



Un AMI (Anti-Méthanogène Indice) qui veut du bien à votre prairie

Didier Macheboeuf, Agnes Cornu, Sylvain Kerros, François Recoquillay

► To cite this version:

Didier Macheboeuf, Agnes Cornu, Sylvain Kerros, François Recoquillay. Un AMI (Anti-Méthanogène Indice) qui veut du bien à votre prairie. 12. Rencontres autour des Recherches Ruminants, Dec 2018, Paris, France. hal-02737883

HAL Id: hal-02737883

<https://hal.inrae.fr/hal-02737883>

Submitted on 2 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Un AMI (Anti-Méthanogène Indice) qui veut du bien à votre prairie

MACHEBOEUF D. (1), CORNU A. (1), KERROS S. (2), RECOQUILLAY F. (2)

(1) Université Clermont Auvergne, INRA, VetAgro Sup, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France

(2) Phytosynthese, 57 avenue Jean Jaurès, 63260 Mozac, France

RÉSUMÉ – Un indice anti-méthanogène (AMI) simple a été développé pour caractériser les plantes de la prairie et de son proche environnement. L'objectif était d'évaluer le potentiel d'une plante pour réduire les émissions de méthane chez les ruminants, en tenant compte de sa valeur nutritionnelle. L'indice a été construit à partir de données obtenues *in vitro* par fermentation de 212 espèces de plantes utilisées comme substrat pur dans l'écosystème ruminal. Son principe repose sur la déviation observée entre la production de méthane mesurée et la valeur théorique calculée par la régression entre les productions de méthane et d'acides gras volatils (AGV), plantes atypiques exclues. Les plantes ont été classées en 3 groupes : 44 ont activé la méthanogénèse (AMI < -0,20), 104 pour lesquelles la stœchiométrie des fermentations était normale ($-0,20 \leq \text{AMI} \leq 0$), et 64 plantes qui ont eu un effet anti-méthanogène significatif (AMI > 0). L'effet le plus important a été observé avec *Bidens tripartita* (AMI = 1), mais nombre de plantes ont obtenu des valeurs d'AMI positives prometteuses comme par exemple : *Origanum vulgare* (0.61), *Scrophularia nodosa* (0.56), *Serratula tinctoria* (0.49), *Succisa pratensis* (0.19), *Polygonum bistorta* (0.17) et *Hypericum perforatum* (0.16). L'effet anti-méthanogène ne semblait pas porté par des familles particulières de plantes, mais plutôt individuellement par certaines espèces. L'AMI a permis de classer les plantes selon leur potentiel anti-méthanogène. Il souligne l'importance de conserver certaines espèces dans la prairie. Il pourrait aussi contribuer à l'estimation d'une valeur environnementale des prairies à partir de leur composition botanique. Le double critère AGV-AMI permet de caractériser une plante par le couple (énergie récupérée, énergie perdue) et ouvre des perspectives vers un diagnostic énergétique de la prairie

An antimethanogenic index (AMI) for pasture plants grazed by ruminants

MACHEBOEUF D. (1), CORNU A. (1), KERROS S. (2), RECOQUILLAY F. (2)

(1) Université Clermont Auvergne, INRA, VetAgro Sup, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France

SUMMARY- A simple antimethanogenic index (AMI) was developed to characterize the plants growing in the meadows and the neighbouring environments. The purpose of the AMI is to evaluate the potential of a plant species to reduce methane emissions by grazing ruminants, while taking into account its energy value. The AMI was built from *in vitro* rumen fermentation data obtained from a set of 212 plants used as pure substrates. The AMI could be seen as the deviation between measured methane production and its theoretical value coming from the regression between methane and volatile fatty acid (VFA) productions. The plants were then classified into three groups : 44 plants that activated methanogenesis (AMI < -0.20), 104 plants with normal stoichiometry of fermentation ($-0.20 \leq \text{AMI} \leq 0$), and 64 plants with a significant antimethanogenic effect (AMI > 0). The strongest effect was observed with *Bidens tripartita* (AMI = 1) and numerous other plants had a promising positive AMI, including *Origanum vulgare* (0.61), *Scrophularia nodosa* (0.56), *Serratula tinctoria* (0.49), *Succisa pratensis* (0.19), *Polygonum bistorta* (0.17) and *Hypericum perforatum* (0.16). The anti-methanogenic effect did not seem to be carried by some plants families but rather individually by particular plants. AMI was able to classify plants according to their antimethanogenic potential. AMI findings also highlight the importance of keeping certain species in the meadow. Once a meadow's botanical composition is known, the AMI could be included in the criteria used to evaluate its environmental potential and bring new information on the multiple services provided by pasture. The couple VFA-AMI understood as (recovered energy, lost energy) could be used to characterize fermentation of plants and opens up prospects for an energy diagnosis of the meadow.

INTRODUCTION

Les prairies permanentes, particulièrement en zone de montagne, ont des avantages non négligeables sur les prairies temporaires, notamment par les services écosystémiques qu'elles rendent. Elles conservent une biodiversité qui leur confère une résilience face aux stress climatiques (e. g. sécheresse). De plus, elles sont un élément important pour la typicité et la qualité des produits (fromages ou viande) qui sont reconnues par les consommateurs. Pourtant, ces dernières décennies, la conduite des prairies s'est modifiée quelque peu (augmentation de la fréquence des coupes, apport de fertilisant) dans le but d'accroître les rendements, avec une baisse concomitante de la diversité florale (Pierik et al. 2017).

L'objectif de ce travail est d'apporter des informations sur la valeur environnementale des plantes de prairie et ainsi de compléter la connaissance des multiples services rendus par

le pâturage. Il pourrait permettre de réhabiliter certaines plantes qui ont été marginalisées et ne subsistent plus que dans les talus et les fossés.

En effet, les plantes ont la capacité de synthétiser des métabolites secondaires qui leur permettent de se défendre contre les agresseurs (maladies, insectes, herbivores) ou de favoriser leur reproduction. Ces molécules de structures diverses (tanins, saponines, terpènes, composés phénoliques de petite taille, organo-sulfurés), ont parfois des propriétés anti-microbiennes qui peuvent influencer la digestion chez les ruminants, en particulier moduler les fermentations ruminales. Certaines plantes, riches en métabolites secondaires, peuvent notamment induire des variations des émissions de méthane dans le rumen.

Dans ce travail, la production de méthane de l'écosystème ruminal a été mesurée dans un essai de fermentation *in vitro* pour 212 plantes de prairie mais aussi de bordures, talus, fossé, haie, sous-bois, berges de ruisseau, etc... Un indice

simple a été construit pour estimer le potentiel anti-méthanogène (AMI) des plantes en tenant compte de leur valeur nutritive.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. SUBSTRATS VÉGÉTAUX

Un lot de 212 espèces de plantes a été collecté dans la région du Massif Central entre 370 et 1660 m d'altitude. Les échantillons étaient constitués des parties aériennes de 5 à 50 individus selon la taille des plantes, à un stade floraison dans la plupart des cas. Ils ont été congelés dans de l'azote liquide, lyophilisés, broyés à la grille de 3 mm et conservés à l'abri de la lumière pour réduire au minimum la dégradation des métabolites secondaires.

Le lot comprenait 45 familles botaniques. La mieux représentée était celle des *Asteraceae* avec 50 espèces. Suivaient les *Apiaceae*, *Fabaceae*, *Rosaceae*, *Brassicaceae*, *Lamiaceae* avec respectivement 23, 19, 15, 15 et 10 espèces. Les autres familles avaient moins de 10 représentants et 20 n'étaient représentées que par une seule espèce.

Compte-tenu de la grande diversité des plantes récoltées, les teneurs des principaux constituants des plantes se sont distribuées avec une large amplitude. Pour les parois, la teneur en *Neutral Detergent Fiber* (NDF) a été comprise entre 15,7 et 81,3 % de la matière sèche. Elle a été comprise entre 13,3 et 55,7 % pour *Acid Detergent Fiber* (ADF) et entre 1,3 et 23,1 % pour la lignine nette. La teneur en azote couvrait une plage de 0,6 à 5,2 % représentant 4 à 32 % de la matière azotée totale (MAT) selon les plantes. Pour ces constituants, la distribution des valeurs n'était pas normale et quelques plantes atypiques (toujours <15) avaient des valeurs particulières (*outliers*). De même, la teneur en matière minérale qui était en moyenne de 10,5 %, a varié dans une plage de 1,3 à 39,0% avec 11 plantes particulières qui avaient des teneurs comprises entre 20 et 39 %. Par conséquent, il était important de rapporter la mesure des produits de fermentation à la matière organique du substrat.

Le Ray Grass Anglais (*Lolium perenne*) a été choisi comme plante témoin (T) pour les essais de fermentations *in vitro*. Il a été récolté à un stade végétatif de 6 cm de hauteur lors d'une 3^e repousse, ce qui a permis d'obtenir un substrat très fermentescible qui servait de référence haute. Il a été traité comme les autres échantillons.

1.2. FERMENTATIONS IN VITRO

Le profil fermentaire (gaz et acides gras volatils (AGV)) de chaque plante a été obtenu en incubant 600±0,5 mg de substrat pur de la plante pendant 24 h à 39°C avec une culture microbienne du rumen. Les fermenteurs étaient préalablement mis sous atmosphère d'azote avant de recevoir 40 ml de la culture microbienne constituée de 2 volumes d'un tampon carbonate-phosphate et d'un volume d'inoculum microbien du rumen, puis scellés et agités de façon intermittente 30 secondes toutes les 3 minutes. L'inoculum était obtenu à partir du contenu ruminal filtré à 800 µm de 3 moutons adultes de race Texel. Les animaux étaient alimentés au niveau de l'entretien avec un régime constitué de 80 % d'un bon foin de regain de Ray Grass Anglais et 20 % d'un concentré de type « agneau finition ».

Chaque substrat a été incubé en triple lors de 3 périodes expérimentales distinctes. Chaque période expérimentale incluait 4 incubations de T, soit un total de 48 répétitions sur les 12 périodes de fermentations qui ont permis de tester l'ensemble des plantes.

1.3. REPONSES EXPERIMENTALES

La concentration en AGV dans le milieu de culture a été analysée par CPG en début et en fin de fermentation, permettant de calculer par différence une production nette. La production de gaz des batches a été mesurée avec un

capteur de pression et la composition du gaz (H₂, CH₄, CO₂) a été déterminée par µGC. Compte-tenu de la teneur en matières minérales qui pouvait être importante pour certaines plantes, les productions de méthane et d'AGV ont été rapportées à la quantité de matière organique de la plante introduite dans le batch (MOi) et exprimées en µmol/g MOi. Puis, les productions ont été normalisées et exprimées comme un ratio de la moyenne de T pour chaque période expérimentale (productions relatives à T) pour s'affranchir des variations inter-périodes.

1.4. CONSTRUCTION DE L'INDICE

Notre AMI a été construit à partir des données de fermentations ruminales *in vitro*. Une plante avait un effet anti-méthanogène significatif ($p < 0,01$, $AMI > 0$) lorsque sa production moyenne de méthane était inférieure à la valeur ajustée de la régression $CH_4=f(AGV)$ moins 2,58 fois l'écart type du ray-grass témoin (e.t.T) en faisant l'hypothèse que e.t. est uniforme sur le domaine expérimental. L'indice était

$$\text{alors calculé de la façon suivante : } AMI = \frac{Af - Am}{Amax}$$

où

Am était la valeur mesurée de la production relative de méthane pour la plante concernée,

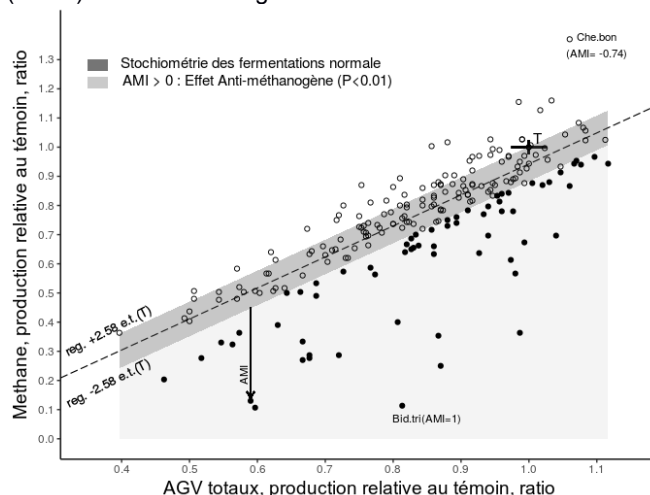
Af était la valeur ajustée de la production relative de méthane calculée à partir de la régression $CH_4=f(AGV)$ - 2.58 e.t.T pour la plante concernée, et

Amax était le maximum des différences (Af-Am) observées pour les 212 plantes.

L'écart type de T a pris la valeur de 0,023 pour la production relative de méthane. Il était de 0,019 et 0,025 pour les productions relatives de gaz total et d'AGV.

2. RESULTATS

Figure 1 : représentation graphique de la régression $CH_4=f(AGV)$ pour les 212 plantes étudiées. Les points localisés dans la zone gris clair correspondent aux plantes ayant un effet anti-méthanogène, comme *Bidens tripartita* (Bid.tri) dont l'AMI est égal à 1



2.1 RELATION ENTRE LES PRODUCTIONS DE GAZ ET D'AGV

Il y a eu une relation forte entre les gaz et les AGV produits lors de la fermentation microbienne *in vitro* des plantes. Le coefficient de détermination (R^2) était de 0,86 mais s'élevait à 0,90 si les 7 plantes particulières (*outliers*) qui ont produit peu de gaz (de 20 à 50 % de moins que T) étaient retirées du jeu de données.

Par contre, la relation s'est avérée beaucoup moins étroite ($R^2 = 0,62$; $RSE=0,13$) entre la production de méthane et la production d'AGV, car un grand nombre de plantes s'écartait

de la droite de régression (figure 1). En particulier, il a été trouvé 16 plantes atypiques (*outliers*) parmi lesquelles une qui activait la production de méthane de 37 % par rapport à T (*Chenopodium bonus-henricus*) et 15 qui la réduisaient très fortement : de 30 à 90 % par rapport à T. Ces points ont été écartés pour établir l'équation de la droite de régression $CH_4 = 1,06(\pm 0,04).VFA - 0,12(\pm 0,03)$, $R^2=0,80$, $RSE=0,08$. C'est cette équation qui a été utilisée pour obtenir les valeurs ajustées entrant dans le calcul de l'AMI.

2.2 CLASSEMENT DES PLANTES

L'AMI a varié de -0,74 (*Chenopodium bonus-henricus*) à 1 (*Bidens tripartita*). Les plantes ont été classées en 3 groupes en fonction de la valeur de l'indice :

- 44 plantes qui ont un AMI inférieur à -0,20 (figure 1, zone blanche), qui se situent au dessus de la droite de régression +2,58 e.t.T et qui activent la méthanogénèse.
- 104 plantes qui ont un AMI compris entre -0,20 et 0 (figure 1, zone gris foncé), incluses dans l'intervalle régression $\pm 2,58$ e.t.T et pour lesquelles on considère que la fermentation se déroule normalement (stœchiométrie non perturbée).
- 64 plantes avec un AMI positif (figure 1, zone gris clair) qui ont un potentiel anti-méthanogène significatif ($p < 0,01$) en dessous de la droite de régression -2,58 e.t.T. Parmi celles-ci, on retrouve bien sûr les 15 plantes atypiques qui réduisaient fortement le méthane dont *Bidens tripartita* qui a obtenu la valeur d'indice la plus élevée.

Parmi ces plantes ayant un AMI positif, on trouve des plantes de prairie telles que *Origanum vulgare* (0,61), *Serratula tinctoria* (0,49), *Cirsium vulgare* (0,42), *Ranunculus acris* (0,40), *Hippocrepis comosa* (0,21), *Succisa pratensis* (0,19), *Polygonum bistorta* (0,17), *Hypericum perforatum* (0,16), *Galium verum* (0,12), *Sanguisorba minor* (0,12), *Taraxacum* section *Ruderalia* (0,11), mais aussi des plantes de bordures, lisières ou fossés comme *Impatiens glandulifera* (0,68), *Scrophularia nodosa* (0,56), *Sedum telephium* (0,52), *Sambucus ebulus* (0,46), *Securigera varia* (0,45), *Epilobium hirsutum* (0,44), *Petasites albus* (0,14), *Cardamine amara* (0,14), *Filipendula ulmaria* (0,13) ou encore des plantes rudérales ou adventices comme *Xanthium strumarium* (0,89), *Silybum marianum* (0,52), *Alliaria petiolata* (0,35), *Dipsacus fullonum* (0,17), *Ballota nigra* (0,14).

Par ailleurs, la fermentation de certaines de ces plantes a entraîné une production relative d'AGV qui était de l'ordre de grandeur de celle de T ($p > 0,01$): *Cardamine amara* (0,98), *Cirsium vulgare* (0,97), *Petasites albus* (1,06), *Xanthium strumarium* (0,99), *Hippocrepis comosa* (0,94), *Alliaria petiolata* (0,99), *Ranunculus acris* (1,04), *Sedum telephium* (0,98), *Taraxacum* section *Ruderalia* (1,12). Elles ont donc la particularité d'apporter une quantité élevée de nutriments avec une émission de méthane réduite.

2.3 EFFET DE LA FAMILLE BOTANIQUE

Le pourcentage de plantes déclarées anti-méthanogènes dans les familles dont les effectifs étaient les plus grands ($n \geq 10$), était respectivement de 34, 13, 16, 20, 33, et 40 % pour les *Asteraceae*, *Apiaceae*, *Fabaceae*, *Rosaceae*, *Brassicaceae*, et *Lamiaceae*. La famille des *Polygonaceae* a présenté quant à elle le meilleur taux de plantes actives (60 %), avec 3 espèces sur 5 qui avaient un AMI positif. Cependant la droite de régression de cette famille reste au niveau du seuil AMI = 0 (Figure 2), les AMI individuels étant en effet, généralement proches de cette valeur. Pour les *Lamiaceae*, une bonne partie de la droite de régression se trouve dans la zone active (Figure 2) mais cela n'est dû qu'à une seule plante, *Origanum vulgare*, qui a eu un effet très prononcé. Seule la famille des *Onagraceae* a présenté des productions de gaz total et de méthane assez constantes et faibles mais là encore la partie de la droite de régression dans la zone active n'est due qu'à une seule espèce, *Epilobium hirsutum*.

En conséquence, aucune famille botanique ne s'est démarquée au-dessus du seuil AMI = 0 (Figure 2). L'effet sur le méthane ne semble donc pas porté par des familles botaniques mais plutôt par des espèces particulières.

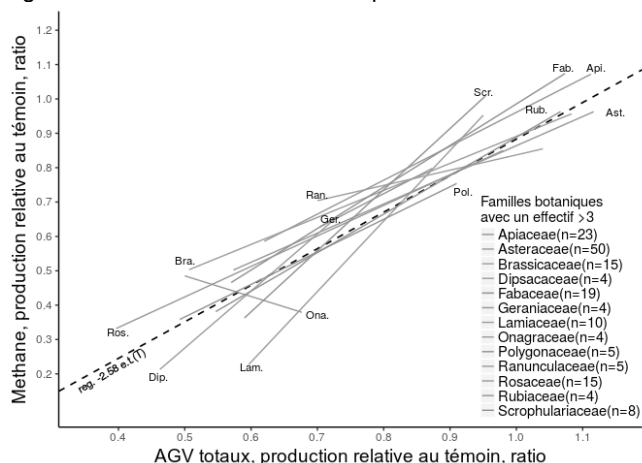
3. DISCUSSION

3.1 STœCHIMÉTRIE NORMALE OU PAS

La conception de notre AMI repose sur l'écart entre la production de méthane d'une plante et la valeur qui serait obtenue dans les conditions d'une fermentation normale. Par conséquent, la justesse de l'indice repose sur la définition de la zone de fermentation normale. Mais qu'est-ce qu'une fermentation normale ? C'est le cas lorsque le métabolisme microbien n'est pas perturbé. Il n'y a pas d'inhibition des enzymes qui dégradent les polymères (cellulose, amidon, protéines) en monomères, et de celles qui transforment les monomères en produits de fermentation (gaz, AGV, ammoniac). Le niveau des produits de fermentation obtenus dépend alors uniquement des quantités de substrats et de leur accessibilité par les micro-organismes. Dans ce cas, le modèle stœchiométrique proposé par Demeyer (1991) qui considère le méthane comme le seul accepteur final des électrons s'applique. Au contraire, lorsqu'il y a inhibition enzymatique, les variations des productions fermentaires ne sont plus liées aux quantités de substrats ou à leur accessibilité. Alors, la stœchiométrie ne suit plus le modèle de Demeyer et il y a d'autres accepteurs terminaux d'électrons.

Pour vérifier que le choix des zones de fermentation normale et anormale est correct, nous avons essayé de relier par une régression multiple, les variations de la production d'AGV avec les composants primaires des plantes (matière minérale, NDF, lignine, MAT) et la famille botanique. Dans le cas des 104 plantes de la zone de fermentation considérée par hypothèse comme normale (figure 1, zone gris foncé), le modèle a été très significatif ($p = 6.10^{-12}$; $R^2 = 0,754$; R^2 ajusté = 0,645) avec le facteur famille et les variables NDF et matières minérales très significatifs dans le modèle ($p < 0,001$). Par contre, le modèle était non significatif ($p = 0,142$) pour les 64 plantes ayant un AMI positif, situées dans la zone de fermentations anormales (figure 1, zone gris clair). Il est à noter que dans cet essai, les glucides solubles n'ont pas été mesurés dans les plantes et n'ont donc pas pu être introduits dans la régression multiple. Malgré cela, les variations de la production d'AGV sont bien liées aux constituants primaires des plantes et à leur agencement vu au travers du facteur famille dans la zone normale alors qu'elles ne le sont pas dans la zone anormale.

Figure 2 : effet de la famille botanique



3.2 DISCUSSION ENTRE AMI(s)

Un certain nombre d'essais de criblage de plantes ont eu lieu ces 20 dernières années, toujours *in vitro*. Une bonne partie portait sur la mesure de la fermentescibilité et l'estimation de la valeur nutritive ou encore sur l'effet des plantes sur la production d'ammoniac et donc n'apportait pas d'informations sur leur potentiel à réduire les émissions de méthane. Souvent les productions de gaz ou d'AGV étaient exprimées par g de matière sèche incubée, ce qui peut rendre l'interprétation des résultats délicate compte-tenu de la quantité de matière minérale qui peut être élevée dans certaines plantes. Parmi les travaux qui se sont intéressés au potentiel anti-méthanogène, beaucoup ont privilégié l'étude d'extraits plus ou moins purifiés (tanins, saponines, huiles essentielles, etc.) utilisés comme additifs dans une ration de base. Deux essais (Bodas *et al.*, 2008 ; Garcia-Gonzalez *et al.*, 2008) ont testé des plantes brutes (pas d'extraits purifiés) toujours en tant qu'additif et ont mis en évidence le potentiel anti-méthanogène de certaines d'entre-elles. Ils ont créé des intervalles de classes selon l'ampleur de l'effet mais n'ont pas proposé d'indice. Ils n'ont pas non plus mesuré les valeurs nutritionnelles de ces plantes car elles étaient utilisées en tant qu'additif dans la ration. Avec des plantes Australiennes utilisées comme substrats purs, Durmic *et al.*, (2010) ont défini une « zone désirable » correspondant à des valeurs élevées en AGV et de faibles valeurs de méthane, prenant ainsi en compte les 2 critères énergétiques, mais ne proposent pas de classement. De plus, les relations entre le gaz total et les AGV d'une part et entre le méthane et les AGV d'autre part, n'étaient pas très précises (R^2 respectivement de 0,42 et 0,23) car établies à partir des pressions de gaz et des concentrations finales en AGV dans le milieu de fermentation plutôt que des productions nettes. Par ailleurs, les plantes atypiques (*outliers*) n'avaient pas été retirées pour calculer la régression.

Bien que n'ayant pas mesuré les émissions de méthane, l'équipe Suisse du RAC (Scehovic, 2001) a proposé 2 indices pour classer les plantes de prairie : l'indice d'activité négative potentielle (IANP) et l'indice d'activité fermentaire potentielle (IAFP). L'IANP mesurait l'inhibition d'une enzyme cellulase *in vitro* par ajout de métabolites secondaires extraits de la plante testée. L'IAFP mesurait quant à elle, la baisse du pH après incubation *in vitro* de la plante avec du fluide ruminal pendant 18h. Bien qu'ils ne donnent aucune information sur le potentiel anti-méthanogène des plantes, ces travaux sont les premiers qui combinent 2 critères, l'un concernant l'aspect nutritionnel et l'autre l'effet particulier des métabolites secondaires.

Parmi les plantes étudiées, très peu sont communes avec notre essai. Cependant, par exemple *Polygonum bistorta* obtient un classement cohérent, comparativement avec celui obtenu par Scehovic et al (2001).

3.3 VERS UN DIAGNOSTIC ÉNERGÉTIQUE

Les mesures de fermentation *in vitro* de cet essai nous apportent les 2 critères qui donnent toute l'information sur l'énergie tirée de la plante. D'une part, la production nette d'AGV relative au témoin représente l'énergie récupérée par le ruminant sous forme de nutriments et d'autre part, l'AMI négatif représente les pertes en énergie dues au méthane. L'AMI étant calculé par différence par rapport à une valeur théorique normale à production d'AGV équivalente, il a une meilleure justesse qu'une production de méthane. De plus, contrairement à la production de méthane, l'AMI est orthogonal (figure 3) donc indépendant de la production d'AGV. Dans cette figure par exemple, la régression de la figure 1 (zone gris foncé) correspond à la zone horizontale comprise entre AMI = -0,20 et AMI = 0.

La plante peut alors être caractérisée par sa position dans le plan des énergies : récupérée x perdue. On peut lui attribuer une note dans le cadre d'un diagnostic de performance énergétique à l'instar de ce qui se fait dans l'immobilier (figure 4) ! Pour cela, l'axe de l'énergie récupérée a été

segmenté en 3 compartiments (mauvais/moyen/bon) et l'axe de l'énergie perdue en 4 compartiments (mauvais/moyen/bon/excellent). La récupération d'énergie était considérée bonne lorsque la production d'AGV était similaire à celle de T (supérieure à 90 % de celle de T). Elle était considérée moyenne lorsqu'elle était comprise en 60 et 90 %, et mauvaise lorsqu'elle était inférieure à 60 % de celle de T. Les pertes en énergie étaient considérées comme moyennes lorsqu'elles correspondaient à un AMI compris entre -0,25 et 0. L'AMI était considéré bon (faibles pertes en énergie) lorsque qu'il prenait des valeurs positives jusqu'à 2 fois l'amplitude de la zone moyenne ($0 > \text{AMI} > 0,50$) et excellent (très faibles pertes) au-delà ($\text{AMI} > 0,50$). Un AMI trop faible ($\text{AMI} < -0,25$) était jugé mauvais (pertes trop importantes).

Les notes peuvent être alors attribuées de la façon suivante dans le système de coordonnées des énergies récupérée-perdue (figure 3) :

A : (bon, excellent) ; (moyen, excellent)

B : (bon, bon)

C : (moyen, bon) ; (bon, moyen)

D : (moyen, moyen)

E : (bon, mauvais)

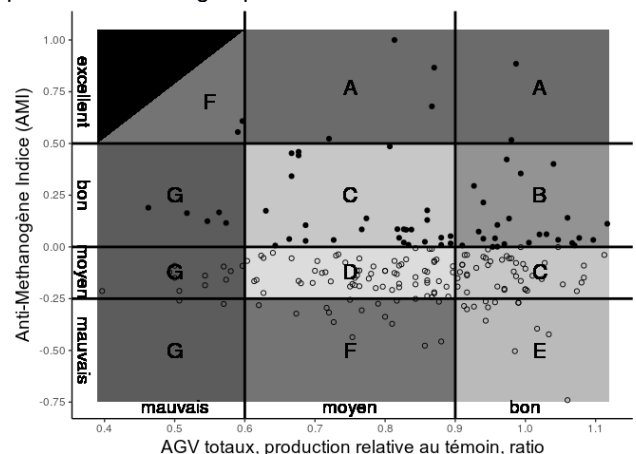
F : (moyen, mauvais) ; (mauvais, excellent)

G : (mauvais, mauvais) ; (mauvais, moyen) ; (mauvais, bon)

La zone en noire (figure 3) est une région de contrainte que l'AMI ne peut pas atteindre compte-tenu de la mauvaise fermentescibilité du substrat.

Cette grille de notation permet de classer les plantes selon le double critère AMI-AGV. Elle pourrait permettre aussi de faire le diagnostic de performance énergétique d'une prairie. Le plus pratique serait d'effectuer un prélèvement représentatif de cette prairie et de réaliser la mesure de fermentation puis de projeter le point dans le plan des énergies récupérée x perdue pour obtenir directement la note. Cela nécessite cependant d'utiliser toujours le même témoin T entre les différents laboratoires. Cette méthode permettrait la comparaison de prairies de typologies très différentes, pouvant héberger des diversités floristiques plus ou moins grandes. Une autre méthode serait de réaliser ce diagnostic en connaissant les valeurs individuelles des plantes et la composition botanique de la prairie. Il faudrait dans ce cas prendre en compte d'autres facteurs tels que l'appétence ou le stade phénologique. En effet, certaines plantes comme par exemple les ombellifères (*Apiaceae*) peuvent offrir une fourniture énergétique élevée en début de cycle mais beaucoup plus faible à la floraison (Andueza *et al.*, 2010). Cette méthode de prévision de l'AMI d'une prairie nécessiterait d'enrichir notre base de données d'un grand nombre de mesures supplémentaires.

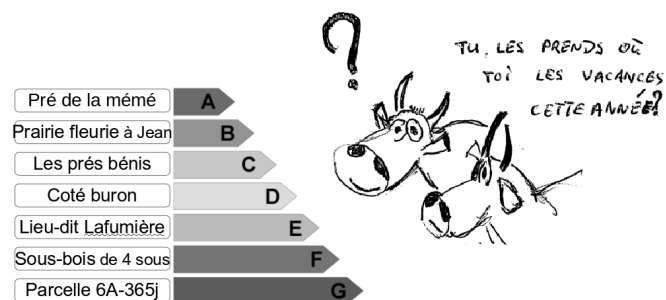
Figure 3 : grille de notation pour un diagnostic de performance énergétique



CONCLUSION

Les données *in vitro* ont permis de trouver un AMI simple qui permet de classer les plantes selon leur potentiel anti-méthanogène. Il enrichit la base de connaissances sur les multiples services rendus par la prairie. Il peut contribuer à l'estimation de la valeur environnementale des prairies et montre l'intérêt de ré-implanter ou de préserver certaines espèces. Le double critère AMI-AGV ouvre aussi des perspectives sur la possibilité de faire un diagnostic énergétique de la prairie.

Figure 4 : vers un diagnostic énergétique de la prairie ?



Ce projet a reçu le soutien de l'Institut Carnot France Futur Elevage. Nous remercions Guy Lalière (éthnobotaniste indépendant, 6, rue des Plats, 63000 Clermont-Ferrand), Arnaud Descheemacker et Romain Pradinas du Conservatoire Botanique National du Massif Central (Le Bourg, 43230 Chavaniac-Lafayette) pour leur aide dans l'identification et la collecte des plantes. Nous remercions l'INRA unité Herbipôle (UE1414), Mickaël Bernard pour l'organisation et Bernard Mallet, André Guittard pour le soin apporté aux animaux. Nous remercions en particulier Roger Bergeault pour son aide durant l'expérimentation.

Andueza, D., Cruz, P., Farruggia, A., Baumont, R., Picard, F., Michalet-Doreau, B. 2010. Grass Forage Sc., 65, 325-334

Bodas, R.; Lopez, S.; Fernandez, M.; Garcia-Gonzalez, R.; Rodriguez, A.; Wallace, R., Gonzalez, J. 2008. Anim. Feed Sc. Technol., 145, 245-258

Demeyer, D.I. 1991. in : Jouany J.P.(Ed.) Rumen microbial metabolism and ruminant digestion, INRA Editions, 217-237

Durmic, Z.; Hutton, P.; Revell, D.K.; Emms, J.; Hughes, S., Vercoe, P.E. 2010. Anim. Feed Sc. Technol., 160, 98-109

Garcia-Gonzalez, R.; Lopez, S.; Fernandez, M.; Bodas, R., Gonzalez, J., 2008. Anim. Feed Sc. Technol., 147, 36-52

Pierik, M.E., Gusmeroli, F., Marianna, G.D., Tamburini, A., Bocchi, S. 2017. Agric. Ecosyst. Environ. 244, 14–21

Scehovic, J. 2001 Rev. Suisse Agric., 33, 239-244