

Comment les fourrages dans l'alimentation des vaches influencent leur production de gaz à effet de serre

FADI HASSANAT ¹ et CHAOUKI BENCHAAAR ²

^{1,2} Agriculture et Agroalimentaire Canada: ¹ Centre de recherche et de développement de Québec, Québec, QC; ² Centre de recherche et de développement de Sherbrooke, Sherbrooke, QC.

fadi.hassanat@agr.gc.ca

Introduction

L'engagement du Canada envers l'atteinte de la carboneutralité (émission nette zéro de carbone) d'ici 2050 s'applique à tous les secteurs d'activité humaine, y compris l'agriculture. Le secteur agricole contribue à 8,2 % des émissions totales de gaz à effet de serre (GES) au Canada, dont 58 % de ses émissions (31,8 millions de tonnes d'équivalent CO₂) sont directement liées au secteur de la production de lait et de viande (Environnement Canada, 2021). Les GES émis par les bovins le sont sous forme de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote (N₂O) et proviennent essentiellement de la digestion de la ration alimentaire et de la gestion des fumiers (entreposage et manutention), respectivement. Comme les bovins consomment principalement des fourrages et que l'alimentation influence à la fois le processus de digestion et la composition chimique du fumier, les fourrages deviennent un facteur d'importance dans les émissions de GES issues de la production bovine (lait et viande).

Le régime alimentaire des bovins peut contenir de 60 à 100 % de fourrages. Les fourrages fournissent de l'énergie, des fibres et de l'azote (principalement sous forme de protéines dégradables dans le rumen). La plupart de ces nutriments sont digérés dans le rumen : les fibres et les glucides non-structuraux (e.g., amidon) sont dégradés en acides gras volatils, en CO₂ et en H₂, tandis que les protéines sont dégradées en ammoniac qui est utilisé par les microbes pour synthétiser des protéines. Ces sous-produits de la fermentation ruminale (CO₂, H₂ et NH₃) contribuent à la production de GES : l'H₂ est utilisé par les microorganismes méthanogènes pour réduire le CO₂ en CH₄, tandis que l'excès de NH₃ ruminal non utilisé par les microorganismes du rumen est excrété dans l'urine sous forme d'urée, contribuant ainsi aux émissions de N₂O par le fumier. La production de GES est cependant modulée par plusieurs facteurs tels que : l'espèce fourragère, le cultivar, le stade de développement à la récolte, l'environnement de croissance de la plante, les composés bioactifs, l'utilisation d'additifs et le mode de conservation. Par conséquent, plusieurs pratiques de régie peuvent être mises en place pour atténuer les émissions de GES des bovins qui sont nourris à base de fourrages.

Améliorer la digestibilité du fourrage

Plusieurs études ont démontré que des modifications de la digestibilité des fourrages peuvent affecter les émissions de GES par les bovins. La digestibilité du fourrage peut varier selon le cultivar, le stade de développement à la récolte, et de la période de croissance de la repousse. En général, le fait de retarder la récolte augmente la teneur en fibres, réduit l'ingestion, augmente le temps de rétention du digesta dans le rumen et réduit les teneurs en azote (total et non protéique) du fourrage. Des études récentes ont démontré que l'intensité des émissions de CH₄ (g par kg de lait corrigé pour l'énergie) était réduite de 5 à 25 % lorsque du fourrage moins mature était servi. La baisse la plus importante était observée avec des fourrages récoltés au stade végétatif, plutôt qu'au stade mature. Cette baisse était associée à une augmentation de l'efficacité alimentaire exprimée en kg de MS ingérée/kg de lait corrigé pour l'énergie (Warner et al., 2015; Warner et al., 2017; Pang et al., 2021). Cependant, en raison des teneurs en azote total et en azote non protéique plus élevées dans le fourrage n'ayant pas atteint leur maturité, l'excrétion urinaire d'azote (et par conséquent l'omission potentielle de N₂O) augmente jusqu'à 70% par rapport au fourrage mature. Un équilibre entre le rendement et la qualité du fourrage devrait toujours être pris en compte.

Choix du fourrage

Les études ont démontré que le type de fourrage a un impact majeur sur les émissions de GES des vaches laitières, en effet les différences dans la composition chimique entre les fourrages influencent les produits

finaux issus des fermentations ruminales. Par rapport aux légumineuses et les graminées, les fourrages d'origine céréalière (e.g., ensilage de maïs) ont une concentration élevée en amidon (30-35% versus 1-2%), ce qui devrait orienter la fermentation du rumen vers moins de méthanogénèse. Des études ont montré que lorsque l'ensilage de maïs remplace l'ensilage de luzerne dans l'alimentation des vaches laitières, les émissions de CH₄ étaient réduites (en g/j; g/kg de MS ingérée), alors que l'intensité des émissions de CH₄ (g/kg lait corrigé pour l'énergie) n'était pas affectée (Hassanat et al., 2013; Arndt et al., 2015; Uddin et al., 2020b). Les émissions de CH₄ provenant de l'entreposage et de l'épandage du fumier sont par contre plus élevées avec les régimes à base d'ensilage de maïs comparativement à des rations à base d'ensilage de luzerne ou de trèfle rouge (Massé et al., 2016; Hassanat et Benchaar, 2019; Uddin et al., 2020a).

Comparativement aux fourrages de légumineuses, ceux de graminées ont une concentration plus élevée en fibres, ce qui pourrait laisser croire à une augmentation de la production de CH₄ entérique. Cependant, des études ont montré que les émissions de méthane exprimées sur la base de l'ingestion ou de la production de lait étaient similaires, que les vaches soient nourries avec un fourrage à base de graminées ou de légumineuses (Kasuya et Takahashi, 2010; Hassanat et al., 2014; Wilson et al., 2020). En même temps, les fourrages de légumineuses contiennent plus d'azote total et d'azote non protéique, ce qui laisse prévoir plus d'émissions de N₂O provenant du fumier (Hassanat et al., 2014; Wilson et al., 2020). Néanmoins, cela devrait être contrebalancé par une réduction des besoins en fertilisation azotée des fourrages de légumineuses en raison de leur capacité à utiliser l'azote atmosphérique (Eugène et al., 2021).

Fourrages avec des métabolites secondaires

Les plantes à concentration modérée en métabolites secondaires (tels que les tanins, les polyphénols ou les saponines) peuvent réduire la méthanogénèse et la dégradation des protéines dans le rumen (Beauchemin et al., 2022). L'inclusion de fourrages tels que le lotier corniculé, le sainfoin et le trèfle rouge dans l'alimentation a réduit les émissions entériques de CH₄ et l'excrétion urinaire de N chez les vaches laitières, les vaches de boucherie et les chèvres (Puchala et al., 2012; Chung et al., 2013; Broderick et al., 2017). Cependant, la concentration de ces métabolites secondaires et leur structure moléculaire varient en fonction des cultivars, l'environnement de culture et la méthode de conservation (Makkar et al., 2010; Broderick et al., 2017). L'augmentation du rendement et de la compatibilité de ces fourrages dans les mélanges fourragers nécessitent des recherches supplémentaires, et ce principalement sous les conditions climatiques de l'est du Canada.

Conservation des fourrages

Très peu de travaux ont été réalisés sur l'impact des méthodes de conservation du fourrage sur les émissions de GES des bovins laitiers. La conservation du fourrage en ensilage ou foin entraîne une perte de sa valeur nutritive. Une proportion importante des glucides solubles sont perdus pendant la respiration et le processus de fermentation, alors que les protéines sont dégradées en N non protéique. Un processus de conservation rapide du fourrage sous forme d'ensilage ou de foin maintiendrait la valeur nutritive du fourrage entreposé comparable au fourrage frais, augmenterait l'efficacité de la production laitière et réduirait émissions de GES des vaches. Des travaux de modélisation ont prédit que l'alimentation sous forme d'ensilage réduirait les émissions de CH₄ par rapport à l'alimentation sous forme de foin du même fourrage (Benchaar et al., 2001). Ces résultats sont corroborés par des résultats *in vitro* (Rufino-Moya et al., 2019). Cependant, des travaux récents *in vivo* ont montré que la conservation des fourrages sous forme d'ensilage ou de foin n'influencerait pas l'intensité des émissions de CH₄ ni l'excrétion urinaire de N (Gislon et al., 2020).

Additifs

Plusieurs additifs visant à améliorer la valeur nutritive des fourrages entreposés et à réduire les émissions de GES des bovins sont à l'étude. Les enzymes dégradant la paroi cellulaire des plantes (cellulase et xylanase) peuvent être ajoutées lors de la mise en silo ou directement lors de l'alimentation et ainsi contribuer à l'augmentation de la disponibilité des sucres pour le processus d'ensilement (Muck et al., 2018). Ces enzymes ajoutées directement à l'alimentation peuvent mener à des améliorations de l'ingestion et de la production de lait corrigé pour l'énergie (Romero et al., 2016). Cependant, leurs effets varient en fonction du type de fourrage et de la composition de la diète. Leurs effets sur les émissions de CH₄ ou l'excrétion d'N urinaire n'ont pas encore été étudiés *in vivo*. Un nouvel additif (biochar) semble prometteur. Le biochar, ajouté en

tant qu'amendement, a montré qu'il atténuait les émissions de CH₄ et de N₂O du sol. La capacité du biochar à modifier la fermentation du rumen in vitro varie en fonction des études, de l'origine de la matière première, et de la température de pyrolyse (Leng et al., 2013; Calvelo Pereira et al., 2014; Tamayao et al., 2021). Une étude in vivo menée avec du biochar de pin a démontré aucun effet sur l'émission de CH₄ ou l'excrétion d'azote dans le fumier (Terry et al. 2019).

Pertes de fourrages

Réduire les pertes de fourrages est une pratique qui pourrait permettre de réduire les GES. L'énergie utilisée pour accumuler du C et l'utilisation éléments fertilisants (comme le N et P) pour produire de fourrage est alors perdue lors de ces pertes au lieu d'être utilisée pour produire du lait ou de la viande. Trois types de pertes sont identifiées : (1) les pertes à la récolte; (2) les pertes avant et durant l'entreposage; et (3) les pertes à la reprise et au moment de l'alimentation. Ces pertes alimentaires sont estimées à 5-30% du matériel récolté ou acheté pour nourrir les animaux (Borreani et al., 2018; Ishler et Beck, 2022; Burkhardt, 2023). Le problème est exacerbé si le fourrage perdu est envoyé dans la fosse à fumier pour être ensuite dégradé et devenir une source de GES de la fosse. La réduction de ces pertes va augmenter l'efficacité de l'utilisation globale des ressources de la ferme et ainsi réduire la production de GES.

Conclusion

Plusieurs pratiques de gestion des fourrages adaptées au profil de la ferme peuvent être appliquées afin de réduire les émissions de GES et améliorer la production laitière. Il est important de considérer que les pratiques visant la réduction des émissions de CH₄ entérique pourraient éventuellement augmenter ou réduire les émissions de N₂O provenant de l'entreposage et de l'épandage du fumier. Une analyse du cycle de vie est nécessaire pour évaluer les effets d'une stratégie d'atténuation sur les émissions de GES de l'ensemble de la ferme. Dans le cadre d'une agriculture durable et respectueuse de l'environnement, la contribution du système de production fourragère à la séquestration du carbone, à la fixation de l'azote atmosphérique, ainsi qu'à l'amélioration de la qualité de l'eau, de la biodiversité et de la faune va au-delà de l'atténuation des émissions de GES.

Références

- Arndt, C., J. M. Powell, M. J. Aguerre, et M. A. Wattiaux. 2015. Performance, digestion, nitrogen balance, and emission of manure ammonia, enteric methane, and carbon dioxide in lactating cows fed diets with varying alfalfa silage-to-corn silage ratios. *J. Dairy Sci.* 98:418-430.
- Beauchemin, K. A., E. M. Ungerfeld, A. L. Abdalla, C. Alvarez, C. Arndt, P. Becquet, C. Benchaar, A. Berndt, R. M. Mauricio, T. A. McAllister, W. Oyhantcabal, S. A. Salami, L. Shalloo, Y. Sun, J. Tricarico, A. Uwizeye, C. De Camillis, M. Bernoux, T. Robinson, et E. Kebreab. 2022. Invited review: Current enteric methane mitigation options. *J. Dairy Sci.* 105:9297-9326.
- Benchaar, C., C. Pomar, et J. Chiquette. 2001. Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: A modelling approach. *Can. J. Anim. Sci.* 81:563-574
- Borreani, G., E. Tabacco, R. J. Schmidt, B. J. Holmes, et R. E. Muck. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *J. Dairy Sci.* 101:3952-3979.
- Broderick, G. A., J. H. Grabber, R. E. Muck, et U. C. Hymes-Fecht. 2017. Replacing alfalfa silage with tannin-containing birdsfoot trefoil silage in total mixed rations for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 100:3548-3562.
- Burkhardt, J. 2023. Evaluating options for feeding bales. Vol. 2023. Canadian Cattlemen.
- Calvelo Pereira, R., S. Muetzel, M. Camps Arbertain, P. Bishop, K. Hina, et M. Hedley. 2014. Assessment of the influence of biochar on rumen and silage fermentation: A laboratory-scale experiment. *Anim. Feed Sci. Technol.* 196:22-31.
- Chung, Y.-H., E. J. Mc Geough, S. Acharya, T. A. McAllister, S. M. McGinn, O. M. Harstad, et K. A. Beauchemin. 2013. Enteric methane emission, diet digestibility, and nitrogen excretion from beef heifers fed sainfoin or alfalfa. *J. Anim. Sci.* 91:4861-4874.
- Environment Canada. 2021. National Inventory Report 1990-2019: Greenhouse gas sources and sinks in Canada. Environment Canada, Ottawa, ON.
- Eugène, M., K. Klumpp, et D. Sauvant. 2021. Methane mitigating options with forages fed to ruminants. *Grass Forage Sci.* 76:196-204.

Gislon, G., S. Colombini, G. Borreani, G. M. Crovetto, A. Sandrucci, G. Galassi, E. Tabacco, et L. Rapetti. 2020. Milk production, methane emissions, nitrogen, and energy balance of cows fed diets based on different forage systems. *J. Dairy Sci.* 103:8048-8061.

Hassanat, F. et C. Benchaar. 2019. Methane emissions of manure from dairy cows fed red clover- or corn silage-based diets supplemented with linseed oil. *J. Dairy Sci.* 102:11766-11776.

Hassanat, F., R. Gervais, C. Julien, D. I. Masse, A. Lettat, P. Y. Chouinard, H. V. Petit, et C. Benchaar. 2013. Replacing alfalfa silage with corn silage in dairy cow diets: Effects on enteric methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *J. Dairy Sci.* 96:4553-4567.

Hassanat, F., R. Gervais, D. I. Masse, H. V. Petit, et C. Benchaar. 2014. Methane production, nutrient digestion, ruminal fermentation, N balance, and milk production of cows fed timothy silage- or alfalfa silage-based diets. *J. Dairy Sci.* 97:6463-6474.

Ishler, V. A. et T. Beck. 2022. Feed Inventory for the Dairy Herd: Planning for Shortages. Pages 1-6. P. S. Extension, ed. Penn State College of Agricultural Sciences research and extension.

Kasuya, H. et J. Takahashi. 2010. Methane Emissions from Dry Cows Fed Grass or Legume Silage. *Asian-Austral. J. Anim. Sci.* 23:563-566.

Leng, R. A., S. Inthapanya, et T. R. Preston. 2013. All biochars are not equal in lowering methane production in in vitro rumen incubations. *Livest. Res. Rural Devel.* 25:12

Makkar, H. P. S., P. Siddhuraju, et K. Becker. 2010. Plant secondary metabolites. Vol. 393. *Methods Mol. Biol. Humana Press*, Totowa, N.J.

Massé, D. I., G. Jarret, F. Hassanat, C. Benchaar, et N. M. C. Saady. 2016. Effect of increasing levels of corn silage in an alfalfa-based dairy cow diet and of manure management practices on manure fugitive methane emissions. *Agri. Ecosys. Environ.* 221:109-114.

Muck, R. E., E. M. G. Nadeau, T. A. McAllister, F. E. Contreras-Govea, M. C. Santos, et L. Kung. 2018. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *J. Dairy Sci.* 101:3980-4000.

Pang, D., T. Yan, et S. Krizsan. 2021. Effect of strategy for harvesting regrowth grass silage on performance in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 104:367-380.

Puchala, R., G. Animut, A. K. Patra, G. D. Detweiler, J. E. Wells, V. H. Varel, T. Sahlu, et A. L. Goetsch. 2012. Methane emissions by goats consuming *Sericea lespedeza* at different feeding frequencies. *Anim. Feed Sci. Technol.* 175:76-84.

Romero, J. J., E. G. Macias, Z. X. Ma, R. M. Martins, C. R. Staples, K. A. Beauchemin, et A. T. Adesogan. 2016. Improving the performance of dairy cattle with a xylanase-rich exogenous enzyme preparation. *J. Dairy Sci.* 99:3486-3496.

Rufino-Moya, P. J., M. Blanco, J. R. Bertolín, et M. Joy. 2019. Effect of the method of preservation on the chemical composition and in vitro fermentation characteristics in two legumes rich in condensed tannins. *Anim. Feed Sci. Technol.* 251:12-20.

Tamayao, P., G. O. Ribeiro, T. A. McAllister, K. H. Ominski, A. M. Saleem, H. E. Yang, E. K. Okine, E. J. McGeough, et F. Miglior. 2021. Effect of pine-based biochars with differing physiochemical properties on methane production, ruminal fermentation, and rumen microbiota in an artificial rumen (RUSITEC) fed barley silage. *Can. J. Anim. Sci.* 101:577-589.

Terry, S. A., G. O. Ribeiro, R. J. Gruninger, A. V. Chaves, K. A. Beauchemin, E. Okine, and T. A. McAllister. 2019. A Pine Enhanced Biochar Does Not Decrease Enteric CH₄ Emissions, but Alters the Rumen Microbiota. *Front Vet Sci* 6:308.

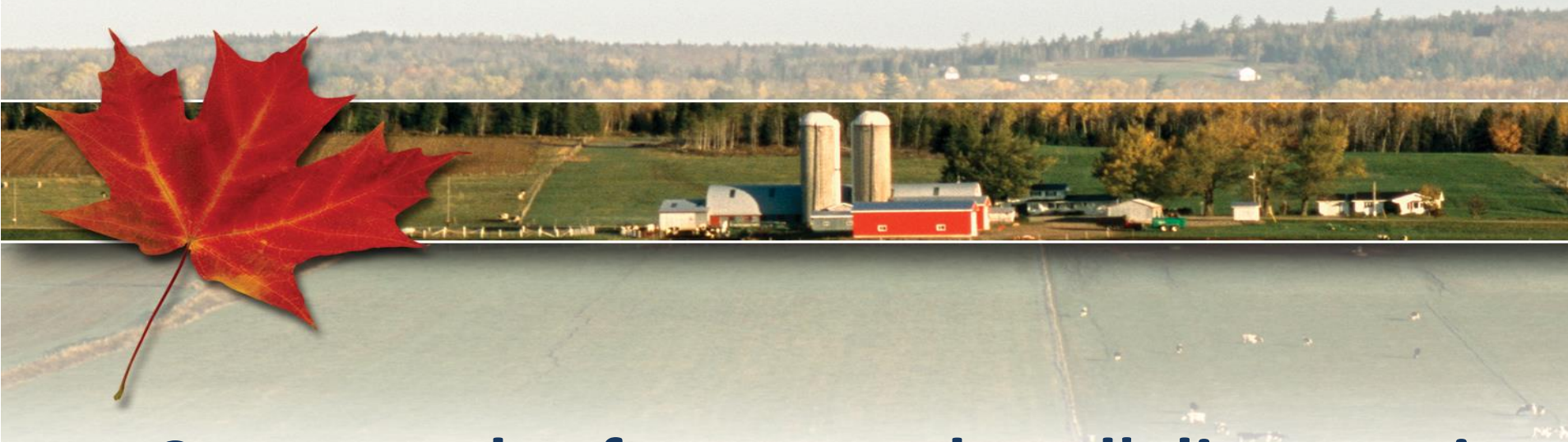
Uddin, M. E., R. A. Larson, et M. A. Wattiaux. 2020a. Effects of dairy cow breed and dietary forage on greenhouse gas emissions from manure during storage and after field application. *J. Cleaner Prod.* 270:122461.

Uddin, M. E., O. I. Santana, K. A. Weigel, et M. A. Wattiaux. 2020b. Enteric methane, lactation performances, digestibility, and metabolism of nitrogen and energy of Holsteins and Jerseys fed 2 levels of forage fiber from alfalfa silage or corn silage. *J. Dairy Sci.* 103(7):6087-6099. 10.3168/jds.2019-17599

Warner, D., A. Bannink, B. Hatew, H. van Laar, et J. Dijkstra. 2017. Effects of grass silage quality and level of feed intake on enteric methane production in lactating dairy cows. *J. Anim. Sci.* 95:3687-3699.

Warner, D., B. Hatew, S. C. Podesta, G. Klop, S. Van Gastelen, H. Van Laar, J. Dijkstra, et A. Bannink. 2015. Effects of nitrogen fertilisation rate and maturity of grass silage on methane emission by lactating dairy cows. *Animal* 10:34-43.

Wilson, R. L., M. Bionaz, J. W. MacAdam, K. A. Beauchemin, H. D. Naumann, et S. Ates. 2020. Milk production, nitrogen utilization, and methane emissions of dairy cows grazing grass, forb, and legume-based pastures. *J. Anim. Sci.* 98. 10.1093/jas/skaa220



Comment les fourrages dans l'alimentation des vaches influencent leur production de gaz à effet de serre

Fadi Hassanat¹ et Chaouki Benchaar²

¹Centre de recherche et développement de Québec, Québec, QC.

²Centre de recherche et développement de Sherbrooke, Sherbrooke, QC.

- **Introduction: Changements climatiques**
- **Digestibilité du fourrage**
- **Choix du fourrage**
- **Fourrages avec des métabolites secondaires**
- **Conservation des fourrages**
- **Pertes de fourrages**
- **Résumé et Conclusion**

Changements climatiques

Émission de gaz à effet de serre (GES) en 2019:

- Global = 59 000 MT CO₂ eq
 - Canada = 1,3% du global
 - Agriculture canadienne = 59 MT CO₂ eq (8,2%)

| GES | Durée de vie atmosphérique (ans) | Pouvoir de rechauffement global |
|------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| CO ₂ | 5-200 | 1 |
| CH ₄ | 12 | 28 |
| N ₂ O | 121 | 265 |

(IPCC 2022)

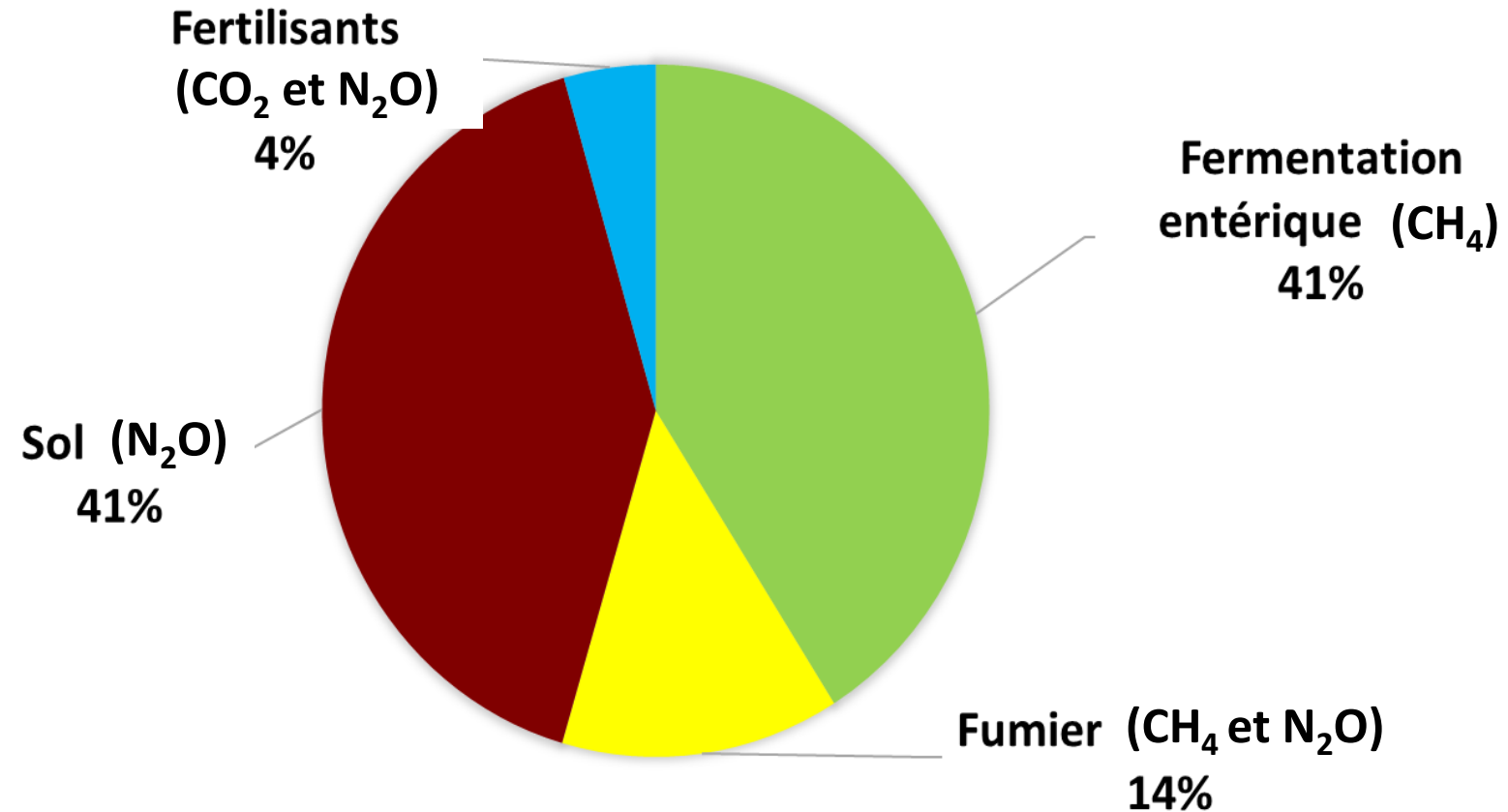
Changements climatiques

- Objectif: Limiter le réchauffement climatique à 1,5°C.
- Carboneutralité globale en 2050.

| GES | % de réduction par rapport à maintenant |
|------------------|---|
| | 2050 |
| CO ₂ | 84 % |
| CH ₄ | 45 % |
| N ₂ O | 20 % |

(IPCC 2022)

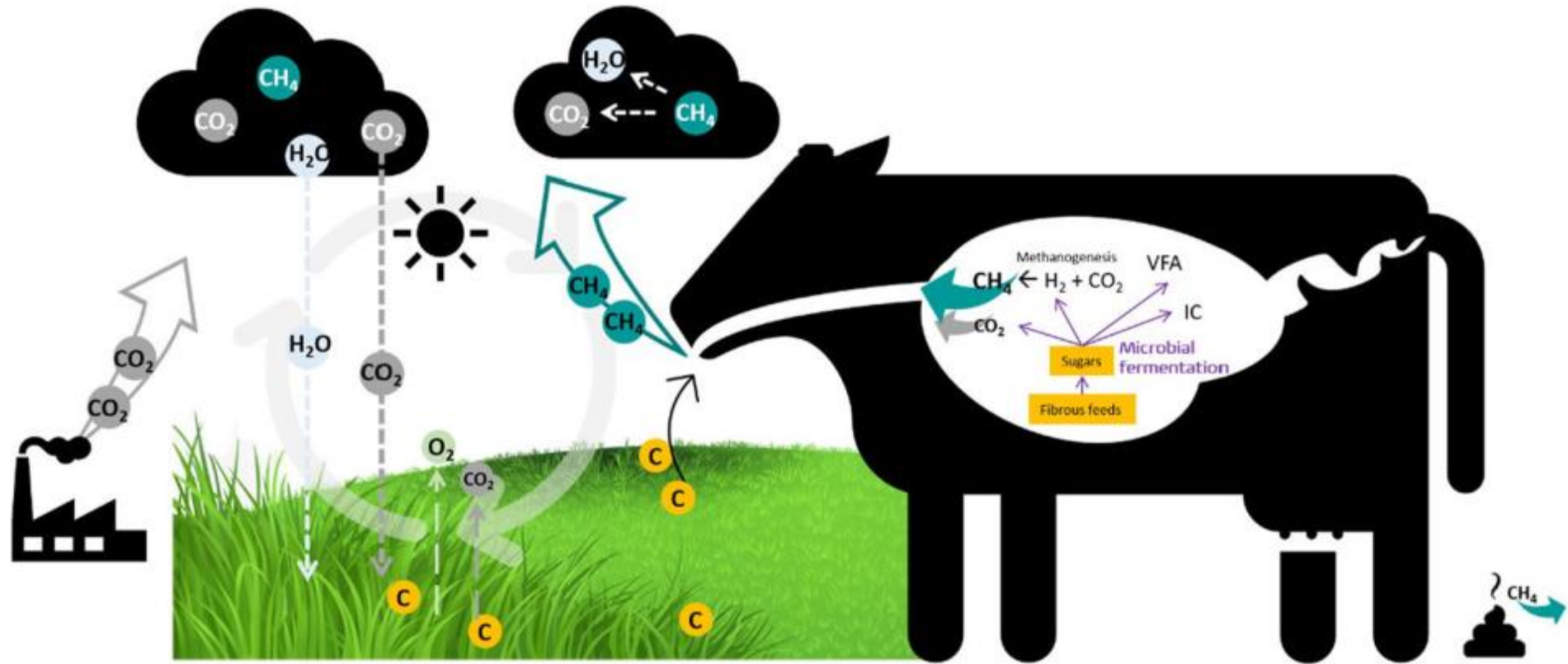
Changements Climatiques



Gaz à effet de serre agricole au Canada

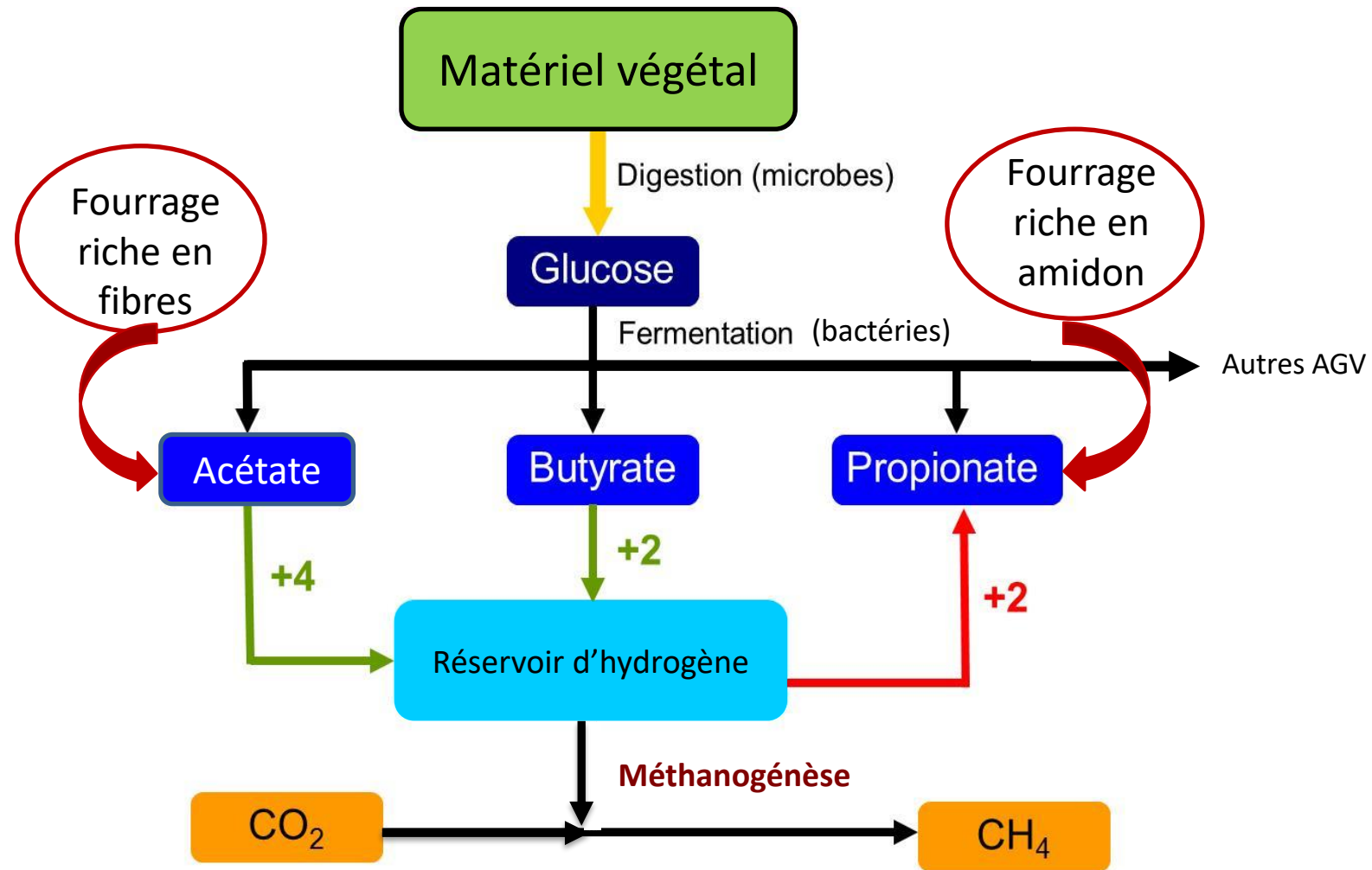
(Environnement Canada 2021)

Cycle du CH₄ dans l'environnement

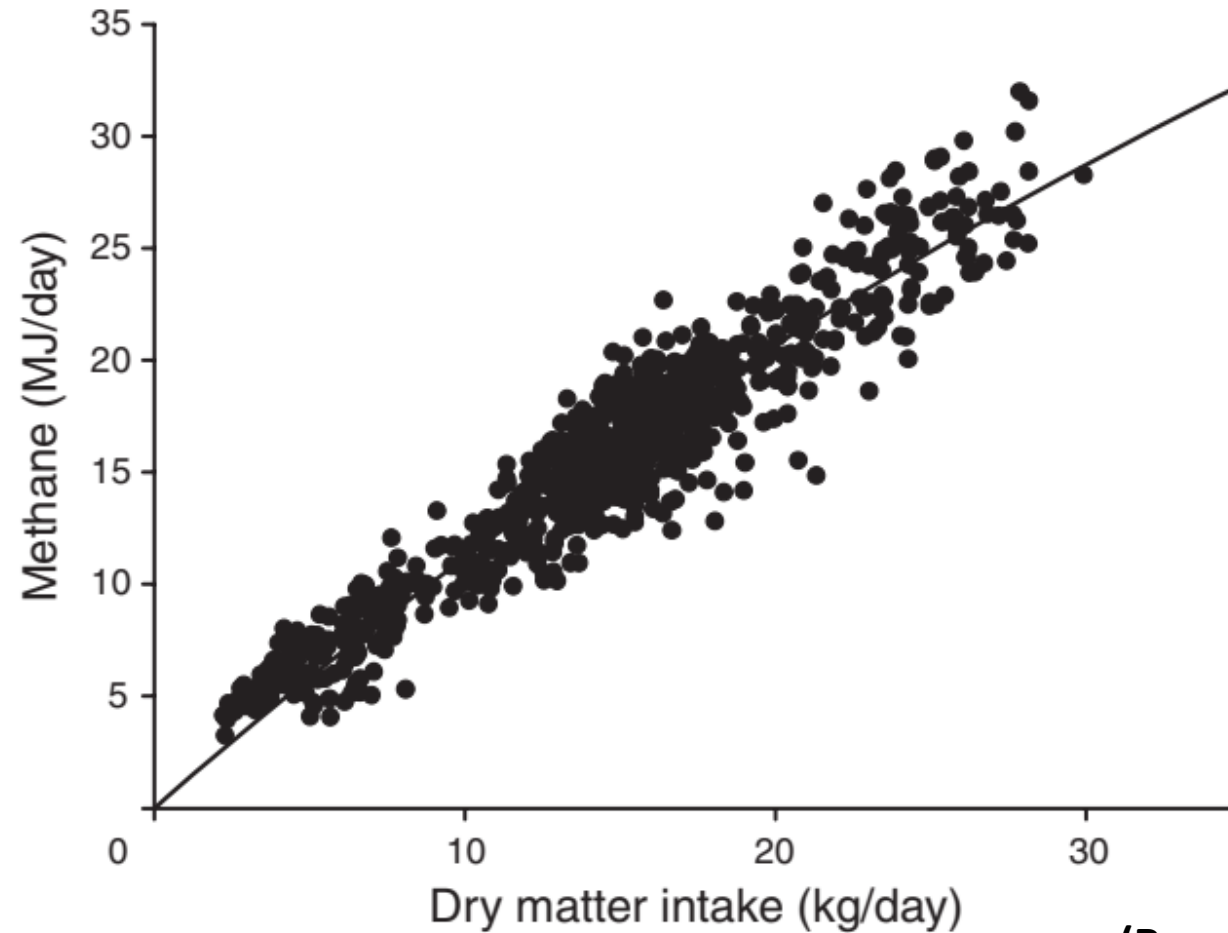


(Pereira et al. 2022)

Production de CH_4 dans le rumen

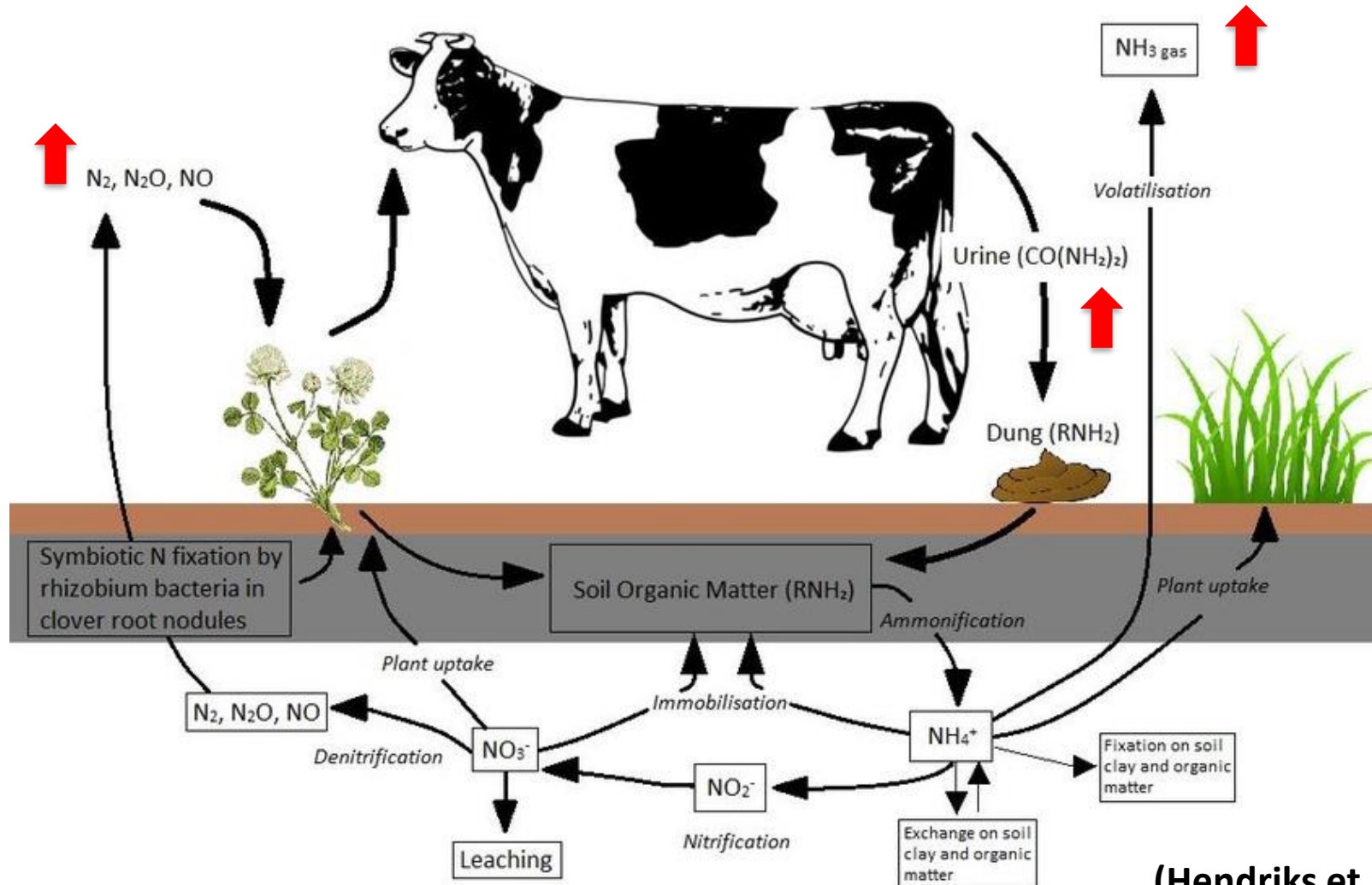


Relation entre l'ingestion et le CH₄ entérique



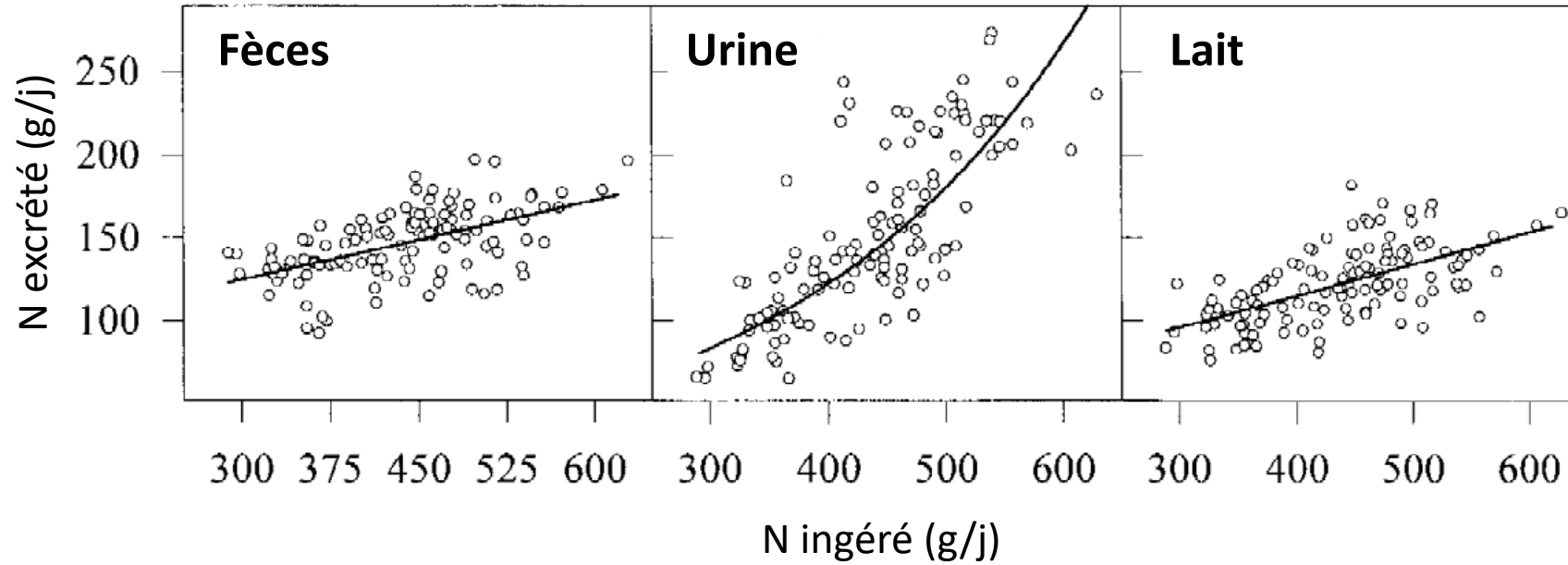
(Reynolds et al. 2011)

Cycle du N_2O dans l'environnement



(Hendriks et al. 2016)

Relation entre l'ingestion du protéines bûtes et l'azote urinaire



(Kebreab et. al. 2001)

Atténuation du CH₄ entérique et de l'azote urinaire

**CH₄ et N₂O
2 GES puissants**



**Perte d'énergie, d'azote
alimentaire**



- Bénéfice à court terme: économique (efficacité améliorée).
- Bénéfice à long terme: production agricole durable.

Les fourrages influencent les GES

Les fourrages (60-100% de ration de vache laitière) apport:

- Fibres: source d'énergie;
- Glucides non-fibreux (sucres solubles, amidon);
- Protéines brutes (rapidement dégradables au rumen).

Les fourrages influencent les GES

Variations entre les fourrages de nutriments apportés:

- l'espèce fourragère et le cultivar
- le stade de développement à la récolte
- l'environnement de croissance de la plante
- le mode de conservation
- les composants bioactifs

Comment peut-on utiliser ces variations pour diminuer le GES

Digestibilité du fourrage

Digestibilité du fourrage

I. Le stade de développement à la récolte (Warner et al. 2015)

- Mélange de fourrages: ray-grass (2 cultivars, 72 %) et fléole (28 %)
- Récolte: après 28, 41, ou 62 jours de repousse, puis ensilé.
- Diète: 80 % ensilage + 20 % concentrés

| | Jours de repousse avant la récolte | | |
|---------------------|------------------------------------|------|------|
| | 28 | 41 | 62 |
| Rendement, kg MS/ha | 2039 | 3412 | 4664 |
| PB, % MS | 17,3 | 14,0 | 9,9 |
| NDF, % MS | 46,8 | 50,4 | 58,2 |
| ADL, % NDF | 44 | 46 | 50 |

Digestibilité du fourrage

| | Jours de repousse avant la récolte | | | <i>P</i> |
|------------------------------|------------------------------------|------|------|----------|
| | 28 | 41 | 62 | |
| Ingestion, kg MS/j | 15,9 | 14,7 | 14,1 | < 0,01 |
| Digestibilité PB, % | 76,6 | 73,9 | 72,6 | < 0,01 |
| Digestibilité NDF, % | 78,5 | 77,9 | 66,0 | < 0,01 |
| Lait*, kg/j | <u>27,7</u> | 23,9 | 20,6 | < 0,01 |
| CH ₄ , g/kg lait* | <u>13,0</u> | 15,0 | 17,1 | < 0,01 |
| NH ₃ , mmol/L | <u>19,6</u> | 15,6 | 13,2 | < 0,01 |

*lait corrigé pour l'énergie

(Warner et al. 2015)

Digestibilité du fourrage

II. Choix de l'hybride de maïs (Hassanat et al. 2017)

- Ensilage de maïs: conventionnel vs BMR (faible en lignine)
- Diète: 59 % ensilage de maïs, 35 % concentrés

| | Ensilage de maïs | |
|---------------------|------------------|------|
| | Conventionnel | BMR |
| Rendement, kg MS/ha | - | - |
| PB, % MS | 5,5 | 6,5 |
| NDF, % MS | 34,3 | 34,4 |
| ADL, % NDF | 7,9 | 6,1 |

Digestibilité du fourrage

| | Ensilage de maïs | | <i>P</i> |
|--------------------|------------------|------|----------|
| | Conventionnel | BMR | |
| Ingestion, kg MS/j | 25,8 | 27,4 | < 0,01 |
| Digestibilité, % | | | |
| MS | 70,1 | 69,4 | 0,20 |
| PB | 73,2 | 71,1 | < 0,01 |
| NDF | 54,4 | 53,4 | 0,51 |

(Hassanat et al. 2017)

Digestibilité du fourrage

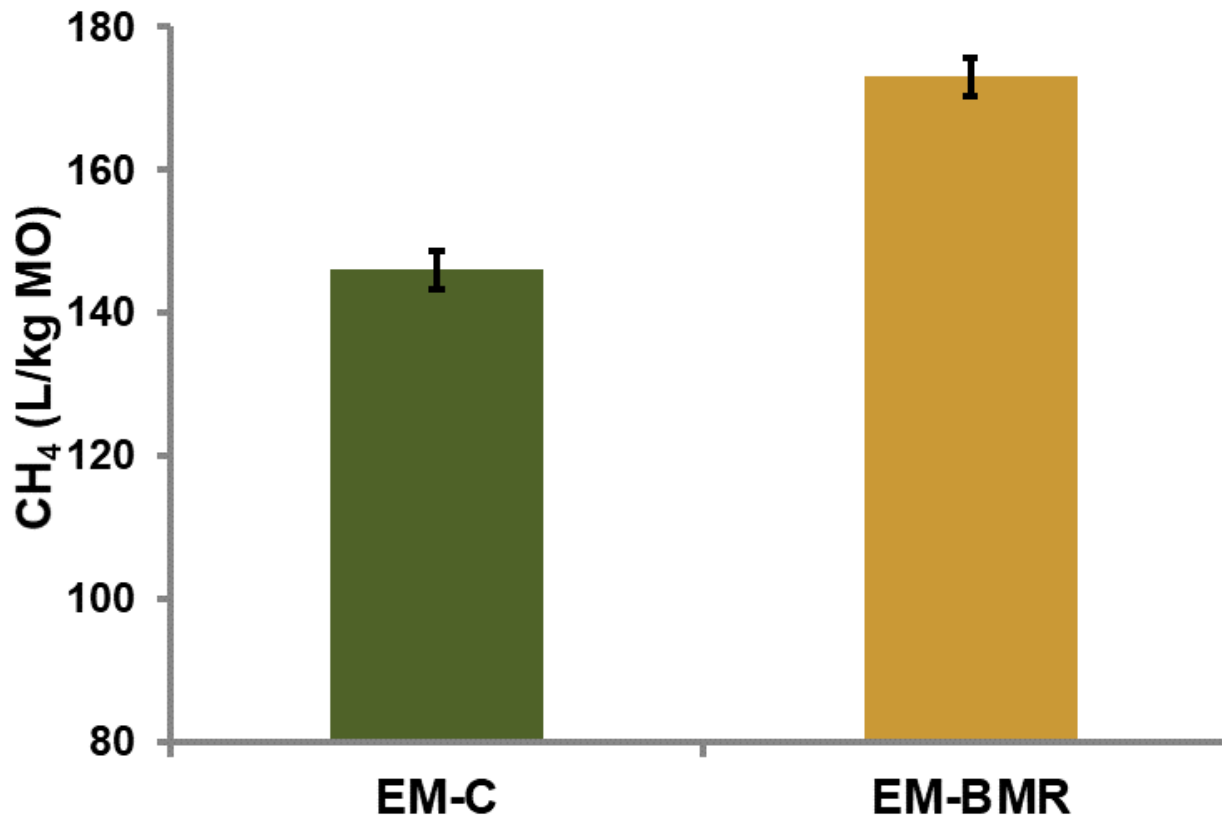
| | Ensilage de maïs | | <i>P</i> |
|------------------------------|------------------|-------------|----------|
| | Conventionnel | BMR | |
| Lait*, kg/j | 37,5 | <u>40,4</u> | < 0,01 |
| CH ₄ , g/kg Lait* | 13,1 | <u>11,8</u> | 0,02 |
| N fécal, g/j | 178 | <u>198</u> | < 0,01 |
| N urinaire, g/j | 319 | <u>282</u> | < 0,01 |

*lait corrigé pour l'énergie

(Hassanat et al. 2017)

Digestibilité du fourrage

Émission de CH_4 du fumier de vaches nourries avec l'ensilage de maïs conventionnel (EM-C) ou BMR (EM-BMR).



(Benchaar et Hassanat 2019)

Digestibilité du fourrage

- **Le fourrage plus digestible:**
 - Plus faible concentration de NDF
 - Lignification plus faible (g lignine/kg NDF)
 - Concentration élevée de glucides non-fibreux
 - Concentration élevée d'azote non-protéique
- **Influence sur la vache:**
 - Temps de rétention du digesta dans le rumen diminue
 - Digestibilité de la fibre augmente, l'ingestion augmente
 - Production de lait augmente

Digestibilité du fourrage

- **Influence sur la vache:**
 - Production de CH_4 g/kg lait diminue
 - Excrétion d'azote urinaire varie selon le fourrage
- **Influence sur les champs:**
 - Émission GES de CH_4 (fosse à fumier) et d' N_2O (fosse à fumier, champ)
 - Ajouter une autre coupe de fourrage: le rendement sera influencé
 - Besoins de fertilisants, accès de machineries au champ

Choix de l'ensilage

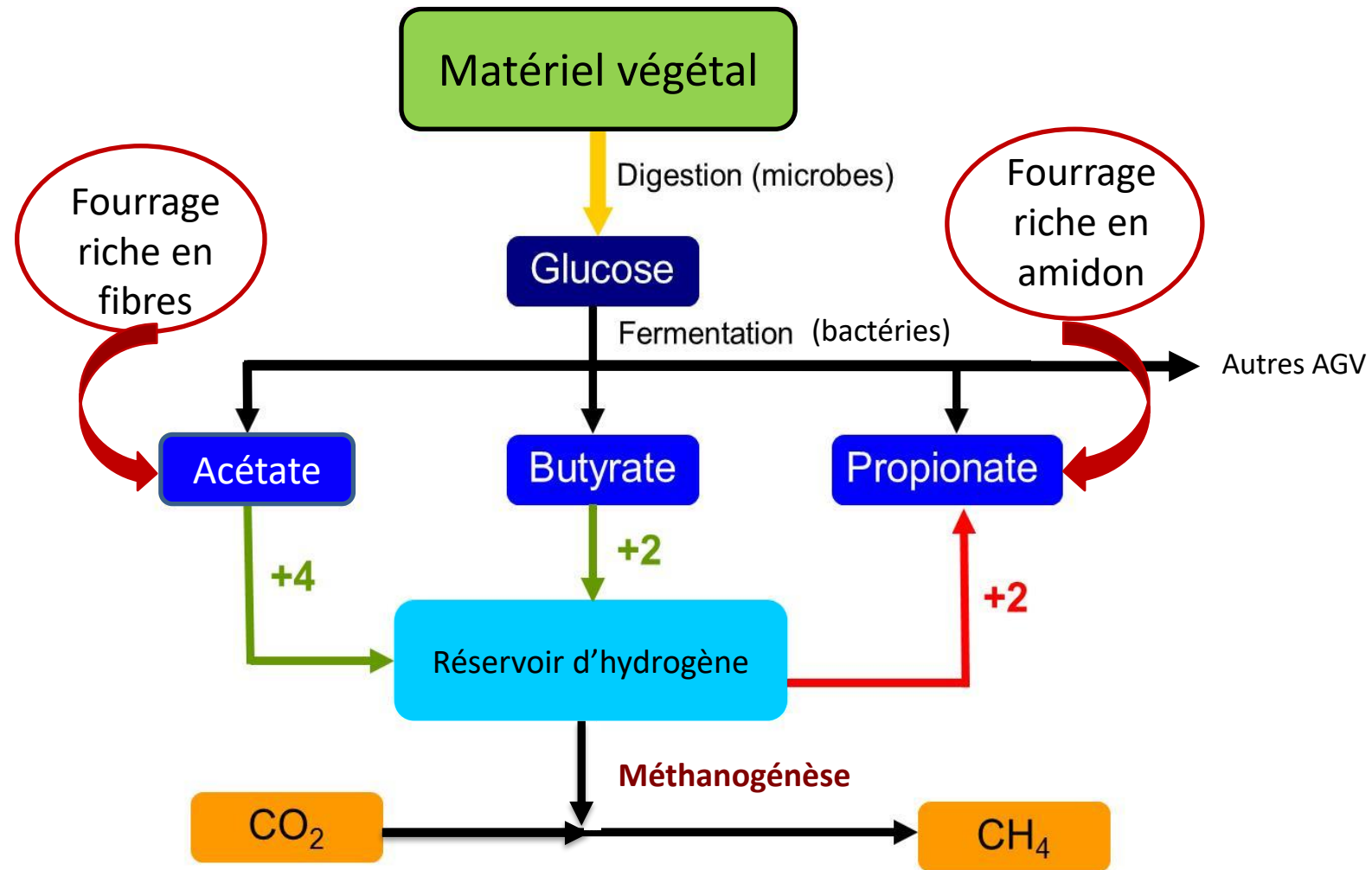
Choix de l'ensilage

I. Ensilage de maïs versus de luzerne (Hassanat et al. 2013)

- Ensilage de maïs remplace l'ensilage de luzerne dans la diète.
- Diète 56 % ensilage, 40 % concentrés
- Les concentrés diffèrent entre les traitements:
 - Diète d'ensilage de luzerne: plus de maïs grain
 - Diète d'ensilage de maïs: plus de tourteau de soya

| | Ensilage | |
|--------------|----------|------|
| | Luzerne | Maïs |
| PB, % MS | 20,4 | 6,8 |
| NDF, % MS | 35,7 | 33,3 |
| Amidon, % MS | 1,8 | 33,9 |

Production de CH_4 dans le rumen



Choix de l'ensilage

| | Ensilage | | <i>P</i> |
|--------------------|----------|------|----------|
| | Luzerne | Maïs | |
| Ingestion, kg MS/j | 21,7 | 24,6 | < 0,01 |
| Digestibilité, % | | | |
| MS | 69,7 | 71,3 | 0,03 |
| PB | 68,7 | 71,7 | < 0,01 |
| NDF | 55,4 | 47,3 | < 0,01 |
| pH ruminal | 6,31 | 6,07 | < 0,01 |

(Hassanat et al. 2013)

Choix de l'ensilage

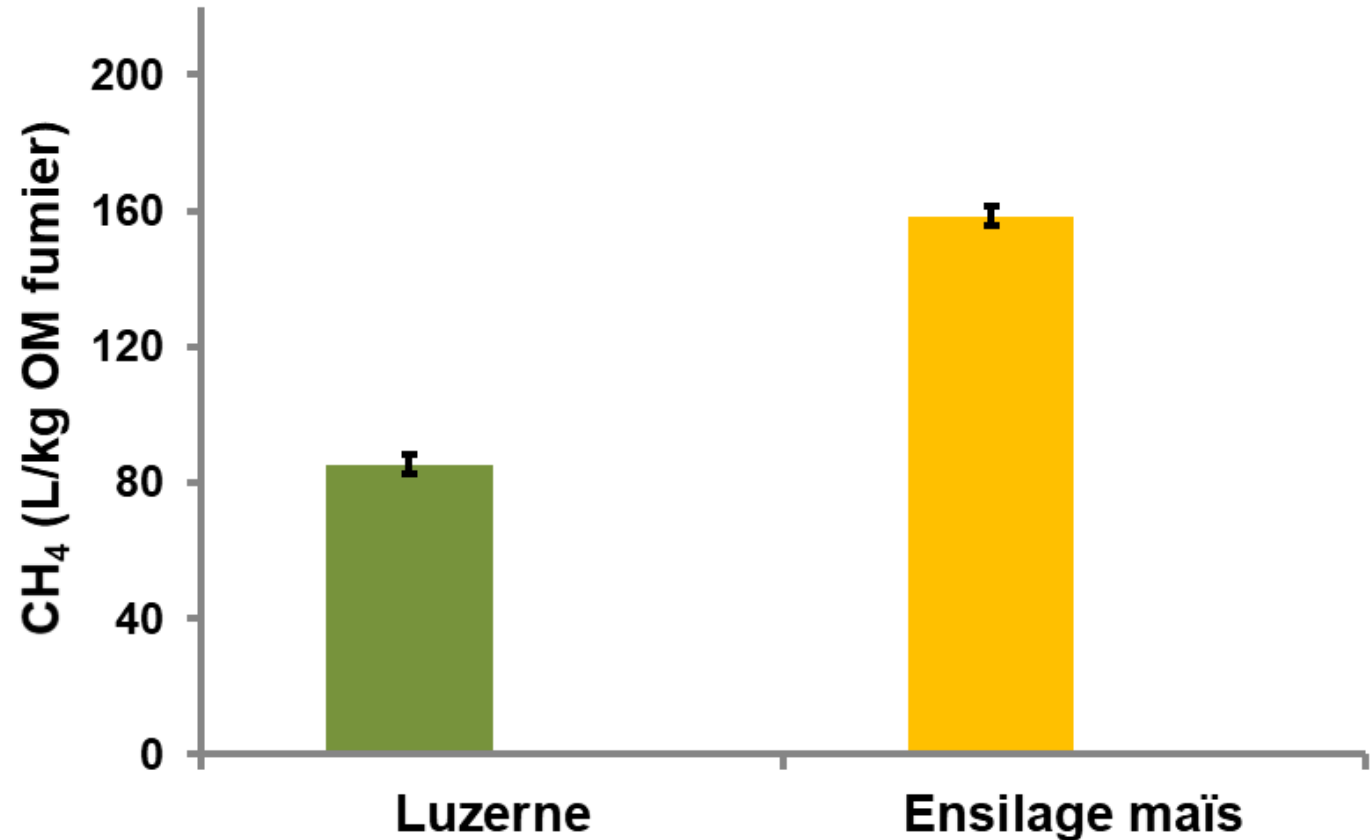
| | Ensilage | | <i>P</i> |
|-------------------------------|----------|------------|----------|
| | Luzerne | Maïs | |
| Lait*, kg/j | 33,7 | 33,4 | 0,74 |
| CH ₄ , g/ kg Lait* | 13,4 | 13,2 | 0,43 |
| N fécal, g/j | 176 | 158 | < 0,01 |
| N urinaire, g/j | 216 | <u>188</u> | < 0,01 |

*lait corrigé pour l'énergie

(Hassanat et al. 2013)

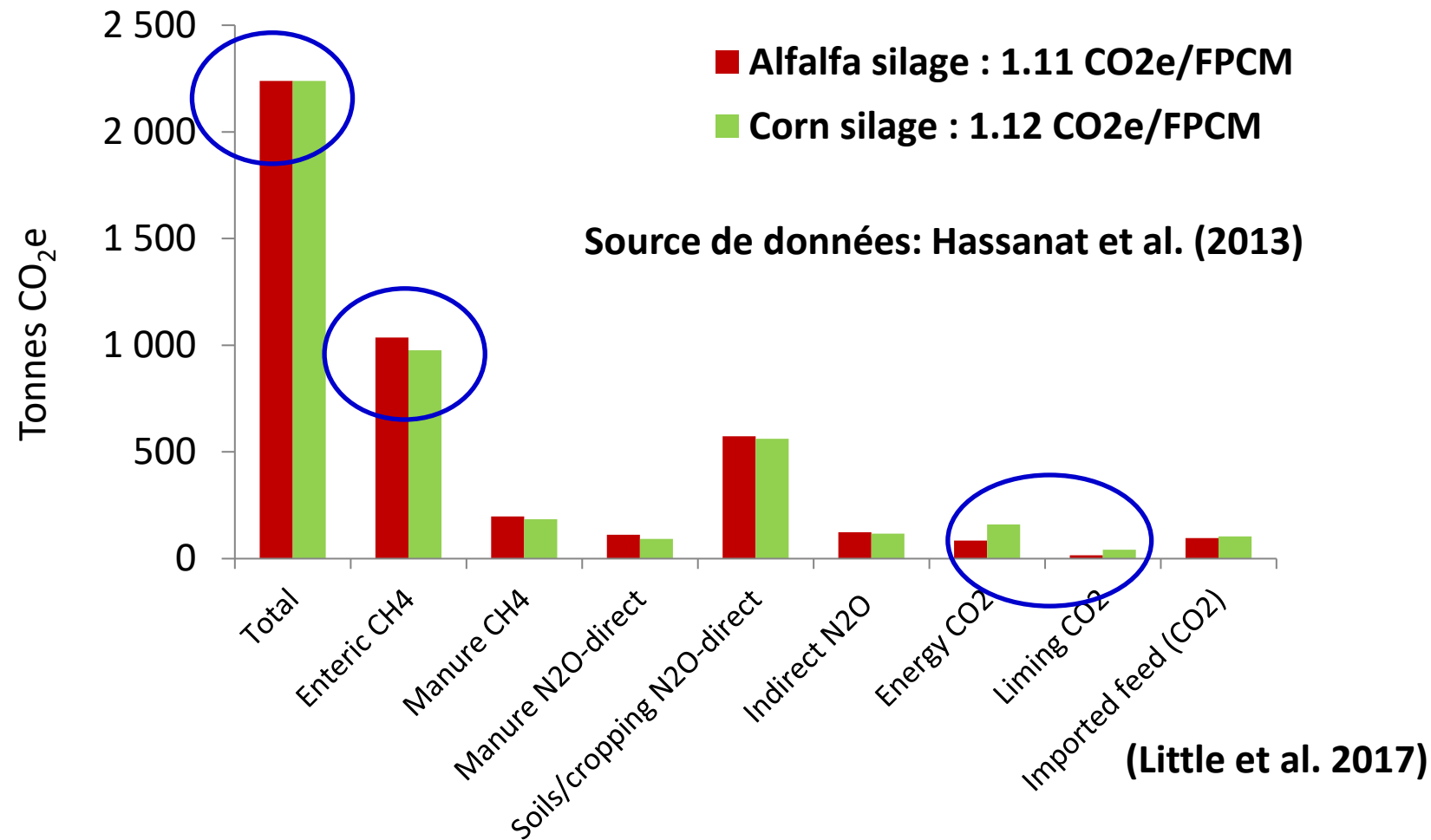
Choix de l'ensilage

Émission de CH_4 dans le fumier de vaches nourries avec de l'ensilage de luzerne ou de l'ensilage de maïs



(Masse et al. 2016)

Choix de l'ensilage - Analyse de cycle de vie



Choix de l'ensilage

II. Ensilage de légumineuses versus de graminées (Hassanat et al. 2014)

- Ensilage de luzerne remplace l'ensilage de fléole des prés.
- Diète: 54 % ensilage, 40 % concentrés
- Les concentrés diffèrent entre les traitements:
 - Diète d'ensilage de luzerne: plus de maïs grain
 - Diète d'ensilage de fléole: plus de tourteau de soya

| | Ensilage | |
|-----------|-----------------|---------|
| | Fléole des prés | Luzerne |
| PB, % MS | 13,6 | 20,5 |
| NDF, % MS | 52,1 | 36,9 |
| ADF, % MS | 35,2 | 33,2 |

Choix de l'ensilage

| | Ensilage | |
|------------------------------|-----------------|---------|
| | Fléole des prés | Luzerne |
| Ingestion, kg MS/j | <u>22,5 b</u> | 24,6 a |
| Digestibilité de la MS, % | 70,3 | 70,3 |
| Digestibilité du NDF, % | <u>62,0 a</u> | 53,4 b |
| Lait*, kg/j | 40,6 | 39,9 |
| CH ₄ , g/kg Lait* | <u>11,8</u> | 12,4 |
| N urinaire, g/j | <u>177 b</u> | 209 a |

*lait corrigé pour l'énergie

(Hassanat et al. 2014)

Choix de l'ensilage

Choix de l'ensilage dans la diète:

- Ensilage de fourrage de céréales: plus d'amidon, digestibilité du NDF plus faible.
- Ensilage de graminées: source de NDF et de glucides fermentescibles.
- Ensilage de légumineuses: source de N rapidement disponible dans le rumen (inefficacité avec du luzerne).

Influence sur la vache:

- Varie selon le type de fourrage, la contribution de fourrage dans la diète, et la formulation de la diète.
- Favoriser l'augmentation de la digestion de la fibre.

Choix de l'ensilage

Influence sur la vache:

- Influence sur l'émission entérique de CH_4 (g/kg lait) est estimé à 5-8%.
- Influence sur l'excrétion d'azote urinaire dépend du fourrage (luzerne).

Influence sur les champs:

- Émission GES de CH_4 (fosse à fumier) et d' N_2O (fosse à fumier, champ).
- Importance de faire l'analyse de cycle de vie.

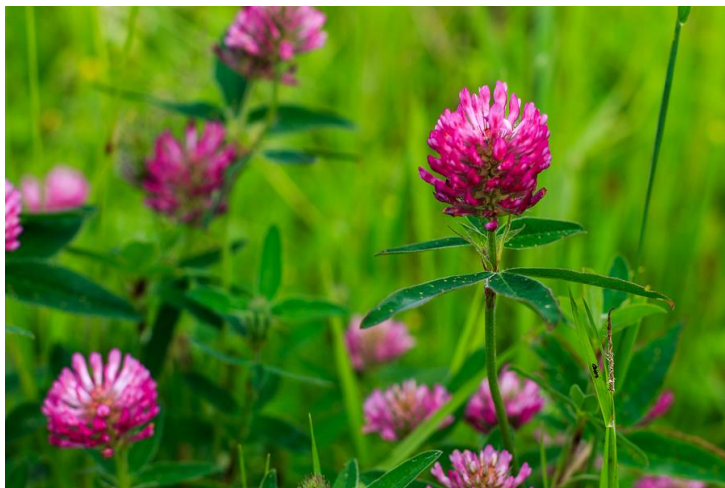
Fourrages avec des métabolites secondaires

Fourrages avec des métabolites secondaires

Tannins

Polyphénol oxydase

Saponines



Fourrages avec des métabolites secondaires

I. Tannins: lotier corniculé, sainfoin, chicorée

- Hydrolysables: dégradables
- Condensés: liés ou non liés

Bioactivité: - structure moléculaire
- concentration

Mode d'action

- S'attachent aux protéines dans le rumen: diminue la dégradation de la protéine dans le rumen
- Diminuent la population méthanogène et de protozoaires
- Diminuent la digestion du NDF

Fourrages avec des métabolites secondaires

I. Tannins: Raygrass vs Lotier corniculé (Woodward et al. 2004)

- Expérience au pâturage (aucun supplément)
- 32 Vaches laitières en fin de lactation

| Composition, % MS | Pâturage | |
|----------------------------|----------|--------|
| | Raygrass | Lotier |
| PB | 25,1 | 27,9 |
| NDF | 41,1 | 28,4 |
| Tannins condensés non liés | 0 | 1,87 |
| Tannins condensés liés | 0 | 0,75 |

Fourrages avec des métabolites secondaires

I. Tannins: Raygrass vs Lotier corniculé

| | Pâturage | |
|-----------------------------|----------|------------------|
| | Raygrass | Lotier corniculé |
| Ingestion, kg MS/j | 14,9 b | 17,4 a |
| Lait, kg/j | 18,5 b | <u>24,4 a</u> |
| CH ₄ , g/kg Lait | 19,5 a | <u>14,1 b</u> |

(Woodward et al. 2004)

Fourrages avec des métabolites secondaires

I. Tannins: Luzerne vs Lotier corniculé (Broderick et al. 2017)

- Ensilage de lotier remplace l'ensilage de luzerne dans la diète
- Vaches en mi-lactation et en stabulation entravée
- Diète contenant 51 % d'ensilage de luzerne ou de lotier

| Composition, % MS | Ensilage | |
|-------------------|----------|------------------|
| | Luzerne | Lotier corniculé |
| PB | 26,4 | 20,5 |
| NDF | 35,6 | 38,1 |
| Tannins condensés | 0 | 1,17 |

Fourrages avec des métabolites secondaires

I. Tannins: Luzerne versus Lotier corniculé

| | Ensilage | |
|---------------------------|----------|------------------|
| | Luzerne | Lotier corniculé |
| Ingestion, kg MS/j | 25,4 b | <u>28,2 a</u> |
| Digestibilité du NDF, % | 48,1 a | 41,3 b |
| Digestibilité de la PB, % | 66,9 a | 55,5 b |
| Lait*, kg/j | 40,5 | <u>42,2</u> |
| N urinaire, g/j | 307 a | <u>275 b</u> |

*lait corrigé pour l'énergie

(Broderick et al. 2017)

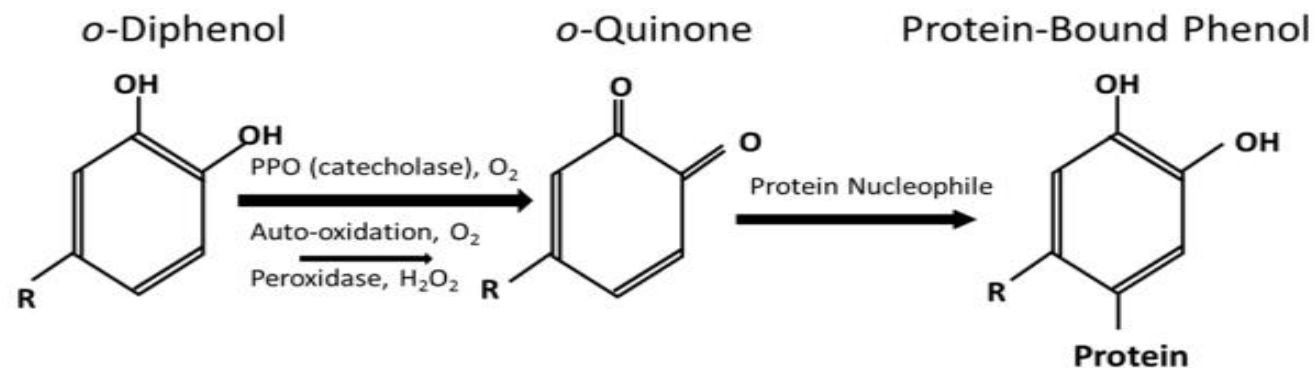
Fourrages avec des métabolites secondaires

II. Polyphénol oxydase: trèfle rouge, dactyle

Bioactivité: activation d'enzyme, concentration de phénols, O₂.

Mode d'action: Diminue la solubilité de la protéine pendant la conservation d'ensilage et dans le rumen.

Aucun influence sur la production de CH₄.



(Lee 2014)

Fourrages avec des métabolites secondaires

II. Polyphénol oxydase : Luzerne vs Trèfle rouge

L'ensilage de trèfle rouge remplace l'ensilage de luzerne dans la diète (50 %) (Broderick et al. 2007)

| | Ensilage | |
|---------------------|----------|---------------|
| | Luzerne | Trèfle rouge |
| Ingestion, kg MS /j | 24,0 a | 22,9 b |
| Lait*, kg/j | 33,3 a | <u>30,6 b</u> |
| N urinaire, g/j | 204 a | <u>155 b</u> |

*lait corrigé pour le pourcentage de gras

Choix de l'ensilage

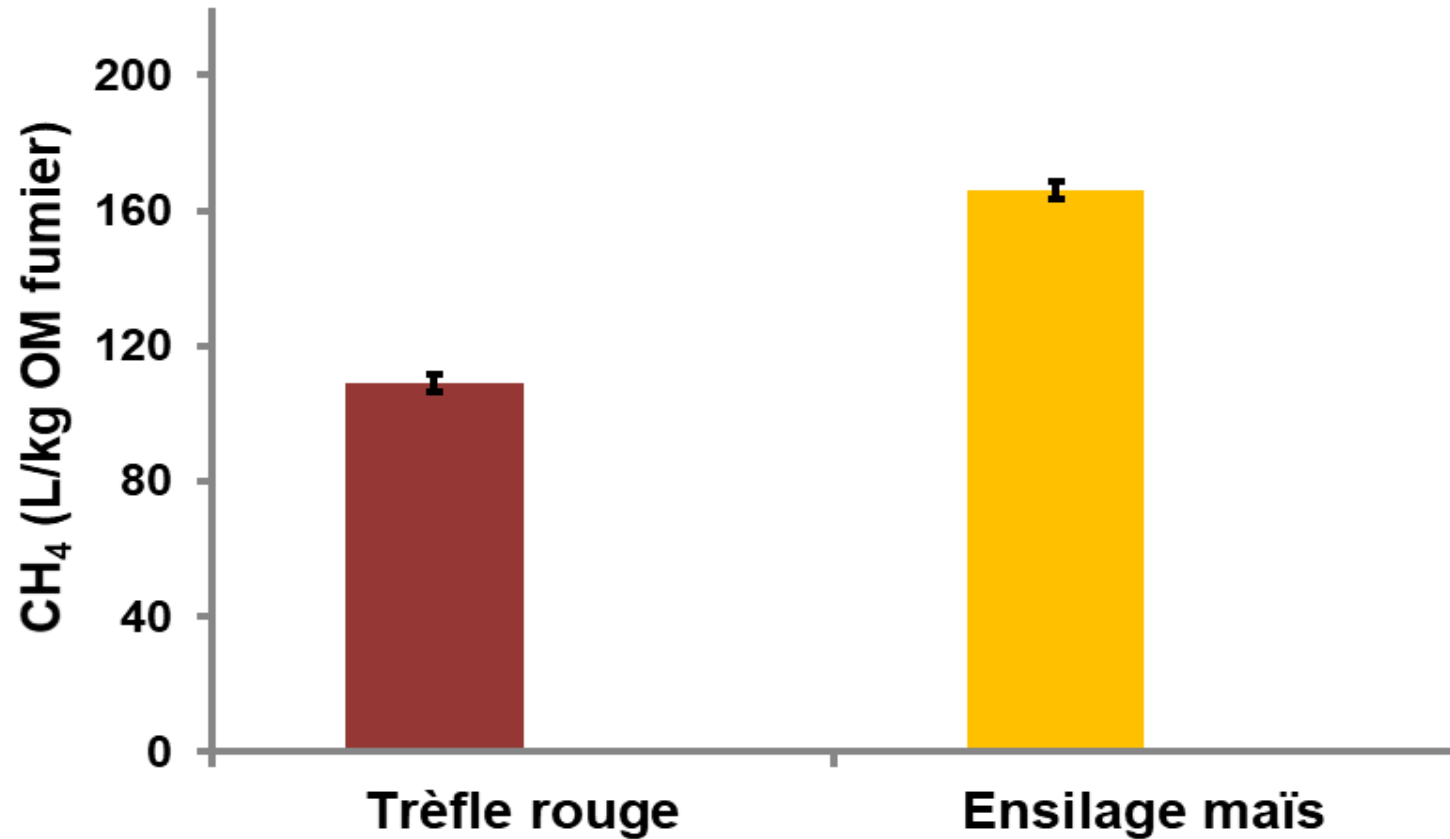
| | Ensilage | |
|------------------------------|--------------|--------|
| | Trèfle rouge | Maïs |
| Ingestion, kg MS/j | 24,3 | 24,3 |
| Digestibilité du NDF, % | 65,5 a | 54,0 b |
| Lait*, kg/j | 37,5 | 37,9 |
| CH ₄ , g/kg Lait* | 13,5 | 13,1 |
| N fécal, g/j | 217a | 167b |
| N urinaire, g/j | <u>174 b</u> | 256 a |

*lait corrigé pour l'énergie

(Benchaar et al. 2015)

Choix de l'ensilage

Émission de CH_4 dans le fumier de vaches nourries avec l'ensilage de trèfle rouge ou de l'ensilage de maïs



Hassanat et Benchaar (2019)

Fourrages avec des métabolites secondaires

III. Saponine: Luzerne

Bioactivité: oligosaccharide 0,7-3,3 mg/g MS.

(Szumacher-Strabel et al 2018; Kozłowska et al. 2020)

Mode d'action:

- ***a. in vitro:***
 - Diminution de la population ruminale des méthanogènes
 - Diminution de la production de NH_3 et CH_4
- ***b. in vivo:***
 - Extraits de Yucca, Camellia: aucun effet *in vivo*.
 - Cultivars de luzerne.

(Benchaar 2023)

Fourrages avec des métabolites secondaires

- Grand potentiel pour contribuer à diminuer le GES.
- Plus de recherches:
 - Développer des cultivars adaptés au Québec.
 - Identifier les conditions propices pour la production de métabolites secondaires.
 - Capacité des microbes du rumen à dégrader ces métabolites secondaires !!!

Conservation du fourrage

Conservation du fourrage

Valeur nutritive: fourrage frais > fourrage conservé:

- Conservé en foin:
 - Perte de feuilles
 - Perte de sucres solubles
- Conservé en ensilage:
 - Perte de sucres solubles
 - N non-protéique augmente
 - Perte d'énergie

| Composition | Fourrage de Millet | |
|-----------------------|--------------------|----------|
| | Frais | Ensilage |
| Sucres solubles, % MS | 12,3 | 3,0 |
| N non-protéique, % N | 33,0 | 59,7 |

(Hassanat et al. 2006)

Conservation du fourrage

Influence des inoculants sur la qualité de l'ensilage

| | Type de fourrage | |
|--------------------------------------|------------------|---------|
| | Tous | Luzerne |
| <u>Qualité de l'ensilage</u> | | |
| NH ₃ -N, % N | - 1,31 | - 4,5 |
| Sucres solubles, % MS | + 0,22 | - 0,03 |
| Éthanol, % MS | - 0,04 | - 0,23 |
| <u>Performance des vaches</u> | | |
| Ingestion, kg MS/j | + 0,26 | |
| Lait, kg/J | + 0,37 | |
| Gras du lait, % | + 0,04 | |
| Protéines du lait, % | + 0,02 | |

(Olivera et al. 2017; Blajmn et al. 2020)

Conservation du fourrage

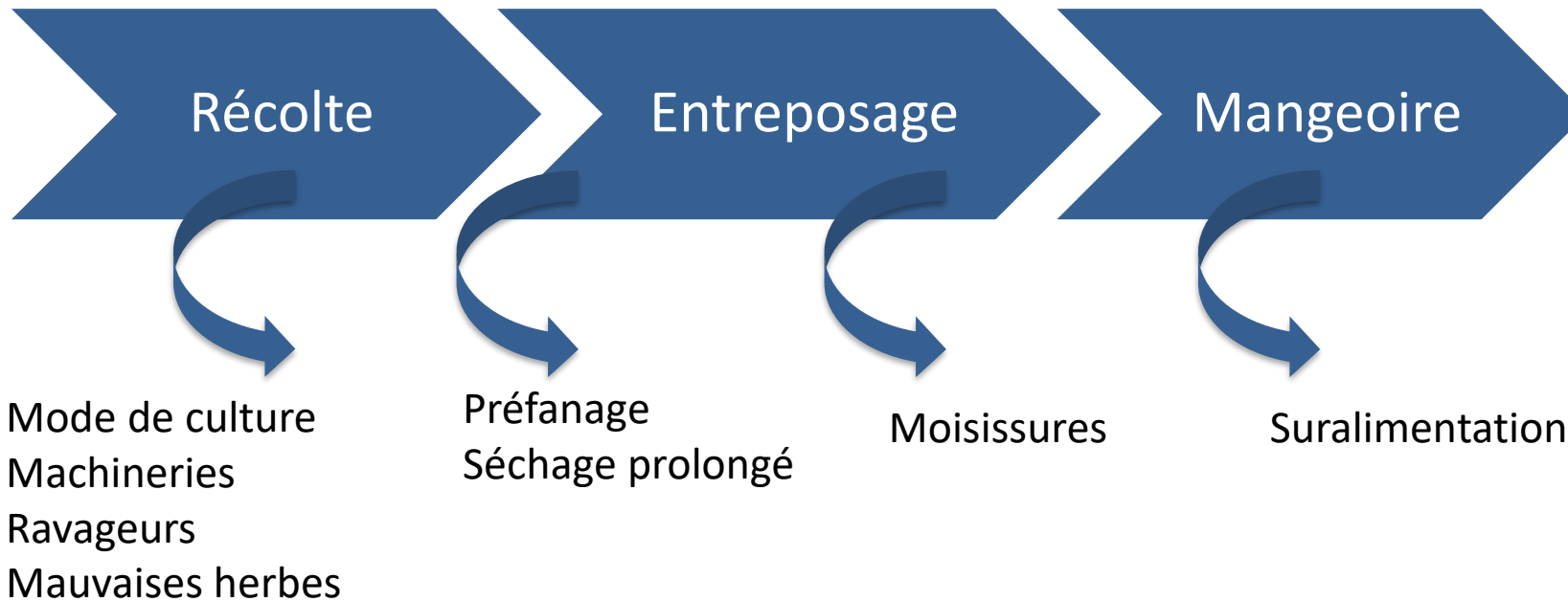
Foin ou ensilage, lequel est meilleur pour diminuer les GES?

- Études en modélisation ou *in vitro*
- Travail *in vivo* (Gislon et al. 2020)
 - Mélange luzerne raygrass conservé en ensilage ou en foin

| | Conservation | |
|-----------------------------|--------------|------|
| | Ensilage | Foin |
| Lait*, kg/j | 31,4 | 32,7 |
| CH ₄ , g/kg Lait | 12,7 | 12,7 |
| N urinaire, g/j | 133 | 156 |

*lait corrigé pour l'énergie

Pertes de fourrages



- Perte de ressources
- Fourrages inutilisables dans la fosse à fumier?
- Quantification en GES

Résumé et Conclusions

- ❑ La production, la gestion et l'alimentation avec des fourrages sont des éléments clés pour contrôler les émissions de GES.
- ❑ Divers moyens sont disponibles:
 - Augmenter la digestibilité;
 - Choisir le bon type de fourrage;
 - Utiliser des fourrages avec tannins ou polyphénol oxydase;
 - Diminuer les pertes de fourrages.

Résumé et Conclusions

- ❑ Certaines pratiques pour diminuer les émissions de CH_4 peuvent influencer l'excrétion de N urinaire (source de N_2O).
- ❑ Analyse du cycle de vie pour avoir le profil global de la production de GES dans la ferme
- ❑ Pour contrôler les GES à la ferme:
 - Maximiser la digestibilité du NDF du fourrage;
 - Minimiser la protéine brute rapidement dégradable dans le rumen;
 - Éliminer la production de CH_4 dans la fosse à fumier.

Merci!

