



# Animal feed as a lever to reduce methane emissions: a microeconomic approach applied to French dairy farms

Elodie Letort et Pierre Dupraz

avec la participation de Luc Delaby et Philippe Koutchadé.

INRAE, UMR Smart, Institut Agro, 35000 Rennes

## Introduction

1- Le modèle de choix de production

2- Les données et l'estimation du modèle

3- Simulation du dispositif de paiements

## Conclusion

# Introduction : Contexte

- ❑ En France, 17,4 % des gaz à effets de serre sont d'origine agricole.
- ❑ L'élevage bovin en est le principal contributeur (60,4 %).
- ❑ Le méthane issu des fermentations entériques des ruminants représente à lui seul la moitié des GES émis par les élevages laitiers.
- ❑ La nature de l'alimentation animale est un levier beaucoup étudié en sciences des productions animales (Dall-Orsoletta et al. 2019).
- ❑ Une alimentation riche en acide gras (lin) permettrait de réduire les émissions de méthane (Martin et al. 2008, Nguyen et al. 2012).
- ❑ D'un point de vue politique (PSE avec obligation de résultats), possibilité de mesurer les émissions de méthane à l'échelle des exploitations via les analyses de qualité du lait.

# Introduction : Objectifs

- ❑ Simuler un dispositif de paiements pour réduire les émissions de méthane par kg de lait en incitant les éleveurs à modifier la ration alimentaire des vaches laitières.
- ❑ Évaluer le potentiel d'atténuation de ce dispositif par tonne d'équivalent CO2 abattue.

- ❑ Estimer une fonction de production du lait, en distinguant différents types de fourrage et les concentrés, et en supposant une optimisation par l'éleveur entre ces différentes sources d'aliments du bétail en fonction des prix.
- ❑ Calculer les émissions de méthane à partir d'une relation technique définie par Sauvant et al. (2011) selon le niveau de productivité des vaches et la composition de la ration alimentaire.
- ❑ Simuler un dispositif de paiement qui va modifier les choix de production en favorisant un régime ou un autre, et ainsi modifier les émissions de méthane par litre de lait.

## ❑ Modèle de choix de production en élevages laitiers :

- ✓ Peu de prise en compte du **rôle de l'alimentation** (Samson et al. 2017)
- ✓ **Hétérogénéité** : les technologies de production du lait sont différenciées selon le degré d'intensification des pratiques d'élevages

Kumbhakar et al. 2008, Alvarez et Del Corral 2010, Orea et al. 2015, Sauer et Paul 2013, Renner et al. 2021

## ❑ Notre approche par rapport à la littérature :

- ✓ Focus sur le rôle de l'alimentation dans le rendement de lait par vache à partir d'une approche primale.
- ✓ Hétérogénéité des conditions de production (qualité du fourrage) et son impact sur la relation entre alimentation et rendement.

# 1- Le modèle de choix de production

# La technologie de production du lait

$$y = \alpha + \sum_{m=m,p,c} \beta_k x_k + \sum_{k=m,p,c} \sum_{n=m,p,c} \beta_{kn} x_k x_n + \epsilon$$

- ❑ Rendement de lait par VL :  $y$
- ❑ Quantité de concentré (kg MS/vache) :  $x_c$
- ❑ Quantité de maïs fourrage (kg MS/vache) :  $x_m$
- ❑ Quantité d'herbe ensilée et pâturée (kg MS/vache) :  $x_p$
- ❑ Terme d'erreur du modèle :  $\epsilon$

## Hypothèses :

- ❑ Il existe une relation technique entre la ration et le rendement du lait.
- ❑ Les principales sources de variation :
  - ✓ les erreurs de mesure
  - ✓ les conditions de production (quantité et qualité du fourrage)



# Classification par un modèle de mélange gaussien

- ❑ Généralement, les technologies de production sont différenciées selon les caractéristiques observées des fermes (intensification, spécialisation, taille...).
- ❑ On suppose que la technologie de production est différente selon les différents niveaux de qualité de fourrage  $k$  ( $k = 1, \dots, K$ ) inobservés.

$$y_i^k = \mathbf{z}_i' \boldsymbol{\beta}^k + \varepsilon_i^k \quad \text{avec } \varepsilon_i^k \sim N(0, \sigma_k^2)$$

- ❑ Modèle de mélange gaussien :
  - ✓ Révéler l'hétérogénéité de la qualité des fourrages, sans utiliser d'information *a priori*.
  - ✓ Calculer la probabilité que chaque observation  $i$  appartienne à chacun des groupes de qualité  $k$  à partir de la méthode du maximum de vraisemblance (algorithme EM).
  - ✓ Classer les observations selon leur groupe de qualité de fourrage.

# Le programme de maximisation de l'éleveur

$$\max_{x_c, x_m, x_p} \pi_l = y_l p_l - w_c x_c - w_m x_m - w_p x_p$$

$$s. c. \quad y_l = \alpha + \sum_{m=m,p,c} \beta_k x_k + \sum_{k=m,p,c} \sum_{n=m,p,c} \beta_{kn} x_k x_n + \epsilon$$

- ❑ Les éleveurs choisissent la quantité de fourrage, d'herbe et de concentré de manière à maximiser la marge brute par vache  $\pi_l$  :
  - ❑ sous contrainte technologique
  - ❑ étant donné les niveaux de prix  $p_l$ ,  $w_c$ ,  $w_m$  et  $w_p$

Hypothèses :

- ❑ On ne considère pas les décisions d'assolement, ni d'effectifs de VL.

# Simulation du dispositif de paiement

- Nous modifions la marge brute pour intégrer la prime  $p_{ch_4}$  (en €/kg méthane abattue) perçue par les éleveurs qui est proportionnelle à leur réduction de méthane.

$$\pi_l = y_l(p_l + p_{ch_4}\Delta ch_4) - w_c x_c - w_m x_m - w_p x_p$$

- $\Delta ch_4$  correspond à la variation des émissions par litre de lait par rapport à la situation initiale sans paiements.
- Calcul des émissions de méthane (Sauvant et al. 2011) :

$$ch_4 = \left( \begin{array}{l} \frac{40.7}{1.32} - \frac{6.66}{6 \times 1.32} (x_{fh} + x_c) + \frac{0.75}{36 \times 1.32} (x_{fh} + x_c)^2 \\ + \frac{19.65}{1.32} \left( \frac{x_c}{x_{fh} + x_c} \right) - \frac{35}{1.32} \left( \frac{x_c}{x_{fh} + x_c} \right)^2 - \frac{2.69}{6 \times 1.32} x_c \end{array} \right) \left( \frac{x_{fh} + x_c}{y_l} \right)$$

## 2- L'estimation du modèle

# Les données

- ❑ Données RICA : fermes laitières de l'Ouest de la France de 2007- 2018
- ❑ 3 668 observations
- ❑ Variables utilisées :
  - ❑ quantité de lait produit
  - ❑ nombre de vaches laitières et des autres effectifs bovins
  - ❑ quantité de concentrés
  - ❑ surface en maïs fourrage et en prairie
- ❑ Hypothèses :
  - ❑ Répartition de la surface fourragère et des concentrés entre les vaches laitières et les autres effectifs bovins
  - ❑ Rendement du maïs fourrage et de l'herbe (Agreste)
  - ❑ Répartition des quantités d'herbe entre ensilage et pâturage.

# Estimation de la technologie de production du lait

- ❑ Classification des observations selon les différents groupes de qualité du fourrage à partir du modèle de mélange estimé par l'algorithme EM.
  - ❑ 983 observations dans le groupe de qualité élevée
  - ❑ 2 455 observations dans le groupe de qualité standard
  - ❑ 230 observations dans le groupe de qualité faible
- ❑ Estimation de la technologie de production du lait (3 modèles):
  - ❑ Une technologie de production sans différentier la qualité du fourrage
  - ❑ Une technologie de production par groupe de qualité
  - ❑ Une technologie de production en différentiant la constante par groupe

$$y_l = \sum_k \alpha_k D_k + \sum_{i=m,p,c} \beta_i x_i + \sum_{i=m,p,c} \sum_{j=m,p,c} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

$$\alpha_k = \gamma + \mu q_k \text{ avec l'impact } \mu \text{ de la qualité } q_k$$

# Estimation de la technologie de production du lait

	<b>Modèle 1</b>	<b>Modèle 2</b>			<b>Modèle 3</b>
		<b>Groupe 1</b>	<b>Groupe 2</b>	<b>Groupe 3</b>	
$\alpha$	7.57***	3.48***	8.25***	0.91	-
<b>Groupe 1</b>	-	-	-	-	11.79***
<b>Groupe 2</b>	-	-	-	-	7.44***
<b>Groupe 3</b>	-	-	-	-	2.32***
$\beta_c$	3.28***	8.06***	1.77***	4.48***	2.71***
$\beta_m$	0.69***	0.95***	0.58***	0.50*	0.63***
$\beta_p$	0.74***	1.75***	0.52***	1.16***	0.54***
$\beta_{cc}$	-0.32***	-0.76***	-0.18***	-0.53***	-0.29***
$\beta_{mm}$	-0.02***	-0.02***	-0.02***	-0.01	-0.02***
$\beta_{pp}$	-0.03***	-0.06***	-0.02***	-0.01	-0.02***
$\beta_{mp}$	-0.03***	0.004	-0.03***	-0.04*	-0.03***
$\beta_{mc}$	0.02	-0.11***	0.11***	0.08*	0.06***
$\beta_{pc}$	-0.007	-0.52***	0.11***	-0.26***	0.05***
$R^2$	0.31	0.51	0.71	0.67	0.76
<b>Nombre</b>	3 668	983	2 455	230	3 668

	Modèle 1	Modèle 2			Modèle 3
		Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	
$\alpha$	7.57***	3.48***	8.25***	0.91	-
<b>Groupe 1</b>	-	-	-	-	11.79***
<b>Groupe 2</b>	-	-	-	-	7.44***
<b>Groupe 3</b>	-	-	-	-	2.32***
$\beta_c$	3.28***	8.06***	1.77***	4.48***	2.71***
$\beta_m$	0.69***	0.95***	0.58***	0.50*	0.63***
$\beta_p$	0.74***	1.75***	0.52***	1.16***	0.54***
$\beta_{cc}$	-0.32***	-0.76***	-0.18***	-0.53***	-0.29***
$\beta_{mm}$	-0.02***	-0.02***	-0.02***	-0.01	-0.02***
$\beta_{pp}$	-0.03***	-0.06***	-0.02***	-0.01	-0.02***
$\beta_{mp}$	-0.03***	0.004	-0.03***	-0.04*	-0.03***
$\beta_{mc}$	0.02	-0.11***	0.11***	0.08*	0.06***
$\beta_{pc}$	-0.007	-0.52***	0.11***	-0.26***	0.05***
$R^2$	0.31	0.51	0.71	0.67	0.76
<b>Nombre</b>	3 668	983	2 455	230	3 668

$$\alpha_k = \gamma + \mu q_k$$

$$11,79 = \gamma + \mu q_{k1}$$

$$7,44 = \gamma + \mu q_{k2}$$

$$2,32 = \gamma + \mu q_{k3}$$

$$\gamma = -30,8$$

$$\mu = 47,35$$

$$q_{k1} = 0,9$$

$$q_{k2} = 0,8$$

$$q_{k3} = 0,7$$



## 3- Les résultats de simulation

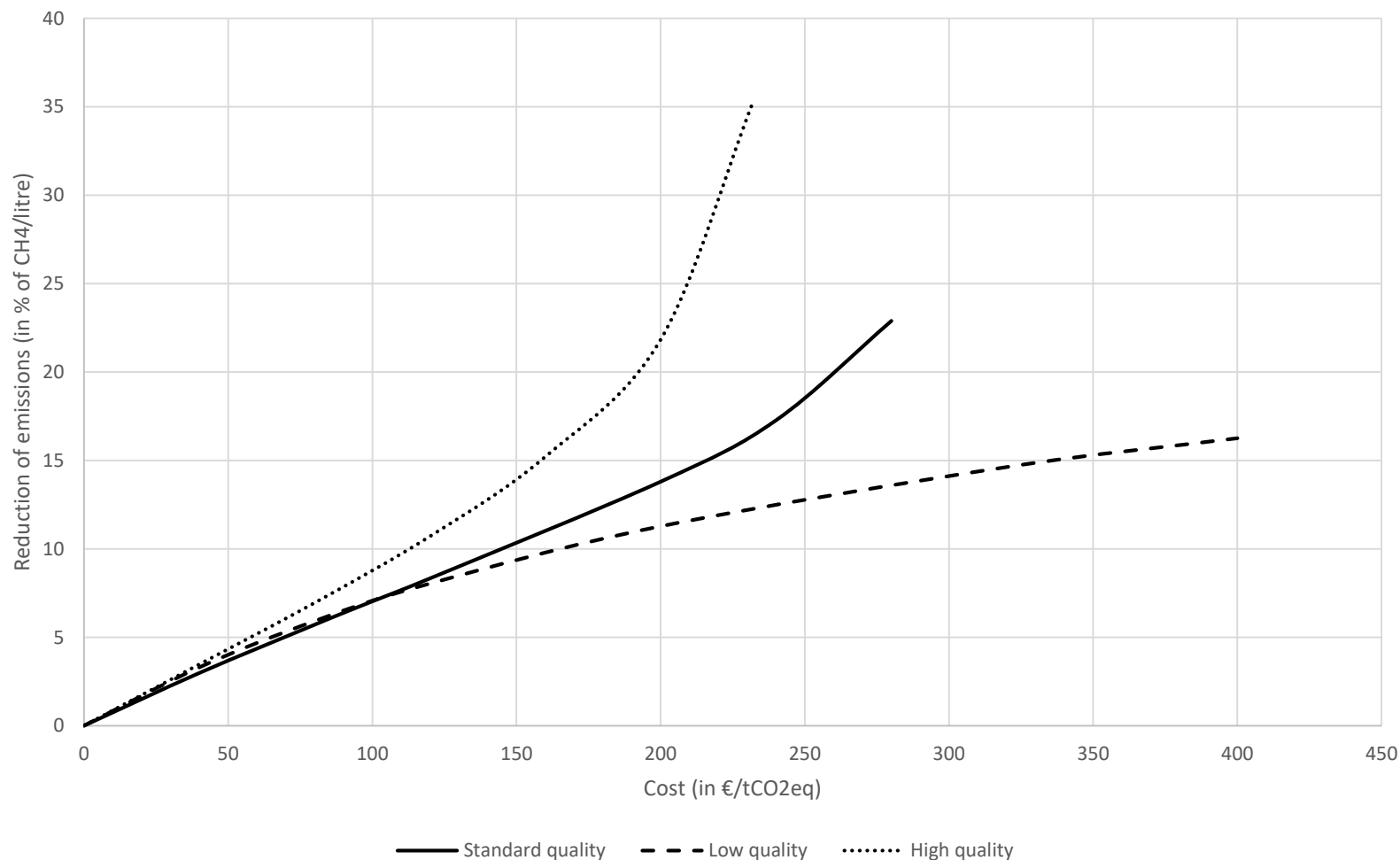
# Les simulations

- ❑ La réduction des émissions est exprimée en €/tonne de CO<sub>2</sub> équivalent.
- ❑ En moyenne, 130 Kg de CH<sub>4</sub>/VL/an = 3,6 kg CO<sub>2</sub>/VL/an.
- ❑ Hypothèses : les éleveurs modifient leur effectifs de vaches laitières de manière à maintenir leur production de lait constante.
- ❑ Sous nos hypothèses, une baisse de 10% des émissions de méthane par litre de lait (ou par ferme) correspond à une baisse de 24 tonnes de CO<sub>2</sub> par ferme et par an.
  
- ❑ Dispositif 1 : prime (en €/kg de méthane abattu) proportionnelle à la réduction des émissions de méthane par litre de lait.

- ❑ Dispositif 1 : prime (en €/kg de méthane abattu) proportionnelle à la réduction des émissions de méthane par litre de lait.
  
- ❑ Les changements induits par le dispositif sont différents selon la qualité du fourrage :
  - ❑ Qualité fourrage standard : quantité de MS diminue, mais plus dépendant des concentrés et moins de l'herbe (rendement stable)
  - ❑ Qualité faible du fourrage : augmentation leur rendement en augmentant l'utilisation de concentré (quantité de MS stable)
  - ❑ Qualité forte du fourrage : diminue leur rendement et quantité de MS.

# Dispositif 1 : prime à la réduction de méthane

- ❑ Réduction des émissions de CH<sub>4</sub> en % selon le coût d'abattement.

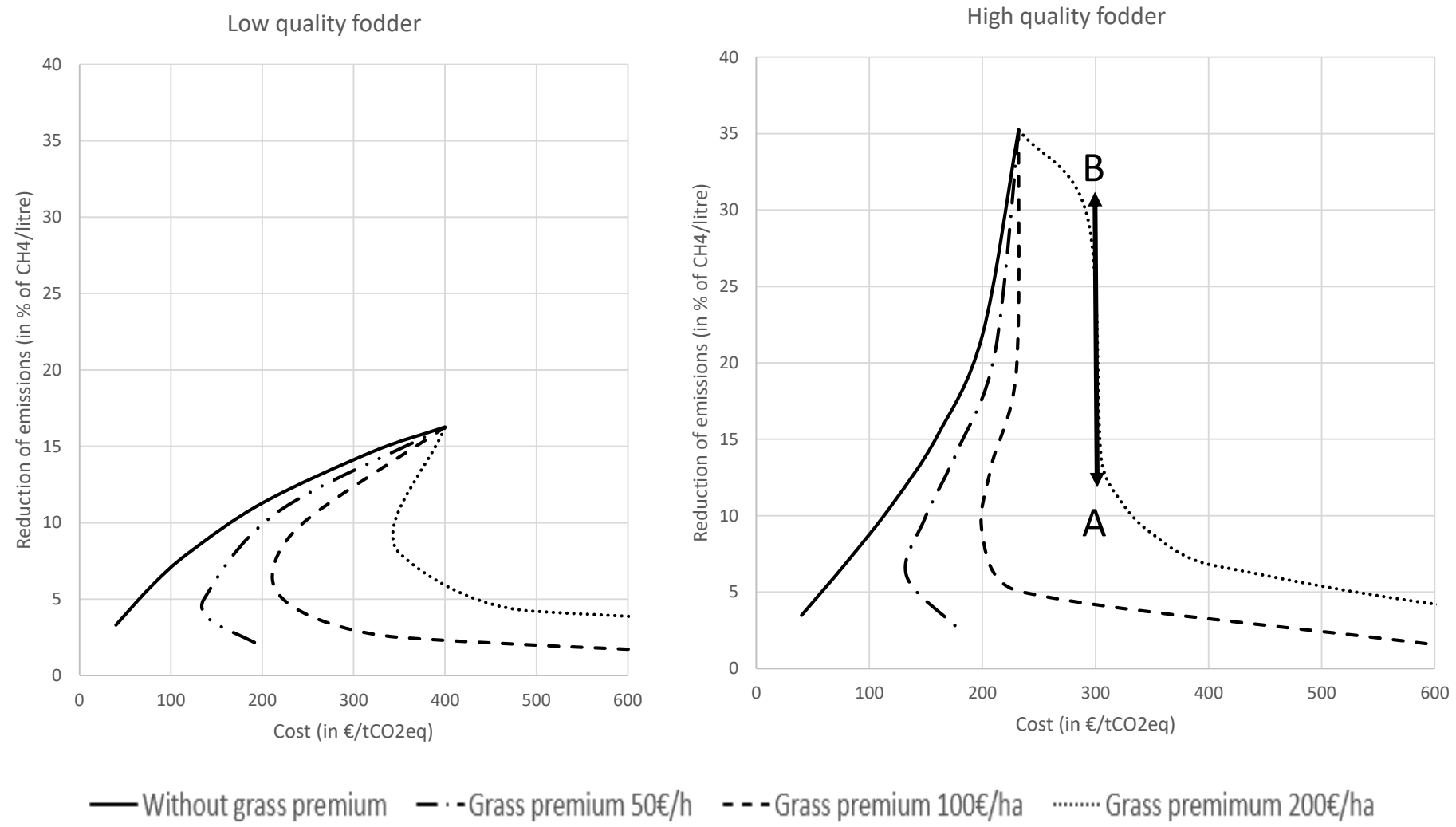


# Dispositif 1 : prime à la réduction de méthane

- ❑ Nos résultats montrent qu'une baisse des émissions de méthane est possible en améliorant la qualité de l'alimentation animale (teneur en énergie).
- ❑ Dans cette simulation, l'augmentation de la teneur en énergie de la ration passe principalement par une augmentation de la part des concentrés.
- ❑ L'effet de l'herbe est mal pris en compte dans notre modèle
  - ✓ Rôle de la prairie pâturée dans les émissions de méthane
  - ✓ Bénéfices environnementaux de la prairie.
- ❑ Dispositif 2 : prime à la réduction des émissions de CH<sub>4</sub> + prime à l'herbe
  - ❑ au minimum maintenir la part d'herbe dans la ration.

# Dispositif 2 : prime à la réduction + prime à la prairie

❑ Réduction des émissions de CH4 en % selon le coût d'abattement.



# Conclusion

# Conclusion

- ❑ Notre approche propose d'utiliser à la fois les **connaissances techniques en production animale** et une **approche statistique** pour estimer une technologie de production du lait, pour tenir compte des différents composants de la ration alimentaire et de la qualité des fourrages.
- ❑ Nos résultats montrent que **la qualité des fourrages** impacte la manière dont les éleveurs réagissent aux incitations pour réduire les émissions de méthane.
- ❑ Une baisse des émissions de méthane nécessite **d'améliorer la teneur en énergie de l'alimentation animale**, soit en augmentant la part de concentré dans la ration, ou en améliorant la qualité des fourrages.
- ❑ Pour un coût compris entre 250 et 300€/CO<sub>2</sub>e, **une baisse des émissions de méthane par litre de lait entre 15 et 30%** est possible via une meilleure gestion de l'alimentation animale sans diminuer la prairie.
- ❑ Besoin d'élargir l'analyse à **l'échelle des exploitations** :
  - ✓ Les décisions d'assolement et d'effectifs de vaches laitières
  - ✓ Les autres déterminants des émissions de GES



Merci de votre attention

Contact : [elodie.letort@inrae.fr](mailto:elodie.letort@inrae.fr)