poneys | Volailles | Chèvres | Lait | Total |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------|----------------|-------------|--------------|
| Le Haut-Richelieu | 252 | 50 | 24 | 55 | 32 | 11 | 68 | 492 |
| La Vallée-du-Richelieu | 87 | 9 | 9 | 45 | 18 | 5 | 147 | 320 |
| Longueuil | 5 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 52 | 63 |
| Lajemmerais | 42 | 0 | 2 | 27 | 5 | 1 | - | 77 |
| Roussillon | 32 | 2 | 6 | 24 | 6 | 2 | 24 | 96 |
| Les Jardins-de-Napierville | 140 | 11 | 14 | 53 | 33 | 7 | 48 | 306 |
| Le Haut-Saint-Laurent | 337 | 16 | 30 | 101 | 53 | 9 | 163 | 709 |
| Beauharnois-Salaberry | 148 | 5 | 8 | 20 | 10 | 0 | 104 | 295 |
| Vaudreuil-Soulanges | 145 | 12 | 17 | 84 | 33 | 10 | 66 | 367 |
| Fédération régionale | 1188 | 105 | 110 | 412 | 193 | 45 | 672 | 2725 |

Source : Statistique Canada

Annexe 8: Répartition des fermes selon leur secteur de production (élevage) en nombre d'animaux

| | Bovins et veaux | | Porcs | | Moutons et Agneaux | | Volailles | |
|-----------------------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | fermes déclarantes | nombre d'animaux | fermes déclarantes | nombre d'animaux | fermes déclarantes | nombre d'animaux | fermes déclarantes | nombre d'oiseaux |
| Le Haut-Richelieu | 252 | 34 753 | 50 | 199 941 | 24 | 4 568 | 32 | 280 870 |
| La Vallée-du-Richelieu | 87 | 8 140 | 9 | 19 053 | 9 | 2 143 | 18 | 238 339 |
| Longueuil | 5 | 45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 145 |
| Lajemmerais | 42 | 2 406 | 0 | 0 | 2 | x | 5 | x |
| Roussillon | 32 | 3 728 | 2 | x | 6 | 420 | 6 | x |
| Les Jardins-de-Napierville | 140 | 11 282 | 11 | 16 864 | 14 | 1 430 | 33 | x |
| Le Haut-Saint-Laurent | 337 | 30 230 | 16 | 17 009 | 30 | 3 970 | 53 | 248 523 |
| Beauharnois-Salaberry | 148 | 14 842 | 5 | x | 8 | 2 269 | 10 | x |
| Vaudreuil-Soulanges | 145 | 11 432 | 12 | 5 953 | 17 | 1 436 | 33 | 428 612 |
| Fédération régionale | 1188 | 116858 | 105 | 258820 | 110 | 16236 | 193 | 1196489 |
| Montérégie | 2 528 | 266 495 | 694 | 1 471 409 | 224 | 31 015 | 496 | 8 791 915 |

Source : Statistique Canada, 2006

Annexe 9 : Taux de rendement et indice de récolte

| Culture | Rendement en 2001(t/ha) | Rendement en 2006 (t/ha) Indice de récolte | Indice de récolte |
|--------------------|-------------------------|---|--------------------|
| Avoine | 2,92 | 2,44 | 0,39 (0,35+0,42)/2 |
| Blé de printemps | 2,98 | 2,95 | 0,42 (0,45+0,38)/2 |
| Céréales mélangées | 2,84 | 2,87 | |
| Foin cultivé | 4,96 | 6,43 | |
| Maïs-ensilage | 28,92 | 41,81 | 0,50 |
| Maïs-grain | 7,25 | 7,94 | 0,50 |
| Orge | 4,96 | 2,83 | 0,46(0,48+0,43)/2 |
| Pomme de terre | 26,38 | 28,00 | |
| Soya | 2,25 | 2,92 | 0,55 |

Source : Institut de la statistique du Québec et CRAAQ in Écoressources, 2008

Annexe 10 : Répartition des fermes selon l'utilisation du fumier

| | Total des fermes déclarantes de fumier produit ou utilisé | Fumier appliqué sur l'exploitation agricole | Fumier vendu ou donné aux autres | Fumier acheté ou reçu des autres | Autre fumier (composté, séché, transformé, entreposé, etc.) |
|-----------------------------|---|---|----------------------------------|----------------------------------|---|
| Le Haut-Richelieu | 394 | 341 | 67 | 69 | 19 |
| La Vallée-du- | 172 | 146 | 28 | 33 | 12 |
| Longueuil | 8 | 7 | 0 | 3 | 1 |
| Lajemmerais | 68 | 58 | 12 | 6 | 3 |
| Roussillon | 68 | 52 | 18 | 17 | 5 |
| Les Jardins-de- | 223 | 186 | 29 | 25 | 26 |
| Le Haut-Saint- | 420 | 382 | 36 | 32 | 40 |
| Beauharnois- | 185 | 167 | 22 | 14 | 12 |
| Vaudreuil- | 243 | 200 | 43 | 31 | 24 |
| Fédération régionale | 1781 | 1539 | 255 | 230 | 142 |

Source : Statistique Canada, 2006

Annexe 11 : Coefficient d'émission de méthane (en Kg, Ch₄/tête/an) en 2005

| SECTEUR | CATÉGORIE | GESTION DES FUMIERS CE _(GFT) ¹ |
|----------------------------|---------------------------------|---|
| Laitier | Vaches laitières ² | 29,7 |
| | Génisses laitières ³ | 15,4 |
| Bovin ³ | Taureaux | 3,2 |
| | Vaches de boucherie | 3,5 |
| | Génisses de boucherie | 2,8 |
| | Génisses destinées à l'abatage | 1,8 |
| | Bouvillons | 2 |
| | Veaux | 1,1 |
| Porcin ⁴ | Verrats | 6,4 |
| | Truies | 6,3 |
| | Porcs <20 kg | 1,8 |
| | Porcs 20-60 kg | 5,1 |
| | Porcs >60 kg | 7,9 |
| Volaille | Poulets | 0,03 |
| | Poules | 0,03 |
| | Dindons | 0,08 |
| Autres ⁴ | Moutons | 0,3 |
| | Agneaux | 0,2 |
| | Chèvres | 0,3 |
| | Chevaux | 2,3 |
| | Bisons | 2 |

Source : Environnement Canada

¹ Coefficients d'émission calculés à partir de Marinier et al. (2004), avec modifications selon les Recommandations du GIEC (2000).

² Les coefficients d'émission relatifs aux vaches laitières sont calculés à partir de Boadi et al. (2004) pour la fermentation entérique et de Marinier et al. (2004) pour la gestion du fumier, selon les Recommandations du GIEC (2000) et du GIEC (2006), avec modifications.

³ Coefficients d'émission calculés à partir de Boadi *et al.* (2004) selon les Recommandations du GIEC (2000).

⁴ Coefficients d'émission par défaut du niveau 1 du GIEC (GIEC/OCDE/AIE, 1997).

Ce que l'on dénomme « biogaz », combustible issu de la méthanisation.

Annexe 12 : Quantité de Biogaz produit en m³ par tonne de matière première

| Matières premières | Valeurs moyennes |
|---|-------------------------|
| Lisier bovin | 24 |
| Lisier porcin | 29 |
| Pulpe de pommes de terre | 31 |
| Whey (résidu laitier) | 39 |
| Lisier aviaire | 44 |
| Fumier bovin (frais) | 51 |
| Déchets – légumes | 58 |
| Feuilles de betteraves | 59 |
| Déchets verts | 60 |
| Drèches de brasseries | 62 |
| Contenus des rumens (déchet d'abattoir) | 63 |
| Fumier équin (frais) | 74 |
| Résidus de distillation | 80 |
| Betteraves hachées | 84 |
| Fumier aviaire (frais) | 87 |
| Pelures de pommes de terre | 89 |
| Fumier ovin (frais) | 99 |
| Herbes (foin) | 105 |
| Tontes de gazon | 124 |
| Déchets de cuisine | 154 |
| Herbes (ensilage) | 203 |
| Maïs ensilé | 213 |
| Boues agro-alimentaire | 245 |
| Feuillage d'arbre | 279 |
| Grain (orge de malterie) | 291 |
| Résidus de maïs | 301 |
| Paille de céréale | 342 |
| Mélasse | 389 |
| Graisses (dégraissage de flottation) | 400 |
| Pain déclassé | 486 |
| Tourteau de canola (15% M.G.) | 552 |
| Graisses usées | 560 |
| Déchets de boulangerie | 657 |

Les données présentées ci-dessus sont des valeurs moyennes provenant de : Fisher (2007) dans CRAAQ (2008_a) ; Théobald et al. (2004) ; Weiland (1997), Kuhn (1995), Boudali et Debouche (2000), Gerin (2000), CEFE (1993) et Luxen (2002) dans Bureau d'études IRCO SPRL (2002), In Écoressources (2008).

Annexe 13 : production indicative de méthane de différentes matières

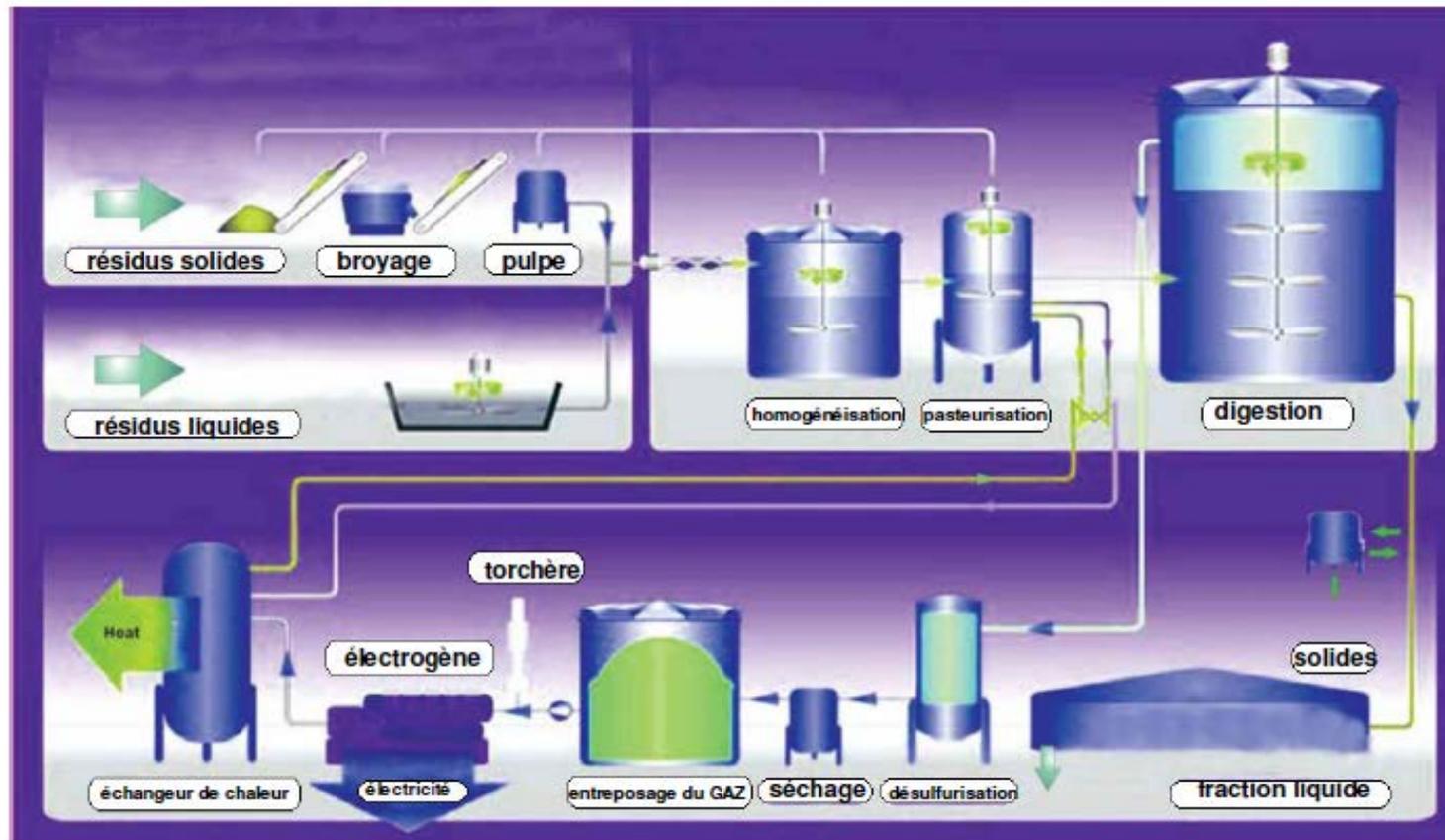
| M.F. | % M.S. | % M.O. (de la M.S.) | % M.O. (de la M.F.) | C/N | Litres CH ₄ /kg M.O. |
|--|-----------------|------------------------|------------------------|----------|------------------------------------|
| <i>Effluents d'élevage</i> | | | | | |
| Lisier bovin | 8,5 (6 - 11) | 76,5 (68 - 85) | 6,5 | 10 - 17 | 230 (200 - 260) |
| Fumier bovin frais | 18,5 (12 - 25) | 75 (65 - 85) | 13,9 | 14 - 25 | 250 (200 - 300) |
| Lisier porcin | 6,1 (2,5 - 9,7) | 72,5 (60 - 85) | 4,4 | 5 - 10 | 355 (260 - 450) |
| Lisier de poules | 19,5 (10 - 29) | 76 (75 - 77) | 14,8 | | 300 (200 - 400) |
| Fientes de poules diluées | 10,3 (7 - 13,5) | 74,9 (70 - 80) | 7,7 | | 350 (250 - 450) |
| Fumier de mouton (frais) | 27,5 (25 - 30) | 80 | 22 | 14 | 450 (400 - 500) |
| Fumier équin (frais) | 28 | 75 | 21 | 18 | 350 (300 - 400) |
| <i>Déchets agricoles</i> | | | | | |
| Ensilage d'herbe | 44 (26 - 62) | 82,5 (67 - 98) | 36,3 | | 500 |
| Trèfle | 20 | 80 | 16 | 12 | 450 (400 - 500) |
| Paille de céréales | 87,5 (85 - 90) | 87 (85 - 89) | 76,1 | 70 - 165 | 450 (300 - 600) |
| Paille de maïs | 86 | 72 | 61,9 | 30 | 650 (600 - 700) |
| Feuilles de betteraves | 16,5 (15 - 18) | 79 (78 - 80) | 13 | 15 - 16 | 450 (400 - 500) |
| Fanes de pommes de terre | 25 | 79 | 19,8 | 16 - 25 | 550 (500 - 600) |
| <i>Déchets agro-industriels</i> | | | | | |
| Pulpe de pommes | 2,9 (2 - 3,7) | 94,5 (94 - 95) | 2,7 | 6 | 330 |
| Pulpe de pommes de terre | 13,5 (12 - 15) | 90 | 12,2 | 3 - 9 | 250 |
| Fruits broyés | 45 (40 - 50) | 61,5 (30 - 93) | 27,7 | 30 - 50 | 400 |
| Drêches de brasseries | 18 (15 - 21) | 90 | 16,2 | 9 - 10 | 380 (370 - 390) |
| Mélasse | 80 | 95 | 76 | 14 - 27 | 300 |
| Déchets de légumes | 12,5 (5 - 20) | 83 (76 - 90) | 10,53 | 12 - 27 | 600 |
| <i>Déchets communaux</i> | | | | | |
| Déchets ménagers organiques | 27,5 (40 - 75) | 50 | 28,8 | 25 - 80 | 400 (200 - 600) |
| Herbe fauchée (laïche...) | 29,5 (22 - 37) | 94,5 | 27,9 | 23 | 500 |
| Boues flottantes (station d'épuration) | 14,5 (5 - 24) | 90,5 | 13,1 | | 700 (600 - 800) |

Source : Bureau d'études IRCO sprl (2002)

Annexe 14 : Deux vitrines technologiques au Québec

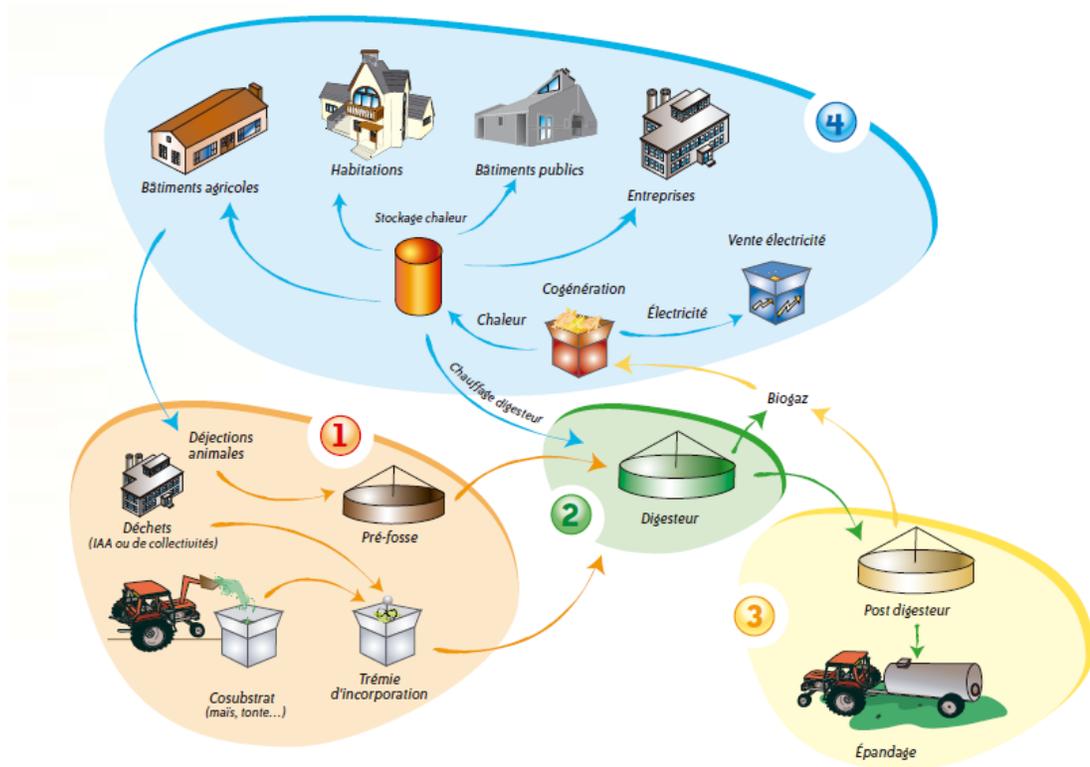
| Nom de la ferme | Ferme R. Péloquin | Ferme Saint-Hilaire |
|-------------------------------|---|--|
| Région | Estrie | Chaudière-Appalaches |
| Production | Naisseur-finiisseur 5 000 porcs produits/an | Naisseur-finiisseur 10 000 porcs produits/an |
| En opération depuis | 2001 | 2004 |
| Digesteurs | 2 de 165 m ³ 1 de 450 m ³ | 3 de 450 m ³ |
| Capacité de traitement | 4000 m ³ /an | 8000 m ³ /an |
| Bouilloire au biogaz | 400 000 BTU/h | 600 000 BTU/h |
| Utilisation | Chauffage de la pouponnière | - Maintien de la température des digesteurs à 25 °C. - Projets de chauffage de la porcherie et de production d'électricité. |

Annexe 15 : Schéma de principe des éléments de base d'une installation de co-digestion anaérobie



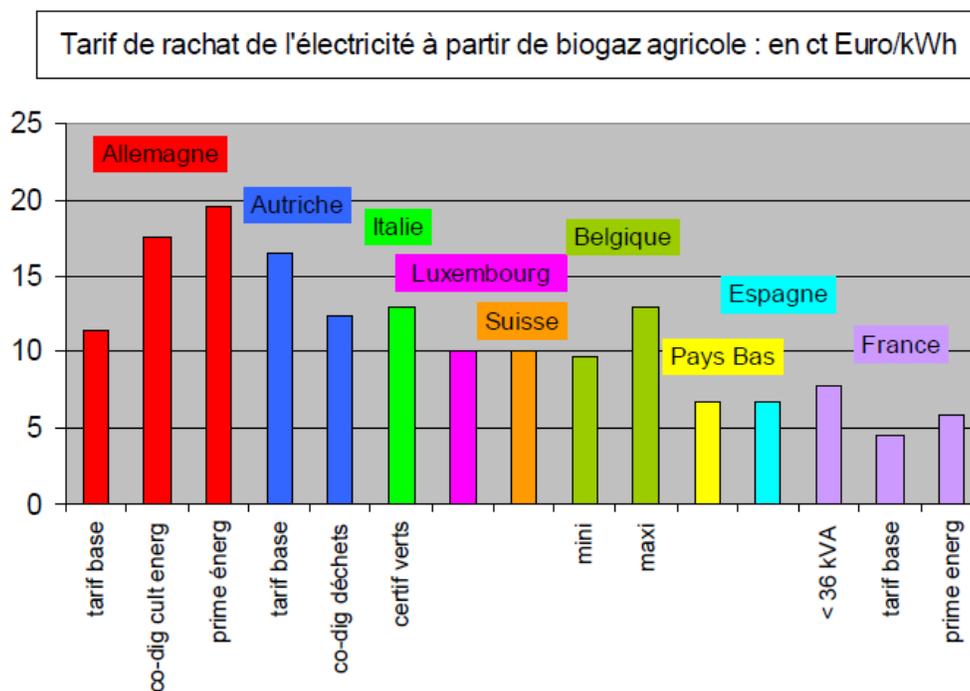
Source : Fazier *et al.* 2006

Annexe 16: Schéma des flux de production de biogaz à la ferme



Source : Méthanisation à la ferme (ADEME)

Annexe 17 : Tarif de rachat de l'électricité à partir de biogaz agricole



Annexe 18 : Prix de l'essence par région administrative

| Régions | HEBDOMADAIRE | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | janvier | | | | février | | | | mars | | | | |
| | 2011-01-03 | 2011-01-10 | 2011-01-17 | 2011-01-24 | 2011-01-31 | 2011-02-07 | 2011-02-14 | 2011-02-21 | 2011-02-28 | 2011-03-07 | 2011-03-14 | 2011-03-21 | 2011-03-28 |
| 1. Bas-Saint-Laurent | 116,3 | 116,3 | 116,6 | 119,9 | 118,0 | 117,9 | 118,2 | 117,7 | 124,7 | 125,1 | 125,3 | 125,3 | 129,2 |
| 2. Saguenay-Lac-Saint-Jean | 108,4 | 114,4 | 111,8 | 112,3 | 111,5 | 111,5 | 111,5 | 118,4 | 124,0 | 117,6 | 123,4 | 121,3 | 126,3 |
| 3. Capitale-Nationale | 115,4 | 115,4 | 120,1 | 120,5 | 119,4 | 117,6 | 119,6 | 118,5 | 125,5 | 125,5 | 124,6 | 124,6 | 129,6 |
| 4. Mauricie | 110,3 | 111,6 | 111,6 | 119,5 | 119,5 | 119,5 | 119,5 | 119,4 | 125,5 | 125,2 | 125,2 | 125,2 | 125,3 |
| 5. Estrie | 116,6 | 116,6 | 116,6 | 116,6 | 116,3 | 116,6 | 116,6 | 116,1 | 123,4 | 123,4 | 123,4 | 123,4 | 123,4 |
| 6. Montréal | 115,2 | 124,6 | 124,1 | 123,7 | 125,6 | 114,7 | 125,7 | 125,6 | 126,4 | 133,5 | 132,4 | 134,0 | 134,8 |
| 7. Outaouais | 111,9 | 111,4 | 113,2 | 112,7 | 115,7 | 113,1 | 113,0 | 112,8 | 118,8 | 118,1 | 122,0 | 121,7 | 120,3 |
| 8. Abitibi-Témiscamingue | 113,7 | 114,1 | 114,4 | 114,9 | 114,9 | 114,9 | 114,9 | 114,9 | 124,1 | 124,5 | 124,5 | 124,5 | 124,5 |
| 9. Côte-Nord | 118,0 | 117,9 | 118,5 | 120,9 | 118,8 | 119,3 | 119,9 | 119,9 | 126,9 | 126,9 | 126,9 | 126,9 | 130,8 |
| 10. Nord-du-Québec (Hors MRC) ⁽¹⁾ | 123,8 | 124,6 | 125,6 | 126,1 | 126,1 | 126,4 | 126,8 | 127,0 | 132,7 | 134,9 | 135,7 | 135,5 | 139,0 |
| 11. Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine | 117,9 | 117,9 | 117,9 | 120,5 | 119,5 | 119,5 | 119,6 | 119,6 | 125,8 | 126,8 | 127,3 | 127,3 | 130,8 |
| 12. Chaudière-Appalaches | 115,5 | 115,4 | 119,1 | 120,4 | 119,4 | 117,7 | 119,4 | 118,4 | 125,4 | 125,2 | 124,5 | 124,4 | 129,7 |
| 13. Laval | 115,2 | 123,8 | 125,1 | 124,4 | 124,1 | 114,5 | 124,6 | 125,0 | 127,0 | 134,6 | 133,1 | 132,6 | 135,8 |
| 14. Lanaudière | 116,1 | 117,2 | 120,7 | 120,8 | 117,1 | 116,5 | 117,9 | 118,2 | 124,8 | 128,6 | 129,3 | 125,5 | 130,8 |
| 15. Laurentides | 112,2 | 113,4 | 115,4 | 116,2 | 114,2 | 114,2 | 115,7 | 116,2 | 121,8 | 126,0 | 126,4 | 124,5 | 128,0 |
| 16. Montérégie | 115,6 | 119,0 | 120,8 | 121,0 | 120,5 | 116,7 | 120,7 | 120,7 | 124,6 | 130,4 | 130,2 | 128,2 | 131,5 |
| 17. Centre-du-Québec | 111,8 | 111,9 | 111,9 | 113,4 | 113,4 | 115,7 | 116,3 | 116,3 | 125,1 | 123,0 | 122,6 | 122,6 | 126,0 |
| MOYENNE PONDÉRÉE^{(1),(2)} | 114,5 | 117,5 | 118,8 | 119,5 | 119,2 | 116,0 | 119,5 | 119,7 | 124,8 | 127,4 | 127,5 | 126,9 | 129,8 |

Source

Régie de l'énergie, relevé hebdomadaire.

Notes

(1) La moyenne pondérée du Québec ainsi que celle du Nord-du-Québec ne tiennent pas compte des prix du Nunavik.

(2) La moyenne pondérée est calculée à partir de la répartition en pourcentage des volumes les plus récents disponibles de ventes de carburants des essenciers.

Annexe 18 : Prix du mazout par région administrative

| Régions | RELEVÉS HEBDOMADAIRES ⁽²⁾ | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | janvier | | | | février | | | | mars | | | | |
| | 2011-01-03 | 2011-01-10 | 2011-01-17 | 2011-01-24 | 2011-01-31 | 2011-02-07 | 2011-02-14 | 2011-02-21 | 2011-02-28 | 2011-03-07 | 2011-03-14 | 2011-03-21 | 2011-03-28 |
| 1. Bas-Saint-Laurent | 87,1 | 89,1 | 91,0 | 91,9 | 94,9 | 94,0 | 95,0 | 95,1 | 98,5 | 100,6 | 101,0 | 102,1 | 101,9 |
| 2. Saguenay-Lac-Saint-Jean | 87,4 | 87,9 | 90,2 | 92,6 | 92,9 | 94,4 | 94,7 | 95,1 | 99,7 | 99,7 | 101,4 | 100,1 | 101,4 |
| 3. Capitale-Nationale | 89,5 | 91,2 | 95,0 | 95,8 | 97,5 | 98,4 | 98,8 | 99,1 | 100,9 | 103,1 | 104,5 | 105,0 | 105,8 |
| 4. Mauricie | 88,1 | 89,9 | 92,1 | 93,4 | 95,9 | 94,6 | 96,1 | 96,1 | 97,6 | 99,4 | 99,9 | 100,9 | 101,4 |
| 5. Estrie | 87,6 | 89,0 | 91,6 | 93,5 | 94,2 | 96,0 | 96,5 | 96,3 | 99,1 | 100,9 | 102,2 | 102,4 | 103,5 |
| 6. Montréal | 88,7 | 90,2 | 93,5 | 94,7 | 97,5 | 96,8 | 97,5 | 97,5 | 101,5 | 102,7 | 103,5 | 104,6 | 104,0 |
| 7. Outaouais | 93,3 | 95,2 | 97,7 | 99,2 | 101,0 | 100,6 | 101,8 | 101,4 | 105,4 | 107,1 | 107,1 | 108,1 | 107,5 |
| 8. Abitibi-Témiscamingue | 87,6 | 89,6 | 93,4 | 95,0 | 95,0 | 95,0 | 95,4 | 95,4 | 100,0 | 100,0 | 102,3 | 103,1 | 103,9 |
| 9. Côte-Nord | 88,9 | 88,9 | 92,4 | 92,7 | 93,7 | 95,4 | 96,7 | 100,2 | 102,2 | 103,2 | 103,4 | 103,4 | 103,4 |
| 10. Nord-du-Québec ^(1,3) | 106,7 | 100,4 | 102,9 | 103,9 | 105,4 | 105,4 | 106,0 | 107,0 | 108,0 | 111,1 | 111,8 | 112,1 | 114,3 |
| 11. Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine | 88,7 | 92,0 | 91,8 | 92,6 | 95,2 | 94,6 | 95,3 | 96,3 | 98,7 | 100,4 | 102,4 | 103,4 | 104,2 |
| 12. Chaudière-Appalaches | 86,9 | 88,8 | 90,4 | 91,9 | 94,4 | 94,1 | 94,8 | 95,1 | 97,8 | 99,9 | 99,9 | 101,4 | 101,4 |
| 13. Laval | 90,2 | 91,4 | 95,3 | 95,6 | 98,3 | 97,7 | 98,5 | 98,3 | 102,3 | 104,0 | 104,8 | 105,8 | 104,9 |
| 14. Lanaudière | 87,2 | 88,9 | 91,6 | 92,1 | 93,9 | 93,9 | 94,7 | 94,7 | 98,7 | 100,0 | 101,0 | 101,6 | 101,8 |
| 15. Laurentides | 87,1 | 88,4 | 90,9 | 92,1 | 93,5 | 94,2 | 94,2 | 94,3 | 97,3 | 99,1 | 98,8 | 100,8 | 101,0 |
| 16. Montérégie | 88,3 | 89,2 | 93,3 | 93,3 | 95,2 | 95,8 | 96,2 | 95,9 | 99,6 | 102,0 | 102,3 | 103,8 | 103,2 |
| 17. Centre-du-Québec | 87,5 | 89,3 | 91,9 | 93,1 | 96,3 | 94,7 | 96,5 | 96,3 | 99,3 | 101,4 | 101,2 | 102,6 | 102,8 |
| MOYENNE PONDÉRÉE (3) | 88,3 | 89,6 | 92,7 | 93,5 | 95,4 | 95,5 | 96,2 | 96,1 | 99,5 | 101,3 | 101,9 | 102,9 | 102,9 |

Source

Régie de l'énergie, relevé hebdomadaire.

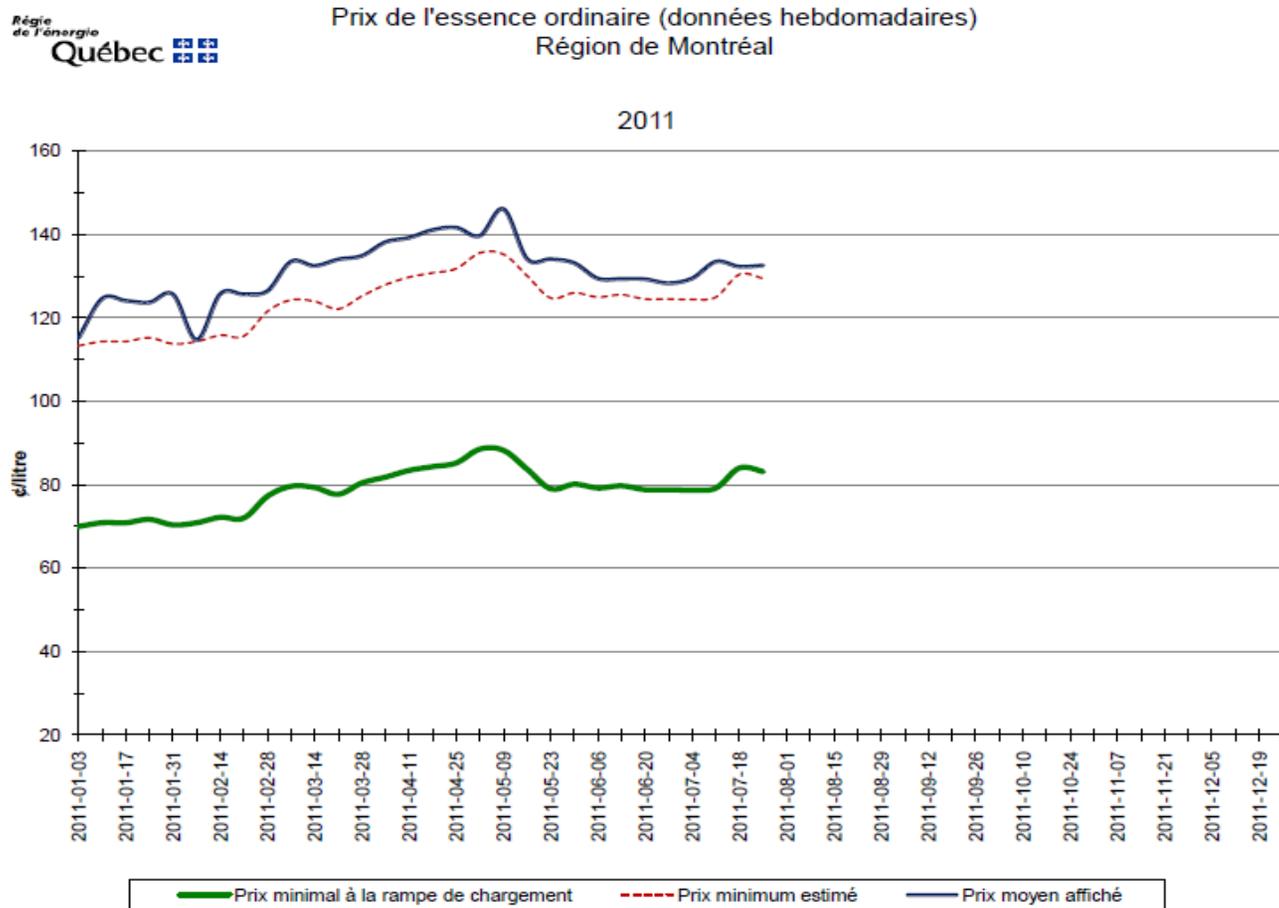
Notes

(1) Prix du mazout n°2 (sauf pour le Nord-du-Québec), incluant le transport, excluant les taxes de vente fédérale et provinciale (TPS et TVQ) et excluant tout escompte possible.

(2) Sauf exception, les relevés de prix sont faits les mardis, durant la saison de chauffage, pour couvrir la période d'approvisionnement.

(3) Les moyennes ne tiennent pas compte des prix du Nunavik.

Annexe 19 : Prix de l'essence à Montréal



Sources : Régie de l'énergie et Bloomberg Oil Buyer's Guide.

Édition du 2011-07-29

Annexe 20 : Prix due l'essence à Montréal



Prix de l'essence ordinaire (données mensuelles)
Région de Montréal

