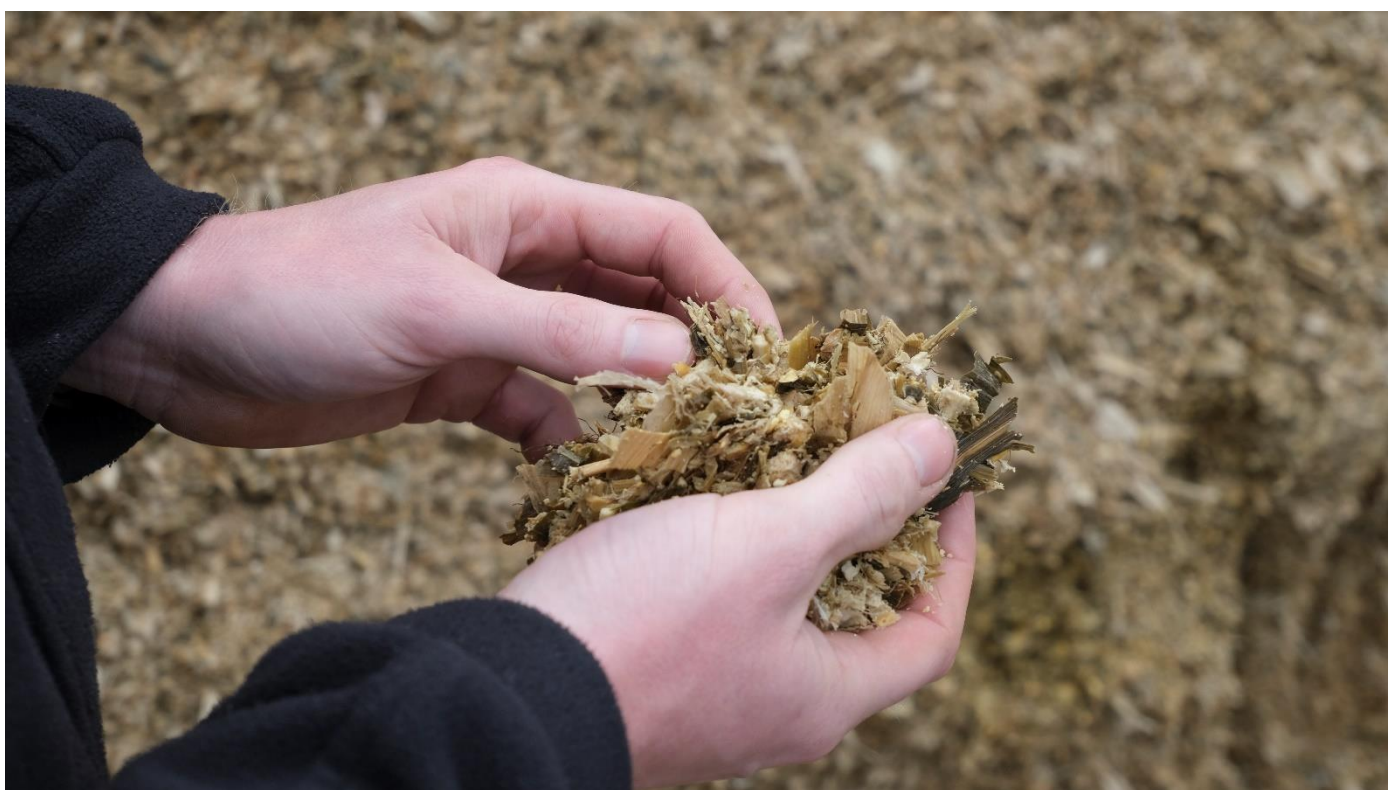


# Potentiel de réduction des pertes de NH<sub>3</sub> dans les exploitations laitières suite à optimisation des rations et analyse de rentabilité des mesures proposées





# Potentiel de réduction des pertes de NH3 dans les exploitations laitières suite à optimisation des rations et analyse de rentabilité des mesures proposées

*Auteurs : Rocco Lioy\*, Audrey Feyder\*, Romain Reding\* (\*CONVIS Société coopérative*

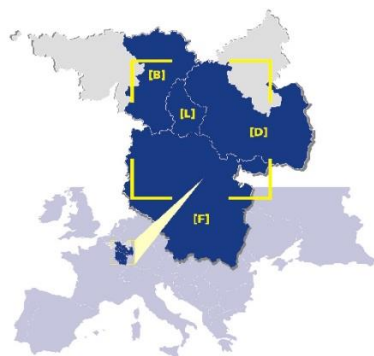
Mai 2022



## AutoProt

Le projet vise à diffuser des pratiques et innovations permettant d'améliorer l'autonomie protéique des systèmes laitiers de la Grande Région mais également de cette Région considérée dans sa globalité. L'implication des acteurs tout au long du projet doit permettre une évaluation critique et une appropriation de ces innovations par le secteur afin d'en accroître la compétitivité. Elle permettra aussi de pérenniser les échanges entre ces acteurs au-delà des limites du projet. Après avoir partagé et appliqué une méthodologie estimant l'autonomie et la durabilité des exploitations et territoires, un recensement des innovations mobilisables en vue d'améliorer ces dimensions sera effectué. Une attention particulière sera apportée aux leviers offerts par une gestion de la problématique à l'échelle de la Grande Région, ainsi qu'aux mesures permettant de réduire les freins limitant l'adoption des innovations et bonnes pratiques identifiées.

AutoProt est un projet du programme INTERREG VA de la Grande Région cofinancé par le Fonds européen de développement régional. Sous la présidence de CONVIS, une coopération entre 10 organisations partenaires de la Grande Région est établi.



## INTERREG V A Grande Région

INTERREG, ou la « coopération territoriale européenne (CTE) », s'inscrit dans le cadre de la politique de cohésion européenne. Cette politique vise à renforcer la cohésion économique, sociale et territoriale en réduisant les différences de développement entre les différents territoires de l'Union européenne.

Financé par le « Fonds Européen de Développement Régional » (FEDER), INTERREG constitue depuis plus de 25 ans le cadre pour des coopérations transnationales, transfrontalières et interrégionales.

2014 était le point de départ de la 5e période de programmation INTERREG, qui se terminera en 2020. Le Programme INTERREG V A Grande Région soutient des projets de coopération transfrontalière entre acteurs locaux et régionaux issus des territoires qui composent la Grande Région.

## Contact

CONVIS s.c.  
4, Zone Artisanale et Commerciale  
L-9085 Ettelbruck  
Grand-Duché de Luxembourg  
Tel : +352-26 81 20 – 0  
Email: [info@convis.lu](mailto:info@convis.lu)

Pour le pdf de ce rapport, plus d'informations et de résultats, voir : [www.autoprot.eu](http://www.autoprot.eu)

## Table des matières

Table des tableaux.....	V
Table des figures.....	VI
1. Introduction.....	- 1 -
2. Relation entre la teneur en urée du lait et les paramètres d'autonomie .....	- 2 -
2.1. Importance de la teneur en urée du lait dans la prévision des émissions .....	- 2 -
d'ammoniac (NH <sub>3</sub> ) provenant de l'élevage bovin.....	- 2 -
2.2. Étude de la relation entre l'urée dans le tank à lait et les paramètres .....	- 3 -
d'autosuffisance (période 2014-2016, exploitations comme en action 3) .....	- 3 -
2.3. Étude de la relation entre l'urée dans le tank à lait et la teneur en .....	- 5 -
protéines brutes des rations vaches laitières pour des exploitations sélectionnées (années 2014-2020).....	- 5 -
3. Lien entre les pertes de NH <sub>3</sub> et les excédents de protéines brutes ainsi que les paramètres d'autonomie des troupeaux laitiers .....	- 7 -
3.1. Méthodes de détermination des pertes de NH <sub>3</sub> et des teneurs en .....	- 7 -
protéines brutes .....	- 7 -
3.1.1. Calcul des émissions d'ammoniac .....	- 7 -
3.1.2. Calcul de la teneur en protéines brutes des rations dans les élevages laitiers.....	- 8 -
3.2. Corrélations entre les pertes d'ammoniac et les teneurs en protéines.....	- 9 -
brutes ainsi que les paramètres d'autonomie protéique .....	- 9 -
4. Voies de réduction des émissions de NH <sub>3</sub> de l'élevage laitier par une optimisation de la teneur protéique de la ration et une estimation des impacts sur la rentabilité des exploitations .....	- 13 -
4.1. Réduction des émissions de NH <sub>3</sub> par une diminution de la teneur .....	- 13 -
protéique brute à un niveau de 15% dans la ration des vaches laitières .....	- 13 -
4.1.1. Méthodologie .....	- 13 -
4.1.2. Résultats et discussion .....	- 14 -
4.2. Coûts de la diminution des émissions de NH <sub>3</sub> en abaissant la teneur en .....	- 16 -
PB de la ration des vaches laitières à 14% .....	- 16 -
4.2.1. Méthodologie .....	- 17 -
4.2.2. Résultats et discussion .....	- 18 -
5. Conclusions.....	- 21 -
6. Bibliographie.....	- 23 -

## Table des tableaux

Tableau 1: Nombre d'exploitations évaluées par sous-région.....	- 3 -
Tableau 2: Emissions d'ammoniac (*kg NH <sub>3</sub> _N/ha) et densité de bétail des exploitations évaluées -	8 -
Tableau 3: Teneur en protéines brutes ainsi que les apports en protéines brutes et matière sèche des troupeaux laitiers des élevages évalués (CP = protéine brute, DM = matière sèche) .....	- 9 -
Tableau 4a et 4b: Coefficient de détermination des corrélations entre la protéine non utilisée et les émissions de NH <sub>3</sub> pour les sous-régions et pour les types d'exploitations.....	- 10 -
Tableau 5: teneur en PB [en %] de la ration des vaches laitières et économie potentielle des émissions de NH <sub>3</sub> en % dans les exploitations des différentes régions .....	- 14 -
Tableau 6: réduction du rendement laitier en % lorsque la teneur en PB de la ration est réduite de 15% à 14%, coûts des émissions diminuées de NH <sub>3</sub> en euros par vache et par an, coûts des émissions réduites de NH <sub>3</sub> par % de NH <sub>3</sub> et différences significatives des coûts par % de NH <sub>3</sub> , par région ...	- 18 -
Tableau 7: pertes par % des émissions diminuées de NH <sub>3</sub> en euros par vache et par an, pertes par % des émissions diminuées de NH <sub>3</sub> par % de NH <sub>3</sub> et différences significatives des coûts par % de NH <sub>3</sub> , par type d'exploitation .....	- 19 -

## Table des figures

Figure 1: Corrélation entre la teneur en urée du lait (MUN) et les pertes de NH <sub>3</sub> des vaches laitières (Source : Bracher 2011).....	- 2 -
Figure 2: Corrélation entre la teneur en urée du lait (contrôle laitier) et l'autonomie protéique .....	- 2 -
Figure 3: Corrélations entre l'autonomie protéique relative (gauche) ou absolue (droite) et la teneur en urée du lait (axe X, valeurs en ppm).....	- 4 -
Figure 4: Corrélations entre la perte de protéines, l'achat, les besoins en protéines et en protéines brutes dans l'alimentation et la teneur en urée du lait (axe X, valeurs en ppm).....	- 4 -
Figure 5: Corrélations entre la teneur en urée du lait (axe X, valeurs en ppm) et la teneur en protéines brutes de la ration (axe Y, valeurs en g XP pour 100g de matière sèche).....	- 6 -
Figure 6: Le concept de flux massique pour le calcul des émissions des espèces azotées provenant de l'élevage bovin (après GIEC 2006) .....	- 7 -
Figure 7: Corrélations entre les pertes en NH <sub>3</sub> (kg NH <sub>3</sub> _N/ha, axe Y) et l'autonomie protéique (axe X ; gauche : relative ; droite : absolue).....	- 9 -
Figure 8:Corrélation entre les pertes de NH <sub>3</sub> (kg NH <sub>3</sub> _N/ha, axe Y) et la protéine non utilisée (axe X, kg protéine brute/ha) .....	- 10 -
Figure 9: Corrélation entre les pertes en NH <sub>3</sub> (kg NH <sub>3</sub> _N/ha, axe Y) et la teneur en protéine brute de la ration (axe X, % dans la MS) .....	- 11 -
Figure 10: Corrélation entre la protéine non utilisée (kg PB/ha, axe Y) et la teneur en protéine brute de la ration (axe X, % dans la MS) .....	- 12 -
Figure 11: box-plot des valeurs de la diminution potentielle des émissions de NH <sub>3</sub> par région .....	- 14 -
Figure 12: pourcentage des exploitations avec des rations >15% PB, teneur en PB des rations en % et potentiel de diminution des émissions de NH <sub>3</sub> par une réduction de la teneur en PB des rations à 15%, par type d'exploitation .....	- 15 -
Figure 13: box-plot des valeurs de diminution potentielle des émissions de NH <sub>3</sub> selon le type d'exploitation et résultats du test de comparaison de moyenne, la même lettre signifie une différence non significative .....	- 16 -
Figure 14: box-plot des pertes par % de NH <sub>3</sub> réduit en euros par région .....	- 19 -
Figure 15: box-plot des pertes par % de NH <sub>3</sub> diminué, en euros par type et différences significatives, la même lettre signifie une différence non significative .....	- 20 -

## 1. Introduction

L'objectif principal de l'action 8 est d'identifier les possibilités et les limites de l'utilisation des paramètres d'autonomie protéique pour quantifier le potentiel de perte de NH<sub>3</sub> dans les exploitations laitières. Cette étude s'inscrit dans le contexte de la nécessité de réduire les émissions de NH<sub>3</sub>, comme l'exige explicitement la directive NEC (2016) de l'UE. À cet égard, le Luxembourg, par exemple, s'est engagé à réduire ses émissions de NH<sub>3</sub> provenant de l'agriculture de 22% d'ici 2025. La majeure partie de cette réduction concerne le secteur de l'élevage laitier.

Plusieurs chemins parallèles sont étudiés. D'une part, il s'agit d'étudier une relation possible entre la teneur en urée du lait, les paramètres d'autonomie et le niveau d'émission de NH<sub>3</sub> par les vaches laitières. En ce qui concerne la teneur en urée du lait, il s'agit, d'une part, des analyses des laiteries des mêmes années et des exploitations pour lesquelles le calcul de l'autonomie protéique a été effectué dans le cadre de l'action 3 « Analyse ». D'autre part, afin d'améliorer la précision de la prévision, des données supplémentaires sont extraites des exploitations sélectionnées, en particulier des rations alimentaires des vaches laitières, et elles sont mises en relation avec les teneurs en urée respectives.

Parallèlement, on s'efforce de quantifier dans quelle mesure les émissions d'ammoniac peuvent être réduites dans des conditions pratiques par une optimisation de la teneur en protéines brutes de la ration des vaches laitières. A cet égard, on commencera par étudier les relations générales entre les émissions d'ammoniac, d'une part, et l'excédent de protéines brutes, d'autre part, ainsi que les paramètres d'autonomie. Il s'agit également de déterminer la quantité d'émission d'ammoniac qu'il est possible d'éviter en optimisant l'alimentation et dans les conditions du projet. Enfin, il s'agira d'étudier le coût de la quantité d'ammoniac évitée (par exemple : coût pour éviter 1 kg de NH<sub>3</sub>), en tenant compte des effets positifs de l'économie alimentaire et des effets négatifs liés à une éventuelle réduction de la production laitière. L'analyse des coûts confirme la cohérence de l'action 8 avec l'objectif principal du projet, à savoir la compétitivité des exploitations laitières dans le contexte de leur autonomie protéique.



## 2. Relation entre la teneur en urée du lait et les paramètres d'autonomie

### 2.1. Importance de la teneur en urée du lait dans la prévision des émissions d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) provenant de l'élevage bovin.

La principale cause des émissions de NH<sub>3</sub> provenant de l'élevage bovin est la teneur en urine des déjections (KTBL/UBA 2021). Plus la quantité d'urine dans les déjections est élevée, plus les émissions de NH<sub>3</sub> sont élevées. Un autre fait important est qu'il existe une forte corrélation entre la teneur en urée de l'urine et la teneur en urée du lait, comme l'indiquent de nombreuses études (notamment Bannik & Hindle 2003, Broderick 2003, Speck et al. 2013). En cas d'augmentation de la teneur en urée du lait, on peut s'attendre à une augmentation des concentrations urinaires d'urée. Cela signifie que la teneur en urée du lait peut être utilisée comme indicateur des pertes d'ammoniac provenant de l'élevage laitier, comme le montre la figure 1.

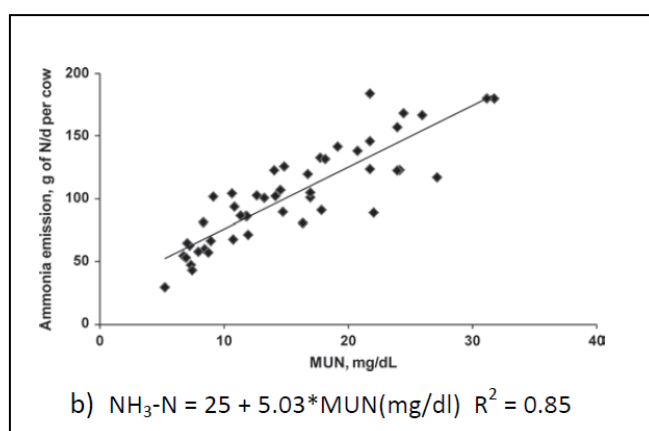


Figure 1: Corrélation entre la teneur en urée du lait (MUN) et les pertes de NH<sub>3</sub> des vaches laitières (Source : Bracher 2011)

L'autonomie protéique s'avère également un paramètre approprié pour identifier les exploitations laitières présentant des teneurs en urée plus élevées et donc un potentiel de perte de NH<sub>3</sub>. Comme le montre la figure 2, l'autonomie protéique des 78 exploitations AUTOPROT luxembourgeoises montre une corrélation assez nette avec la teneur en urée du lait (données de l'essai de performance laitière, moyenne des années 2014 à 2016). Lorsque l'autonomie protéique augmente, l'urée dans le lait tend à diminuer et le potentiel de perte d'ammoniac diminue.

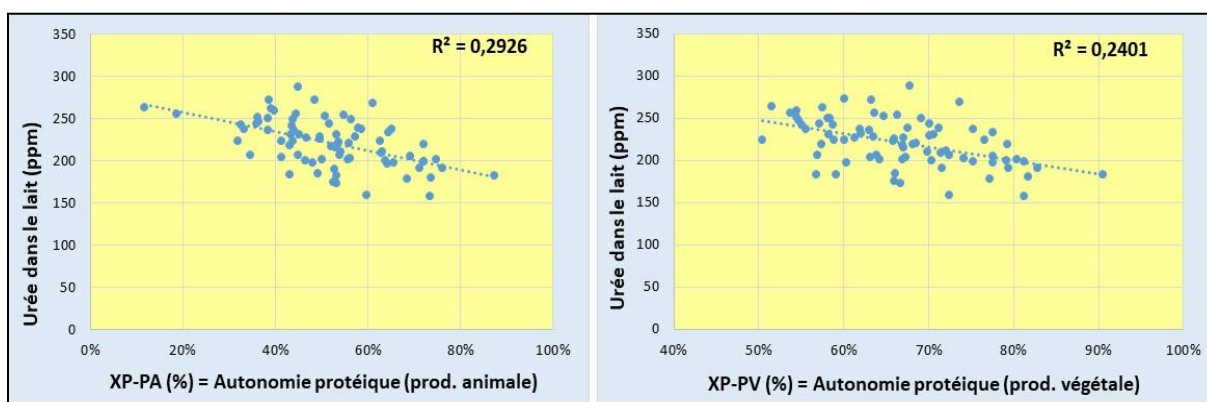


Figure 2: Corrélation entre la teneur en urée du lait (contrôle laitier) et l'autonomie protéique

Sur la base de ces considérations, les partenaires d'Autoprot ont décidé d'étudier, à partir des données d'analyses existantes sur le lait, le lien entre la teneur en urée du lait et l'autonomie protéique. Il a

également été décidé que les valeurs d'urée devraient être prises dans le tank à lait et non via le contrôle laitier, car le tank à lait reflète mieux la situation moyenne du troupeau de vaches laitières.

## 2.2. Étude de la relation entre l'urée dans le tank à lait et les paramètres d'autosuffisance (période 2014-2016, exploitations comme en action 3)

Le tableau 1 indique le nombre d'exploitations qui ont fourni des données sur l'urée pour les évaluations au titre de l'action 8. À cet égard, il convient de mentionner que la mise à disposition des données n'est pas évidente, car pour obtenir les données des exploitations concernées, des déclarations de confidentialité devaient être signées afin que les laboratoires laitiers des sous-régions respectives puissent divulguer les teneurs en urée.

*Tableau 1: Nombre d'exploitations évaluées par sous-région*

Sous-Région	Exploitations Action 3	Exploitations avec accord du laboratoire	% d'accord
LUX	78	48	62%
RPS	33	29	88%
LOR	48	7	15%
PLL	58	30	52%
Alle	217	114	53%

En Lorraine, il est à noter que dans les départements des Vosges, de la Meuse et de la Meurthe-et-Moselle, les laiteries n'ont pas été en mesure de fournir un historique des données (2014-2015-2016). Ainsi, pour la Lorraine, les évaluations n'ont pu être effectuées que pour les exploitations du département de la Moselle.

Les corrélations calculées entre la teneur en urée du lait et les paramètres d'autonomie pour l'ensemble des 114 exploitations évaluables sont présentées aux figures 3 et 4.

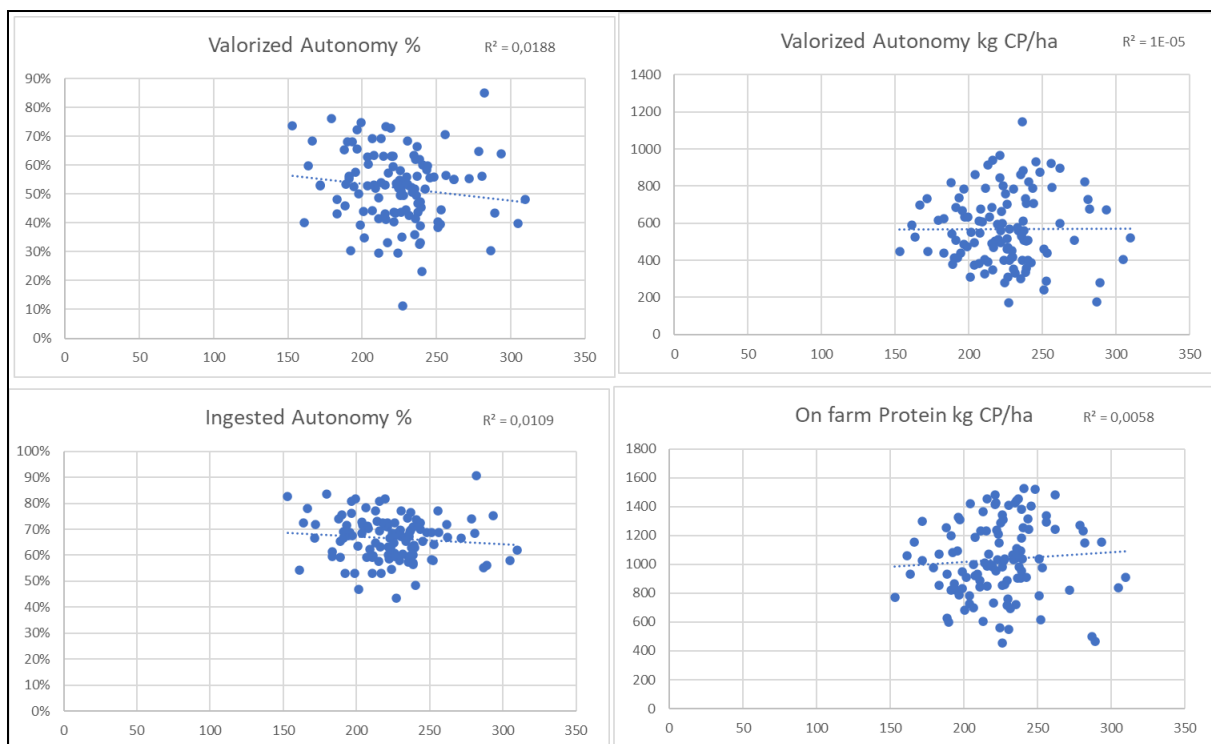


Figure 3: Corrélations entre l'autonomie protéique relative (gauche) ou absolue (droite) et la teneur en urée du lait (axe X, valeurs en ppm)

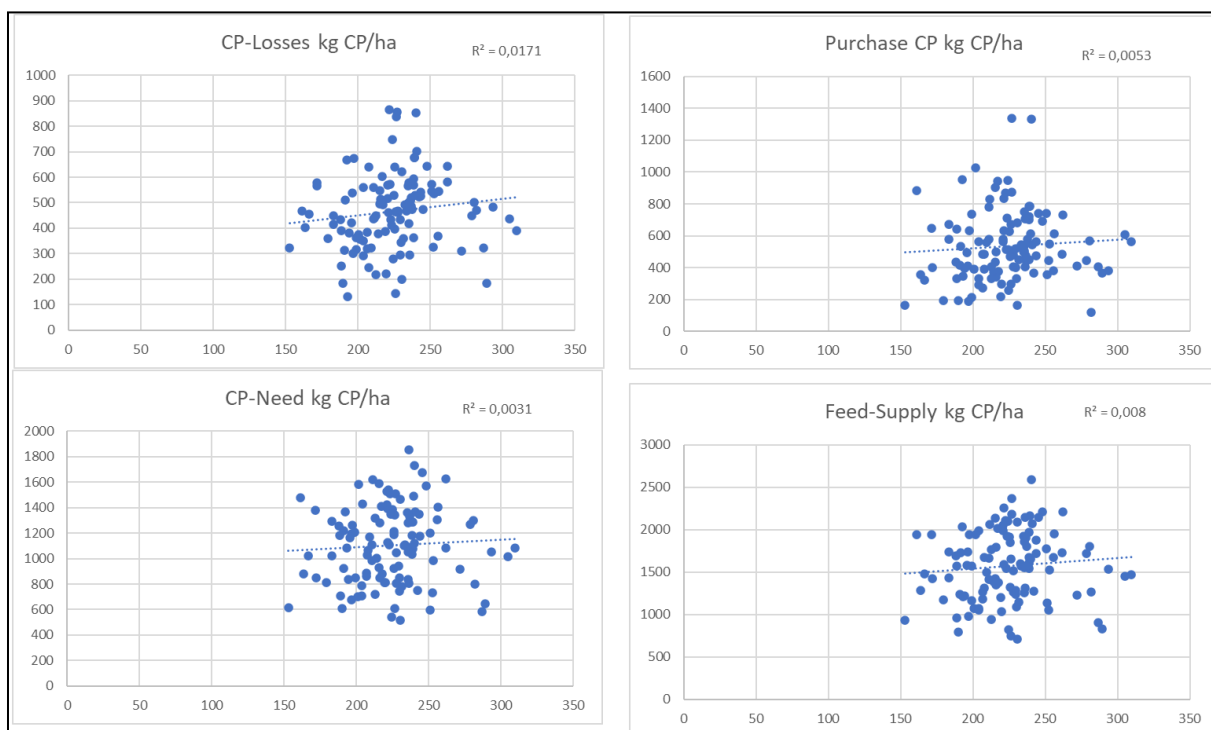


Figure 4: Corrélations entre la perte de protéines, l'achat, les besoins en protéines et en protéines brutes dans l'alimentation et la teneur en urée du lait (axe X, valeurs en ppm)

Malheureusement, toutes les corrélations calculées ne se sont pas révélées significatives. Il y a plusieurs explications : d'une part, le fait que les paramètres d'autonomie se réfèrent à l'ensemble du cheptel laitier, tandis que les valeurs d'urée ne concernent que les vaches laitières. La dispersion élevée des résultats est également influencée par l'hétérogénéité de l'alimentation, car l'apport de maïs dans la ration de base, et de concentré protéique, peut entraîner des compensations dans la teneur en urée. En raison de la faiblesse des corrélations, il n'est pas nécessaire de décliner les corrélations au niveau des sous-régions et des types d'exploitations.

### 2.3. Étude de la relation entre l'urée dans le tank à lait et la teneur en protéines brutes des rations vaches laitières pour des exploitations sélectionnées (années 2014-2020)

Une autre étude a été réalisée dans le cadre de l'action 8, afin d'étudier plus précisément la relation entre la teneur en urée du lait et l'autonomie protéique. Cette fois, les teneurs en urée du tank à lait ont été mises en relation directe avec les teneurs correspondantes en protéines brutes des rations des vaches laitières. A cet égard, 8 à 10 exploitations ont été sélectionnées dans toutes les sous-régions (10 pour le Luxembourg et les provinces de Liège et de Luxembourg, 9 pour la Rhénanie-Palatinat et la Sarre et 8 pour la Lorraine) : celles-ci présentent une très bonne qualité des données, notamment en ce qui concerne la fiabilité des composants de la ration alimentaire. Il convient de tenir compte du fait que les années d'enquête n'étaient pas nécessairement celles de l'action 8. Les années 2014 à 2020 ont donc été prises en compte, en fonction de la disponibilité et de la qualité des données. Une ration estivale et une ration hivernale des vaches laitières avec les teneurs en urée correspondantes ont été enregistrées séparément pour toutes les exploitations. Par exploitation, on obtient ainsi jusqu'à 6 paires de valeurs (urée-protéines brutes de la ration) réparties sur trois ans.

Les corrélations calculées sont présentées à la figure 5. Il en ressort que dans deux sous-régions (Rhénanie-Palatinat - Sarre et Luxembourg), les corrélations ne sont pas significatives. En Lorraine, la corrélation est faiblement significative ; seules les provinces de Liège et de Luxembourg présentent une corrélation un peu plus forte.

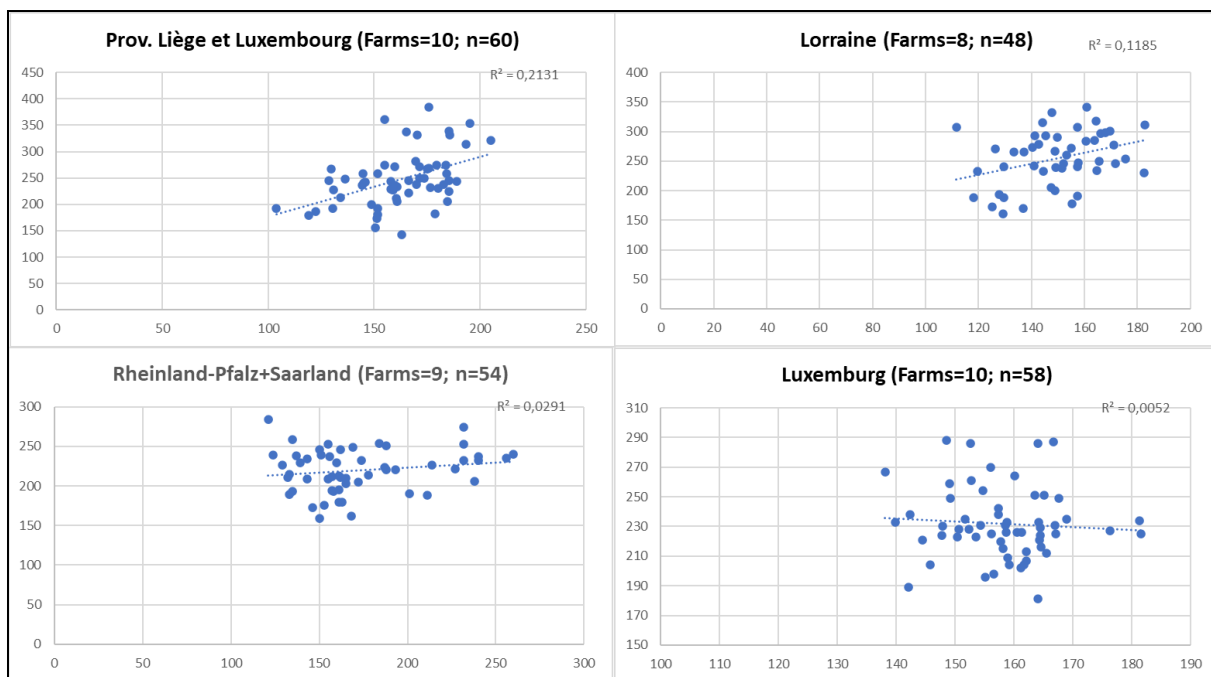


Figure 5: Corrélations entre la teneur en urée du lait (axe X, valeurs en ppm) et la teneur en protéines brutes de la ration (axe Y, valeurs en g XP pour 100g de matière sèche)

Les exploitations du Luxembourg, de Rhénanie-Palatinat et de la Sarre, qui appartiennent majoritairement au type d'exploitation LMI, ont des rations alimentaires pour les vaches laitières fortement basées sur le maïs. Pour cette raison, les niveaux d'urée sont souvent peu élevés, même si la teneur en protéines brutes de la ration est élevée. En revanche, la proportion d'herbe dans la ration des vaches laitières en Lorraine (type d'exploitation dominant : LMSI avec significativement plus d'herbe dans la ration que LMI) est déjà plus élevée, et elle est la plus élevée dans les provinces wallonnes de Liège et de Luxembourg, où le type de ferme dominant est LHI. Lorsque l'herbe domine dans la ration, la teneur en protéine brute dans la ration augmente et les niveaux d'urée dans le lait sont dans la tendance plus élevés (Decker et al. 2021), ce qui explique le comportement différent des exploitations dans les différentes sous-régions.

En ce qui concerne l'utilisation de ces résultats comme pronostic des pertes de NH<sub>3</sub>, il faut conclure que le lien entre les données de ration et la teneur en urée dans le tank à lait est trop faible pour fournir un pronostic suffisamment fiable, même dans les exploitations herbagères intensives. Les fluctuations des rations et les éventuels problèmes de représentativité des valeurs d'urée du tank à lait sont trop élevés. Afin de pouvoir faire une prévision suffisamment fiable de la teneur en urée basée sur la teneur en protéines brutes de la ration, les rations devraient être décrites régulièrement sur une plus longue période et les analyses du lait devraient être réalisées quotidiennement si possible. Ensuite, les phases de transition de l'alimentation, par exemple des rations d'hiver aux rations d'été, pourraient être mieux enregistrées afin de fiabiliser les évaluations.

### 3. Lien entre les pertes de NH<sub>3</sub> et les excédents de protéines brutes ainsi que les paramètres d'autonomie des troupeaux laitiers

#### 3.1. Méthodes de détermination des pertes de NH<sub>3</sub> et des teneurs en protéines brutes

##### 3.1.1. Calcul des émissions d'ammoniac

Les émissions de NH<sub>3</sub> des exploitations de l'action 3 sont issues des chiffres déjà déterminés pour le bilan CO<sub>2</sub> des exploitations (n=217, moyenne des années 2014 à 2016). La détermination des émissions de NH<sub>3</sub> est nécessaire pour pouvoir calculer les émissions de gaz à effet de serre (notamment les émissions de N<sub>2</sub>O) des exploitations. À cet égard, un concept de débit massique pour les émissions d'espèces azotées, basé sur l'approche du GIEC, est utilisé (2006) (Fig. 6).

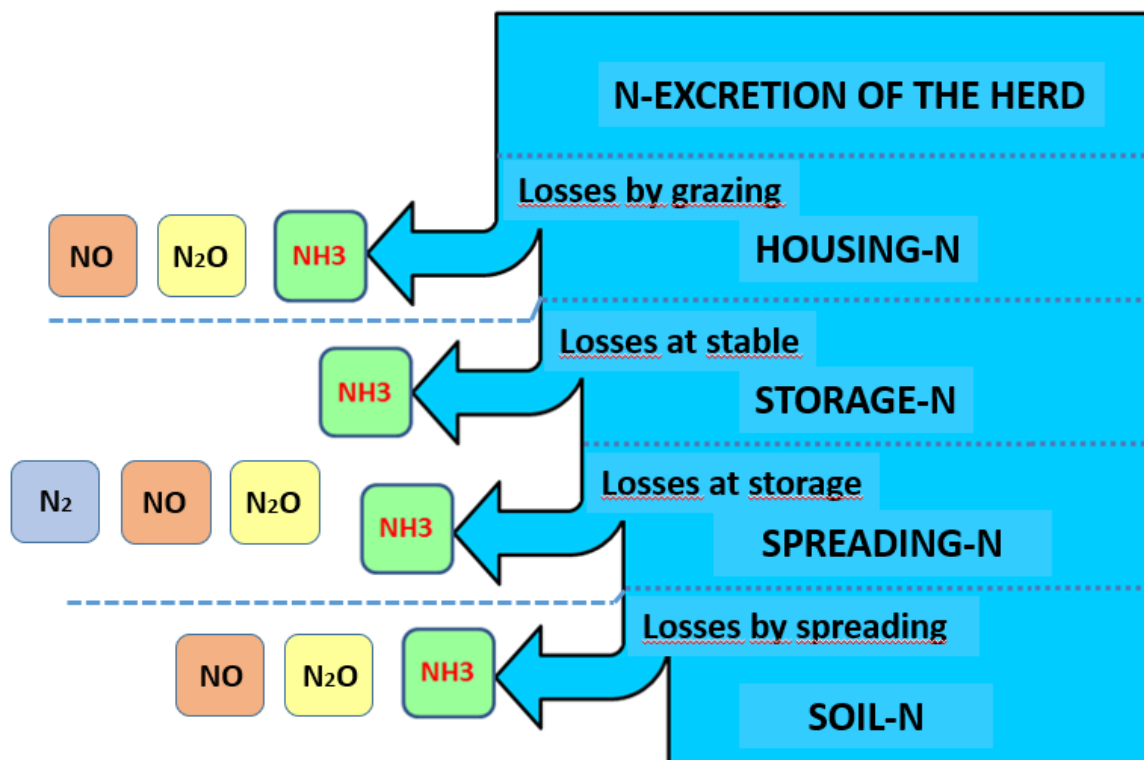


Figure 6: Le concept de flux massique pour le calcul des émissions des espèces azotées provenant de l'élevage bovin (après GIEC 2006)

Comme on peut le voir sur la figure 6, les quantités excrétées au pâturage sont soustraites des quantités de N excrété. L'azote restant est excrété dans l'étable et amorce un flux qui aboutit au sol après avoir traversé l'étable, les compartiments de stockage et d'épandage. Pour calculer les émissions dans un compartiment (B), il faut déterminer les quantités de N circulant dans le compartiment (B) depuis le compartiment (A) précédent. Ces N quantités sont constituées des N quantités qui se sont déversées dans le compartiment (A) moins toutes les émissions se produisant dans le compartiment (A). Après cette déduction, les facteurs d'émission du compartiment (B) peuvent être appliqués et ses émissions déterminées.

Pour le calcul des émissions de NH<sub>3</sub> pour les compartiments pâture, étable, stockage et épandage, les acteurs d'émission selon Döhler et al. (2002) ont été appliqués. Ces facteurs d'émission sont également utilisés par l'Institut VTI pour calculer l'inventaire national allemand des émissions de gaz à effet de serre (VTI Report 57, 2018).

Le niveau d'émissions de NH<sub>3</sub> des exploitations examinées suit généralement la densité d'élevage (LAU/ha) des exploitations (Tab.2). Les exceptions sont les exploitations de Rhénanie-Palatinat et de Sarre, qui ont des émissions plus élevées que celles du Luxembourg, même si elles ont moins de bétail par ha. En effet, l'utilisation de technologies d'épandage à faibles émissions est plus répandue au Luxembourg qu'en Rhénanie-Palatinat et en Sarre. A cet égard, il convient de mentionner qu'en l'absence de données des exploitations lorraines et wallonnes, il a été supposé que le lisier serait épandu à l'aide d'un déflecteur et que le lisier serait épandu sans incorporation. Le tableau 2 montre également que la dispersion des résultats au Luxembourg et dans les provinces wallonnes de Liège et du Luxembourg est plus faible qu'en Lorraine et en Rhénanie-Palatinat et en Sarre.

Tableau 2: Emissions d'ammoniac (\*kg NH<sub>3</sub>\_N/ha) et densité de bétail des exploitations évaluées

	*Average	*min	*max	*StDev%	LAU/ha
<b>All</b>	47,5	17,1	92,2	31%	1,51
<b>LUX</b>	43,7	18,7	70,5	26%	1,58
<b>RPS</b>	50,2	19,7	82,5	35%	1,46
<b>LOR</b>	40,4	17,1	80,5	33%	1,14
<b>PLL</b>	58,3	26,3	92,2	25%	1,88

### 3.1.2. Calcul de la teneur en protéines brutes des rations dans les élevages laitiers

Pour calculer la teneur en protéines brutes des rations dans les élevages laitiers, deux jeux de données devaient être fournis :

- La protéine brute distribuée comme la somme de la protéine produite et achetée. La protéine brute distribuée fait partie des données nécessaires au calcul de l'autonomie protéique par ingestion (méthode IDELE). Ces données ont déjà été calculées et utilisées dans le cadre de l'action 3 "Analyse".
- La consommation de matière sèche du troupeau laitier. Cette variable a également été utilisée pour calculer l'autonomie protéique par ingestion dans le cadre de l'action 3 "Analyse". Une description détaillée du calcul de l'apport en matière sèche du troupeau laitier se trouve sous [https://www.autoprot.eu/wp-content/uploads/2021/02/Livvable2.1\\_Guide-technique.pdf](https://www.autoprot.eu/wp-content/uploads/2021/02/Livvable2.1_Guide-technique.pdf) , pages 13-14.

La teneur en protéines brutes des rations des vaches laitières est calculée à l'aide de la formule :

$$\text{Teneur en PB (\%)} = \text{Protéine Brute Nourrie (kg)} / \text{Apport de Matière Sèche (kg)} * 100$$

Comme le montre le tableau 3, la teneur moyenne en protéines brutes des rations dans les élevages laitiers évalués est de 15,7 %. Les niveaux d'XP sont les plus faibles en Lorraine (15,0%) et les plus élevés au Luxembourg (16,1%). Les exploitations wallonnes se caractérisent par leur apport élevé en protéines et en matière sèche. Malgré cela, ils n'ont pas les niveaux d'XP les plus élevés de la ration. Les exploitations luxembourgeoises présentent également la dispersion la plus élevée dans les résultats de l'apport en protéines et en matière sèche.

Tableau 3: Teneur en protéines brutes ainsi que les apports en protéines brutes et matière sèche des troupeaux laitiers des élevages évalués (CP = protéine brute, DM = matière sèche)

	Feeded CP (kg/ha)	StDev.	DM intake (kg*100/ha)	StDev.	Ration CP content
<b>All</b>	1404	47%	89	51%	15,7
<b>LUX</b>	1475	59%	92	57%	16,1
<b>RPS</b>	1415	12%	89	33%	15,9
<b>LOR</b>	1010	42%	67	41%	15,0
<b>PLL</b>	1715	36%	110	34%	15,7

### 3.2. Corrélations entre les pertes d'ammoniac et les teneurs en protéines brutes ainsi que les paramètres d'autonomie protéique

Les émissions d'ammoniac des exploitations évaluées sont toutes significativement corrélées aux valeurs d'autonomie protéique après valorisation et après ingestion, aussi bien lorsque l'autonomie protéique est exprimée en % que lorsqu'elle est exprimée en kg XP/ha (Fig. 7). Le fait que la corrélation soit négative dans le cas de l'autonomie en % et positive dans le cas de l'autonomie en kg XP/ha nécessite une explication. Les valeurs d'autonomie protéique en % sont fortement influencées par l'efficacité de l'utilisation des aliments par les animaux. Si cela augmente, l'autonomie en protéines augmente d'une part, mais les émissions diminuent d'autre part, car une plus grande partie des protéines utilisées est convertie en lait et en viande et une moindre partie est excrétée sous forme de fèces et d'urine. En revanche, les valeurs absolues d'autonomie (en kg XP/ha) sont fortement dépendantes de l'élevage, de même que les émissions de NH<sub>3</sub>. Donc si le cheptel augmente, les valeurs d'autonomie en kg XP/ha et les émissions de NH<sub>3</sub> vont augmenter en même temps.

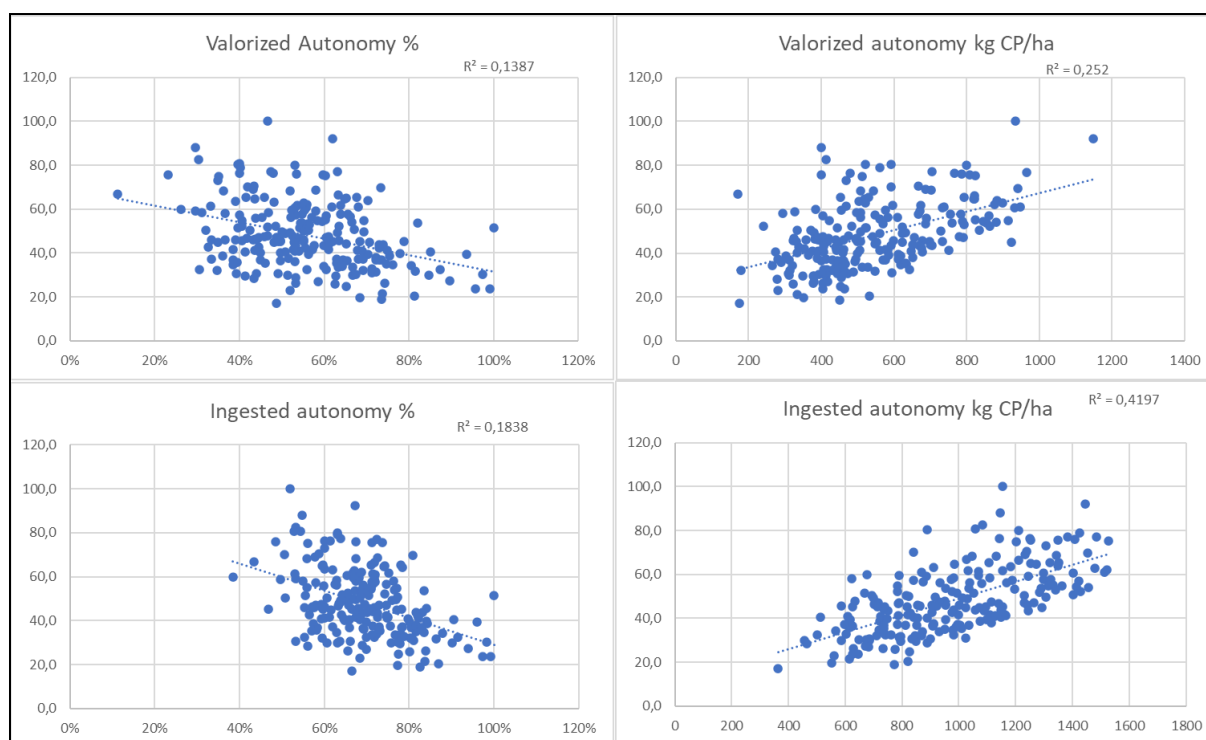


Figure 7: Corrélations entre les pertes en NH<sub>3</sub> (kg NH<sub>3</sub>\_N/ha, axe Y) et l'autonomie protéique (axe X ; gauche : relative ; droite : absolue)



Il n'est pas non plus surprenant que la plus forte des corrélations déterminées soit celle entre l'autonomie après ingestion en kg XP/ha et les émissions de NH3. Plus la quantité absolue de protéines brutes consommées par le bétail laitier est élevée, plus la proportion de protéines inutilisables est élevée et donc les pertes de NH3 le sont aussi.

C'est précisément ce qui nous amène au sujet même de ce rapport. Il faudrait essayer de faire la lumière sur la relation entre la protéine non utilisée et les émissions de NH3. Il est mentionné ici pour rappel que la protéine non utilisée est la différence en chiffres absolus (kg XP/ha) entre l'autonomie protéique après ingestion et l'autonomie protéique après valorisation. Mathématiquement, cette différence correspond au surplus de protéines brutes dans la ration du troupeau laitier.

La figure 8 montre que les émissions de NH3 augmentent significativement avec l'augmentation des protéines non utilisées. Cela signifie que plus la quantité de protéines qui ne peuvent pas être converties de manière productive par le bétail laitier est élevée, plus la perte d'azote sous forme NH3 est élevée. Cette corrélation positive entre les paramètres considérés est également significative pour les sous-régions individuelles et pour les types d'exploitations à l'exception du type LMSI (Tab.4a et 4b).

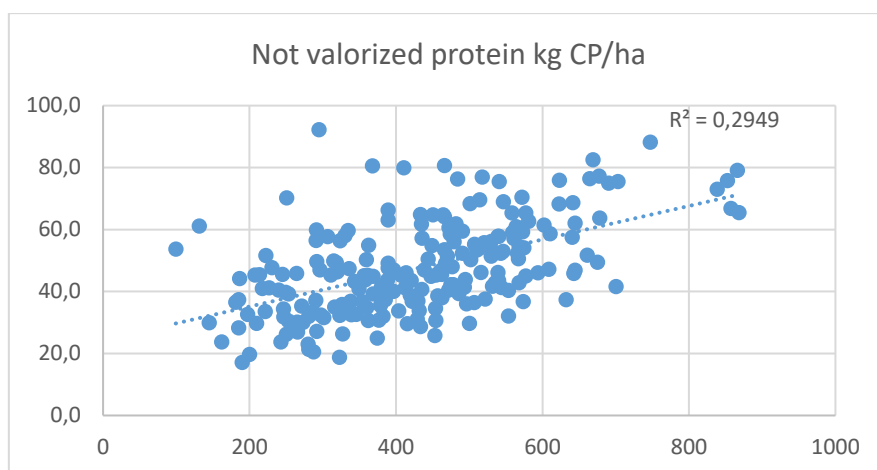


Figure 8:Corrélation entre les pertes de NH3 (kg NH3\_N/ha, axe Y) et la protéine non utilisée (axe X, kg protéine brute/ha)

Tableau 4a et 4b: Coefficient de détermination des corrélations entre la protéine non utilisée et les émissions de NH3 pour les sous-régions et pour les types d'exploitations

Subregion	R <sup>2</sup>
LUX	0,3979
RPS	0,4887
LOR	0,1045
PLL	0,2376

Typologie	R <sup>2</sup>
BIO	0,5279
LHE	0,6141
LHI	0,1548
LMSI	n.s.
LMI_LP	0,2474
LMI_HP	0,2359
LP	0,3276

Une autre question est le lien entre les émissions de NH3 et la teneur en protéines brutes de la ration. Une tentative d'établir une connexion directe entre ces paramètres conduit à une corrélation non significative (Fig.9).

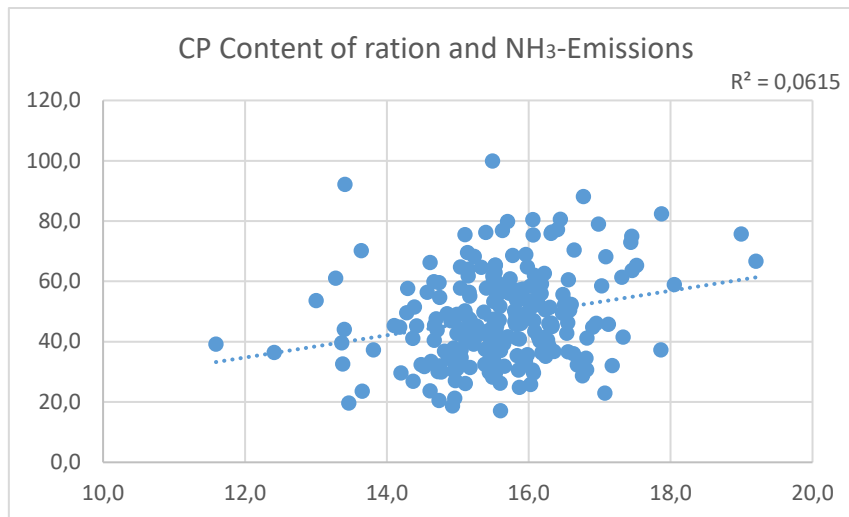


Figure 9: Corrélation entre les pertes en NH<sub>3</sub> (kg NH<sub>3</sub>\_N/ha, axe Y) et la teneur en protéine brute de la ration (axe X, % dans la MS)

Cela peut s'expliquer par le fait que toutes les exploitations n'ont pas un excès de protéines brutes dans la ration. Il y a certainement des fermes qui nourrissent au même niveau que les besoins ou très efficacement, de sorte que dans ces cas, les pertes de NH<sub>3</sub> sont faibles. La qualité de la protéine brute fournie doit également être prise en compte. S'il y a un excédent dû à l'augmentation des concentrés alimentaires, cela entraîne une augmentation de l'excrétion d'azote sous forme d'urine et donc des émissions de NH<sub>3</sub>. Cependant, si l'excès est causé par une consommation accrue d'herbe, alors l'excrétion est élevée, mais le risque d'émissions de NH<sub>3</sub> n'est pas dans la même mesure. Mais surtout, la non-significativité de la corrélation entre les émissions de NH<sub>3</sub> et la teneur en XP de la ration fait que le risque de pertes en cours d'exploitation dépend moins de paramètres individuels que de la qualité de la gestion du troupeau. Comme c'est si souvent le cas, ce constat est responsable de la dispersion considérable des résultats des corrélations.

Un dernier point concerne le lien entre la protéine non utilisée et la teneur en protéine brute de la ration (Fig. 10). Il existe une corrélation très significative, qui concerne cependant des quantités qui ne sont pas complètement indépendantes, puisque la protéine ingérée est incluse dans le calcul des deux paramètres. La raison pour laquelle cette corrélation est présentée est que dans les situations où la protéine inutilisée ne peut pas être déterminée via le calcul de l'autonomie en protéines, elle peut être calculée via la corrélation, mais avec une incertitude d'environ 50 %.

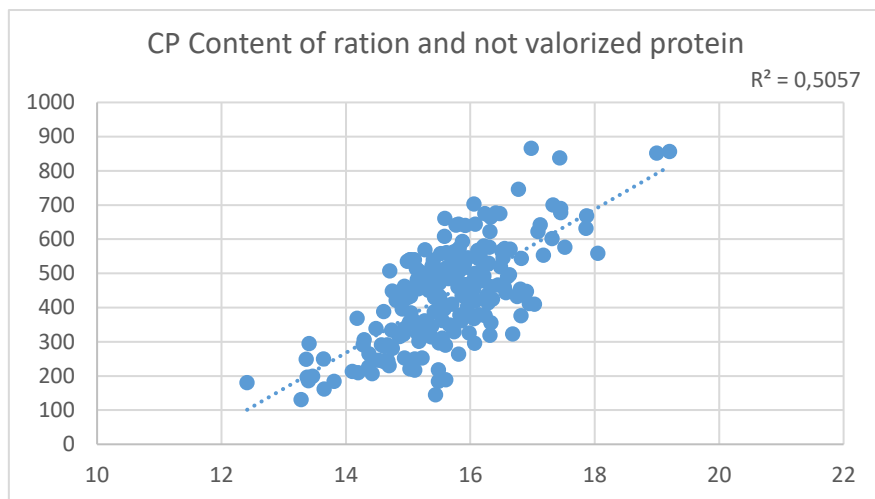


Figure 10: Corrélation entre la protéine non utilisée (kg PB/ha, axe Y) et la teneur en protéine brute de la ration (axe X, % dans la MS)

Les résultats présentés dans ce chapitre constituent maintenant la base pour étudier les possibilités et les limites de réduction des émissions de NH<sub>3</sub> en optimisant ou en réduisant la teneur en protéines brutes dans la ration du troupeau laitier.

## 4. Voies de réduction des émissions de NH3 de l'élevage laitier par une optimisation de la teneur protéique de la ration et une estimation des impacts sur la rentabilité des exploitations

### 4.1. Réduction des émissions de NH3 par une diminution de la teneur protéique brute à un niveau de 15% dans la ration des vaches laitières

#### 4.1.1. Méthodologie

Pour le calcul du potentiel de réduction des émissions de NH3 au sein des exploitations laitières de la Grande Région, les données suivantes ont été collectées : ingestion de matière sèche (MS) par les vaches laitières, ingestion de MS par le jeune bétail, quantités de protéines brutes (PB) distribuées, rendement laitier (en ECM) et nombre de vaches laitières (VL). Comme les données collectées ne permettaient pas d'en déduire la teneur en PB de la ration des vaches et du jeune bétail (JB) séparément, nous avons posé l'hypothèse que la ration moyenne du jeune à une teneur en PB de 14,5%. Cette valeur a pu être confirmée à l'aide des données plus détaillées du Luxembourg.

Basé sur cette supposition, la teneur moyenne en PB de la ration des vaches a été calculé comme suit :

$$PB \text{ Ration VL } [\%] = \frac{PB \text{ total distribué } [kg] - (ingestion \text{ MS JB } [kg] * 14,5\%)}{ingestion \text{ MS VL } [kg]}$$

Sur base des résultats des différentes recherches scientifiques, l'hypothèse pour les calculs suivants que la teneur en PB de la ration des vaches laitières peut être diminué à un niveau de 15% sans pertes de lait a été émise (Westreicher-Kristen, E. et al., 2022). D'autre part, des recherches ont montré que la diminution de la teneur en PB de la ration des bovins de 1%, réduit les émissions de NH3 de 17% (Sajeev et al., 2018).

Ainsi la différence entre la teneur réelle en PB de la ration des vaches laitières et la teneur optimisée de 15% a été calculé pour toutes les exploitations traitées dans le projet. Pour ce calcul, toutes les exploitations dont la ration des vaches est inférieure à 15% de PB ont été exclues. Lors de l'étape suivante, cette différence a été multipliée par 17 afin de déterminer dans les exploitations, le potentiel d'économiser des émissions de NH3, sans diminution du rendement laitier.

$$potentiel \text{ d'économiser NH3 } [\%] = (PB \text{ ration VL } [\%] - 15[\%]) * 17$$

Les valeurs obtenues pour le potentiel d'économiser des émissions de NH3 ont été évalués statistiquement dans le programme R au moyen d'une analyse de variance (test ANOVA).

#### 4.1.2. Résultats et discussion

Tableau 5: teneur en PB [en %] de la ration des vaches laitières et économie potentielle des émissions de NH3 en % dans les exploitations des différentes régions

Région	PB% ration, toutes exploitations	%-tage exploitations avec ration > 15% PB	PB% ration, uniquement exploitations avec un ration >15% PB	Potentiel de diminution de NH3 en %	Différences significatives*
LUX	16,6	96%	16,6	27,9	b
RPS	16,2	85%	16,7	29,5	b
LOR	15,1	52%	15,9	15,7	a
WAL	15,9	88%	16,3	21,9	ab
Moyenne	16,0	80%	16,4	24,7	

\* même lettre pour différence non significative

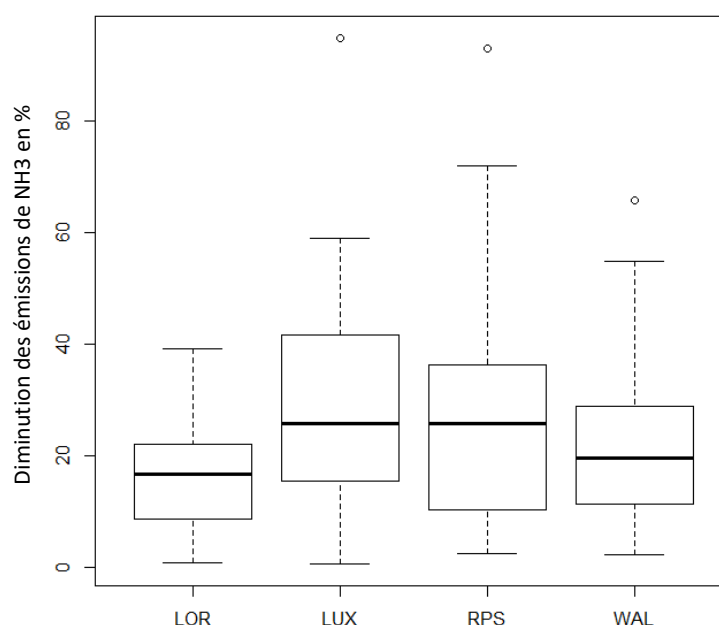


Figure 11: box-plot des valeurs de la diminution potentielle des émissions de NH3 par région

Le tableau 5 montre que les exploitations de la Grande Région affouragent les vaches laitières de 80% avec des rations contenant plus de 15% de PB. Au Luxembourg (LUX), cette valeur est de 96%, alors qu'en Lorraine (LOR) seulement 52% des exploitations nourrissent des rations avec plus de 15% PB. Une explication possible est la typologie différente entre les régions. En LOR, se retrouvent essentiellement des exploitations des type LP et LMSI, se caractérisant un part d'herbe plus faible dans la ration. En

outre, avec une teneur moyenne en PB de 15,1% dans la ration en LOR montre que moins de PB sont distribuées en LOR. Les exploitations luxembourgeoises distribuent les rations les plus riches en PB, 16,6% en moyenne. La Rhénanie-Palatinat et la Sarre (RPS), ainsi que la Wallonie (WAL) se retrouvent au milieu avec des teneurs en PB de 16,2% et 15,9% respectivement. Avec les rations ayant le plus grand surplus en PB, Les exploitations LUX et RPS présentent le plus grand potentiel de réduction des émissions de NH<sub>3</sub>, s'élevant à 29,5% et 27,9%, respectivement. A l'opposé, le potentiel de réduction des émissions de NH<sub>3</sub> en LOR par une optimisation de la teneur en PB des rations, n'atteint que 15,7%. Cette différence entre LOR et LUX/RPS est significative. La WAL, avec un potentiel de diminution de 21,9% se situe au centre, sans différences significatives par rapport aux autres régions du projet. En moyenne et sur l'ensemble des régions, 24,7% des émissions de NH<sub>3</sub> pourraient être diminuées grâce à une réduction de la teneur en PB des rations des vaches laitières à un niveau de 15%.

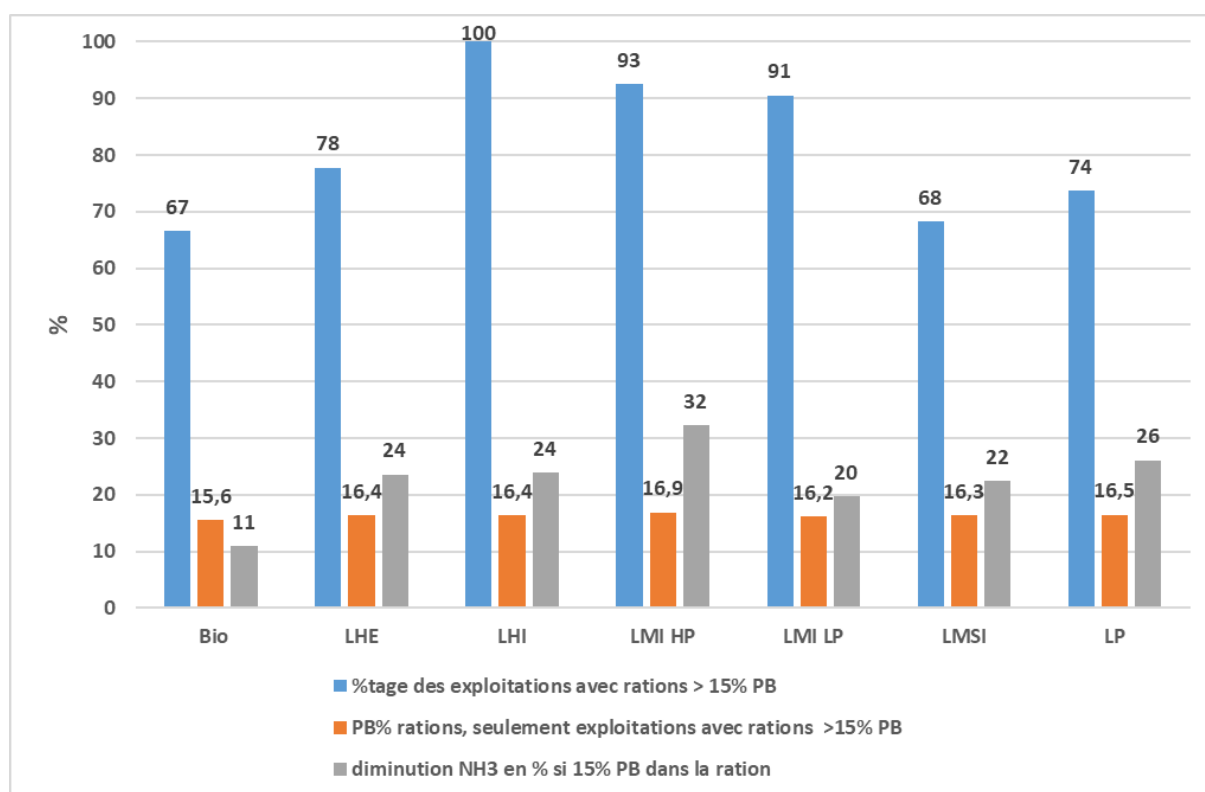


Figure 12: pourcentage des exploitations avec des rations >15% PB, teneur en PB des rations en % et potentiel de diminution des émissions de NH<sub>3</sub> par une réduction de la teneur en PB des rations à 15%, par type d'exploitation

La même évaluation par type d'exploitation est représentée dans la figure 12. Ici aussi, il est clair que la plus grande majorité des exploitations nourrissent leurs vaches laitières avec des rations contenant plus que 15% de PB, dont 100% des exploitations du type LHI. En deuxième et troisième place, se trouvent les exploitations de types LMI HP et LP avec 93% et 91% respectivement, montrant que les exploitations plus intensives, avec les productions laitières les plus importantes, distribuent essentiellement des rations contenant plus de 15% de PB. Les exploitations du type LP et LHE se retrouvent au milieu, alors que les exploitations BIO et LMSI distribuent moins fréquemment des rations contenant plus de 15% de PB.

Il apparaît intéressant que les exploitations du type LMI HP avec plus de 15% de PB dans la ration, nourrissent leurs vaches laitières avec des rations moyenne de 16,9% de PB. D'ailleurs les exploitations du type LMI HP se caractérisent par des parts importants de maïs dans les rations, de sorte des teneurs

plus faibles en PB étaient attendues. Pourtant, l'excédent le plus important en PB dans les rations et donc le potentiel de réduction des émissions de NH<sub>3</sub> le plus important, s'élève ici à 32%.

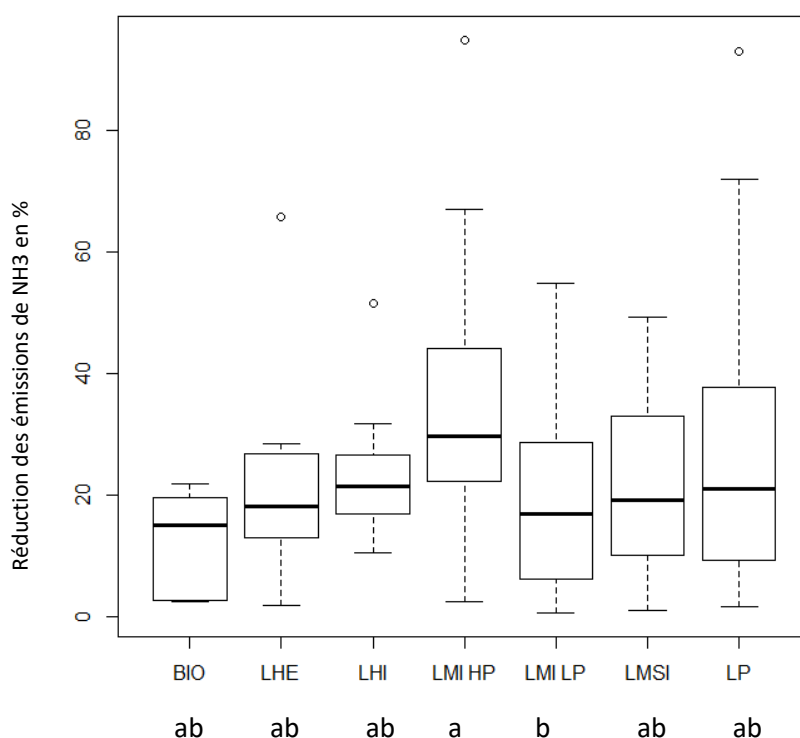


Figure 13: box-plot des valeurs de diminution potentielle des émissions de NH<sub>3</sub> selon le type d'exploitation et résultats du test de comparaison de moyenne, la même lettre signifie une différence non significative

D'un point de vue statistique, La diminution potentielle des émissions de NH<sub>3</sub> des d'exploitations du type BIO, LHE, LHI, LMSI et LP ne se distinguent significativement pas des autres types, bien que les exploitations LMI HP et LMI LP soient, quant à elles, significativement différents. Les exploitations BIO, avec 11%, présentent un potentiel de diminution de NH<sub>3</sub> nettement plus faible que les autres types, ayant des valeurs comprises entre 20 et 24%. Comme on peut le voir dans la figure 13, les valeurs du potentiel de diminution des émissions de NH<sub>3</sub> sont les moins dispersées pour les exploitations du type LHI et LHE. Une explication possible pourrait être les rations très herbagères de ces exploitations, dans lesquelles une part prépondérante du PB provient de l'herbe et où les rations en elles-mêmes sont probablement conçues de manière très similaire. En revanche, dans les exploitations où les rations sont plus riches en maïs, les rations varient davantage, ce qui peut conduire à des teneurs en PB très différentes, en particulier dans les exploitations LP.

#### 4.2. Coûts de la diminution des émissions de NH<sub>3</sub> en abaissant la teneur en PB de la ration des vaches laitières à 14%

Comme indiqué sous point 4.1.2, les émissions de NH<sub>3</sub> peuvent être réduites de 24,7% sans qu'il faille s'attendre à une baisse des rendements de lait. Il n'y a donc pas de perte de rentabilité à prévoir pour

cette diminution, bien au contraire, la réduction de la teneur en PB des rations permettrait même d'économiser du concentré protéique coûteux. Toutefois, si les émissions de NH3 devaient être réduites au-delà de ces 24,7%, la teneur en PB des rations devrait être abaissée sous les 15%, ce qui entraînerait une baisse des rendements laitiers. Le calcul des pertes qui en résulteraient est présenté ci-dessous.

#### 4.2.1. Méthodologie

Pour tous les calculs suivants, les exploitations qui distribuent des rations inférieures à 14% PB aux vaches laitières ont été exclues. La quantité de matière sèche ingérée par les vaches laitières dans les exploitations a d'abord été utilisée pour calculer la quantité de PB ingérée avec une ration optimisée de 15% de PB. Le même calcul a été effectué pour une ration de 14% de PB. La différence entre les deux valeurs de PB ingéré sert à calculer la perte du rendement laitier due à un manque de PB. Les recommandations d'alimentation du GfE (2001) indiquent que la formation de 1 kg de ECM (3,4% de protéines) nécessite 85 g de nXP. Il est important de noter que le nXP représente la protéine brute utilisable au niveau de l'intestin grêle, qui résulte de la teneur en PB d'un aliment, mais aussi de sa teneur en énergie et de la dégradabilité des protéines brutes dans le rumen. La teneur en PB et en nXP d'un aliment ne sont donc pas équivalentes. Cependant, lors de la collecte des données pour le projet, seules les teneurs en PB ont été enregistrées. Comme les rations des vaches laitières contiennent différents composants qui s'équilibrent mutuellement, les teneurs en PB et en nXP sont assez proches dans la ration alimentée, de sorte que pour la suite du calcul, on a supposé qu'il fallût 85 g de PB pour former 1 kg de ECM.

Ainsi, la perte de production laitière a été calculée comme suit :

$$petre\ ECM\ [kg] = \frac{(ingestion\ MS\ [g] * 15\ \% PB) - (ingestion\ MS\ [g] * 14\ \% PB)}{85[g]}$$

La perte de lait a ensuite été multipliée par le prix du lait de l'exploitation pour calculer le manque à gagner. Cependant, étant donné que la réduction de la teneur en PB de 14% dans la ration entraîne une diminution de la quantité de concentré protéique (CP) à distribuer, les coûts ainsi économisés ont également été calculés. L'hypothèse a été faite que les exploitations utilisent un concentré avec une teneur en PB de 40%. Le prix d'un tel concentré a été déterminé par région. Les coûts d'une réduction supplémentaire des émissions de NH3 ont donc été calculés comme suit :

$$CP\ épargné\ \left[\frac{kg}{an}\right] = \frac{(ingestion\ MS\ [g] * 15\ \% PB) - (ingestion\ MS\ [g] * 14\ \% PB)}{400\ [g/kg]}$$

coûts par % NH3 [eur] =

$$\frac{(perte\ ECM\ [kg] * prix\ du\ lait\ [eur/kg\ ECM]) - (CP\ épargné\ [kg] * prix\ CP\ \left[\frac{eur}{kg}\right])}{17}$$



coûts par vache par an [eur] =

$$\frac{(\text{perte ECM [kg]} * \text{prix du lait [eur/kg ECM]}) - (\text{CP épargné [kg]} * \text{prix CP} \left[ \frac{\text{eur}}{\text{kg}} \right])}{\text{nombre de vaches}}$$

Les coûts par % de NH3 ont été évalués statistiquement dans le programme R au moyen d'une analyse de variance (test ANOVA).

#### 4.2.2. Résultats et discussion

Tableau 6: réduction du rendement laitier en % lorsque la teneur en PB de la ration est réduite de 15% à 14%, coûts des émissions diminuées de NH3 en euros par vache et par an, coûts des émissions réduites de NH3 par % de NH3 et différences significatives des coûts par % de NH3, par région

Région	Réduction rendement laitier en % si 14% PB dans la ration	Perte par vache par an en EUR	Perte par % NH3 in EUR	Différences significatives par % NH3*
LUX	10,3	199	989	a
RPS	9,4	193	1328	b
LOR	10,8	198	842	a
WAL	10,3	181	982	a
<b>Moyenne</b>	<b>10,3</b>	<b>193</b>	<b>1005</b>	

\* même lettre pour différence non significative

Comme le montre le tableau 6, une réduction de la teneur en PB de la ration de 15% à 14% entraînerait une baisse des rendements laitiers de 10,3% en moyenne. Les pertes qui en résulteraient s'élèveraient en moyenne à 193 euros par vache et par an. Par rapport au % de réduction des émissions de NH3, la valeur obtenue est de 1005 euros. On constate que les exploitations RPS sont significativement plus élevées que toutes celles des autres régions, ce qui peut s'expliquer par le fait que les exploitations de cette région ont les plus grands troupeaux et donc les coûts les plus élevés par % de NH3. Comme le montre la figure 14, les valeurs individuelles varient assez peu d'une région à l'autre, la variance étant particulièrement faible pour LOR et WAL.

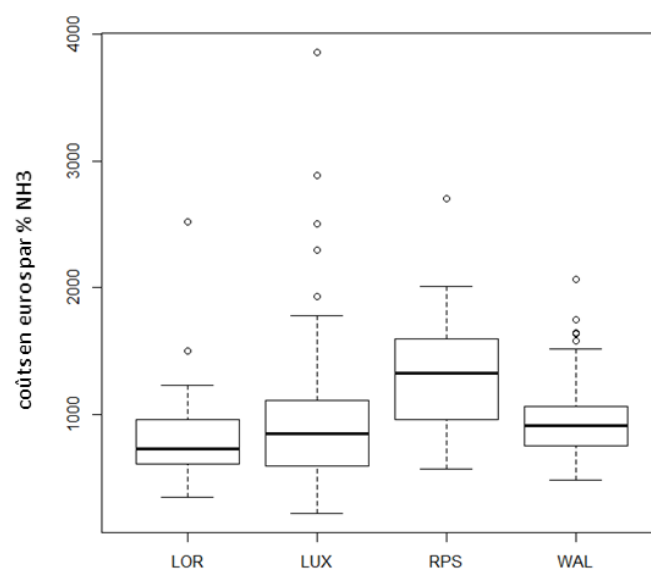


Figure 14: box-plot des pertes par % de NH3 réduit en euros par région

Tableau 7: pertes par % des émissions diminuées de NH3 en euros par vache et par an, pertes par % des émissions diminuées de NH3 par % de NH3 et différences significatives des coûts par % de NH3, par type d'exploitation

Typologie	Coûts par vache et par an en EUR	Coûts par % NH3 en EUR	Différences significatives des coûts par % NH3 *
BIO	252	1196	bc
LHE	180	675	ab
LHI	181	740	ac
LMI HP	193	1166	c
LMI LP	177	1043	bc
LMSI	187	599	a
LP	191	1147	bc

\* même lettre pour différence non significative

Le tableau 7 présente les pertes calculées par type d'exploitation. Exprimés par vache et par an, les élevages BIO sont les plus élevés avec 252 euros, ce qui s'explique par le prix du lait nettement plus élevé. Par rapport au % NH3, les exploitations des types LHE, LHI et LMSI ont les coûts les plus bas. Ces exploitations se caractérisent par de petits troupeaux, de 56 à 70 vaches. En revanche, les troupeaux des autres types d'exploitation sont beaucoup plus grands, avec 77 à 105 animaux, ce qui montre clairement, l'influence de la taille du troupeau sur les pertes par % NH3 d'après la présente méthodologie. Pour éviter cet effet, il faudrait indiquer les coûts par kg de NH3-N diminué par ha de surface fourragère.

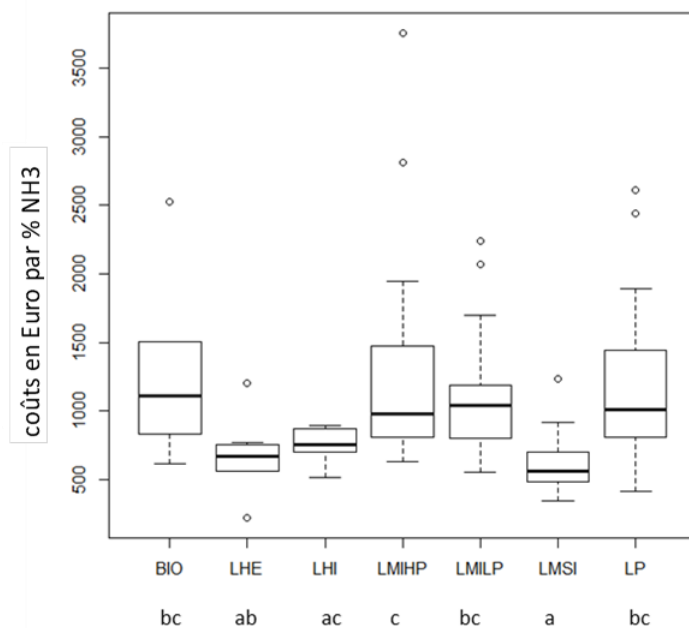


Figure 15: box-plot des pertes par % de NH3 diminué, en euros par type et différences significatives, la même lettre signifie une différence non significative

Comme le montre le box-plot de la figure 15, la dispersion des valeurs est très faible pour LHE, LHI et LMSI, alors que LMI HP, LP et BIO sont beaucoup plus dispersées. En termes de différences significatives, ce sont les exploitations LMSI qui se distinguent le plus des autres, avec les pertes les plus basses de 599 euros par % de NH3. Parmi les exploitations conventionnelles, les exploitations les plus intensives (LMI HP) se distinguent significativement des exploitations les plus extensives (LHE), le coût par % NH3 des exploitations LHE ne représentant que 58% du coût par % NH3 des exploitations LMI HP. Cependant, les exploitations biologiques ne se distinguent pas significativement de l'ensemble des exploitations conventionnelles.

## 5. Conclusions

Dans le cadre de l'action 8 "Ammoniac", une tentative a été faite pour éclairer le lien entre l'alimentation et les émissions de NH<sub>3</sub> du point de vue de l'autonomie en protéine. Dans les conditions du projet (années de transition de la réglementation des quotas laitiers à l'abolition complète des quotas) et last but not least en tenant compte des prix, notamment pour l'alimentation animale et le lait, les principaux résultats de cette étude peuvent être résumés comme suit :

- Aucun lien significatif entre la teneur en urée du lait et les paramètres d'autosuffisance protéique des fermes laitières n'a pu être déterminé. De même, aucun lien significatif entre la teneur en protéines brutes dans la ration des vaches laitières et la teneur en urée dans le tank à lait n'a pu être déterminé pour les exploitations où des données détaillées sur les rations étaient disponibles. Des données de ration plus précises (notamment en ce qui concerne la fréquence d'enregistrement des données) et les niveaux d'urée du contrôle laitier ont peut-être mieux adaptés pour déterminer le lien entre la teneur en protéines brutes ou l'autonomie en protéines et la teneur en urée.
- Il existe un lien statistiquement significatif entre le niveau des pertes de NH<sub>3</sub> et l'autosuffisance en protéines. Les corrélations avec les valeurs d'autosuffisance en % sont négatives et largement dépendantes de l'efficacité alimentaire, tandis que celles avec les valeurs d'autosuffisance en % sont positives et largement dépendantes du cheptel dans les exploitations. On peut en conclure qu'un pourcentage élevé d'autosuffisance en protéines a un effet positif sur la réduction des émissions de NH<sub>3</sub> dans les exploitations laitières.
- La protéine inutilisée est un indicateur de la perte d'ammoniac, car il existe un lien statistiquement significatif entre ces paramètres. La teneur en protéines brutes de la ration peut également être utilisée pour déterminer le taux de protéines non utilisées à la ferme, en acceptant une incertitude de 50 %. En revanche, il n'est pas possible de remonter directement de la teneur en XP dans la ration du troupeau laitier au niveau des pertes de NH<sub>3</sub>, car l'efficacité de l'utilisation des aliments varie fortement d'une exploitation à l'autre et doit donc être étudiée au cas par cas.
- L'évaluation du potentiel de diminution des émissions de NH<sub>3</sub> par une optimisation de la teneur en PB des rations à 15,0% a montré qu'il existe un potentiel de diminution des émissions de NH<sub>3</sub> de l'ordre de 25% dans les exploitations laitières dont la teneur en PB de la ration des vaches laitières est supérieure à 15,0%. Le potentiel est le plus élevé dans les exploitations du Luxembourg et de Rhénanie-Palatinat ou de Sarre, le plus faible dans les exploitations lorraines qui nourrissent des rations avec des teneurs en PB plutôt faibles. En ce qui concerne les types d'exploitations, les exploitations LMI\_HP (intensives en maïs avec une production laitière élevée) présentent le potentiel de diminution le plus élevé, suivies par les exploitations LP (exploitations de grandes cultures) et LHI ou LHE (exploitations herbagères intensives ou extensives).
- Par ailleurs, les pertes liées à une diminution des émissions de NH<sub>3</sub> au-delà de 25%, c'est-à-dire si la teneur en PB de la ration passait de 15% à 14%, ont été étudiées. En effet, en dessous de 15,0%, il faut s'attendre à des baisses des rendements laitiers assez importantes des vaches laitières. En tenant compte des coûts évités grâce au concentré protéique économisé, il a été possible de calculer les coûts supplémentaires de 193 € par vache, soit environ 1000 € par % de NH<sub>3</sub> diminué. En ce qui concerne les types d'exploitation, les exploitations BIO seraient les plus impactées, en raison du prix élevé du lait, suivies par les exploitations LMI\_HP et LP. Ces

déclarations ne sont valables que pour les conditions des années 2014-2015-2016 et devraient être adaptées aux conditions actuelles pour une déclaration actuelle.

## 6. Bibliografie

**AUTOPROT (2019):** Aktion2 – Konkretes Ergebnis 1: Gemeinsame Methoden und Rechenwerte zur Berechnung der Eiweißautarkie, [https://www.convis.lu/fileadmin/data/departments/Beratung-neu/AUTOPROT\\_AKTION2\\_KONKRETES\\_ERGEBNIS1\\_Technisches\\_Handbuch\\_Eiweissautarkie.pdf](https://www.convis.lu/fileadmin/data/departments/Beratung-neu/AUTOPROT_AKTION2_KONKRETES_ERGEBNIS1_Technisches_Handbuch_Eiweissautarkie.pdf)

**Bannink A, Hindle V.A. (2003):** Prediction of N intake and N-excretion by dairy cows from milk data (in dutch). Report 030008567, Animal Sciences Group Lelystad

**Bracher A. (2011):** Möglichkeiten zur Reduktion von Ammoniakemissionen durch Förderungsmaßnahmen beim Rindvieh (Milchkuh). SHL, Agroscope, [https://www.blw.admin.ch/dam/blw/fr/dokumente/Instrumente/Ressourcen-%20und%20Gewaesserschutzprogramm/Ressourcenprogramm/Studie%20der%20SHL%20und%20ALP%20zu%20Ammoniakemissionsreduktion%20bei%20Rindfiehfuetterung.pdf.download.pdf/K%C3%B Che\\_NH3-Schlussbericht\\_14+12+2011.pdf](https://www.blw.admin.ch/dam/blw/fr/dokumente/Instrumente/Ressourcen-%20und%20Gewaesserschutzprogramm/Ressourcenprogramm/Studie%20der%20SHL%20und%20ALP%20zu%20Ammoniakemissionsreduktion%20bei%20Rindfiehfuetterung.pdf.download.pdf/K%C3%B Che_NH3-Schlussbericht_14+12+2011.pdf)

**Broderick G.A. (2003):** Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. J Dairy Sci. 86: 1370-1381.

**Decker A., Zähler M., Dohme-Meier F., Böttger C., Münger A., Heimo D., Schrade S. (2021):** Milchwahnstoffgehalt: Was sagt er über die Stickstoffausscheidungen aus? Agrarforschung Schweiz 12: 137–145, 2021 [https://www.agrarforschungschweiz.ch/wp-content/uploads/2021/10/137-145\\_Artikel\\_Zaehner\\_Nutztiere\\_Milchwahnstoffgehalt.pdf](https://www.agrarforschungschweiz.ch/wp-content/uploads/2021/10/137-145_Artikel_Zaehner_Nutztiere_Milchwahnstoffgehalt.pdf)

**Döhler H., Eurich-Menden B., Dämmgen U., Osterburg B., Lüttich M., Bergschmidt A., Berg W, Brunsch R. (2002):** Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungszenarien bis zum Jahr 2010. Forschungsbericht 299 42 256/02. Texte 05/02. Umweltbundesamt, Berlin

**Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) (2001):** Empfehlungen zur Energie-und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtinder / Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, - Frankfurt am Main, DLG-Verlag\*

**GIEC (2006):** Greenhouse gas inventory. Reference manual, Volume 4. Agriculture, Forestry and other land use (AFOLU)

**Haenel H.D., Rösemann C., Dämmgen U., Döring U., Wulf S., Eurich-Menden B., Freibauer A., Döhler H., Schreiner C., Osterburg B. (VTI-Report 57, 2018):** Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2016. Report on methods and data (RMD), Submission 2018 [https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen\\_Report\\_57.pdf](https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen_Report_57.pdf)

**KTBL/UBA (2021):** Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft mindern – Gute fachliche Praxis [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/2021\\_fb\\_ammoniakemissionen\\_in\\_landwirtschaft\\_mindern\\_final\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/2021_fb_ammoniakemissionen_in_landwirtschaft_mindern_final_bf.pdf)

**NEC-Directive (2016):** [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2016.344.01.0001.01.ENG&toc=OJ:L:2016:344:TOC](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2016.344.01.0001.01.ENG&toc=OJ:L:2016:344:TOC)

**Sajeev, E.P.M, et al. (2018):** Evaluating the potential of dietary crude protein manipulation in reducing ammonia emissions from cattle and pig manure: A meta-analysis. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 110:161-175

**Spek J.W., Dijkstra J., van Duinkerken G., Hendriks W.H., Bannink A. (2013):** Prediction of urinary nitrogen and urinary urea nitrogen excretion by lactating dairy cattle in northwestern Europe and North America: A meta-analysis, J. Dairy Sci. 96:4310 – 4322, <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-6265>

**Statistique « R » (2022) :** <https://www.r-statistik.de/>

**Westreicher-Kristen, E., Kroon, L., Van Straalen, W. (2022):** Einfluss der Reduktion der ruminalen Proteinbilanz und der metabolisierbaren Aminosäuren auf Milchleistung und N-Effizienz bei Milchkühen, Tagungsunterlage Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung am 3. und 4. Mai 2022, DLG und Verband der Landwirt

**Zähner M., Keck M., Hilty R. (2005):** Ammoniak-Emissionen von Rindviehställen - Minderung beim Bau und Management. FAT-Berichte Nr. 641 2005, [https://www.strickhof.ch/custom/strickhof.ch/userfiles/files/Fachwissen/Duengung/RessourcenprojektAmmoniak/Merkblaetter/FAT\\_Bericht\\_641\\_Rindviehstaelle\\_Ammoniak\\_Emissionen.pdf](https://www.strickhof.ch/custom/strickhof.ch/userfiles/files/Fachwissen/Duengung/RessourcenprojektAmmoniak/Merkblaetter/FAT_Bericht_641_Rindviehstaelle_Ammoniak_Emissionen.pdf)

*\*le GfE est un groupe allemand de chercheurs dont le but est d'élaborer et actualiser les éléments de l'alimentation des animaux, l'évaluation de la valeur des aliments et des besoins nutritionnels des animaux, le pendant en France correspond à l'INRA*



**AutoProt est une coopération de 10 partenaires :**

CONVIS Société Coopérative, Luxembourg

Lycée Technique Agricole. Luxembourg

Institut de l'Elevage, France

Chambre d'Agriculture de la Moselle, France

Chambre d'Agriculture des Vosges, France

Centre Wallon de Recherches Agronomiques, Belgique

Association Wallonne de l'Élevage asbl (AWE asbl) Belgique

Centre de Gestion du SPIGVA ASBL, Belgique

Landwirtschaftskammer für das Saarland, Allemagne

Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz, Allemagne