Prédiction du pH ruminal et de l'acidose ruminale subclinique à l'aide de l'intelligence artificielle et de l'analyse du lait par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier sur les vaches individuelles

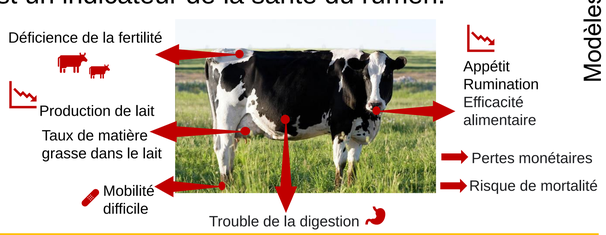
T. Touil[1], F. Huot[1], S. Claveau[2], A. Bunel[2], D. Warner[3], D.E. Santschi[3], R. Gervais[1], É. Paquet[1]

[1]Université Laval, Québec, Canada, [2]Agrinova, Alma, Canada, [3]Lactanet, Sainte-Anne-de-Bellevue, Canada

INTRODUCTION

- L'intelligence artificielle (IA) peut résoudre des problèmes complexes.
- L'IA peut bénéficier à la production laitière.
- Nous pouvons utiliser l'IA pour développer des modèles permettant de prédire plusieurs caractéristiques importantes de santé et de production de vaches individuelles à l'aide de la spectroscopie infrarouge.
- Le pH ruminal est un indicateur de la santé du rumen.

Acidose ruminale subclinique (SARA)



OBJECTIVES

- Prédire le pH ruminal et SARA à l'aide de l'IA appliquée à la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).
- Obtenir des indications sur la santé du rumen grâce aux valeurs du pH ruminal.
- Détecter les problèmes de santé des vaches comme SARA.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Caractéristiques des fermes

	Farm											
Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sampling period												
Starting date	01-2020	09-2019	12-2019	05-2018	04-2018	01-2018	01-2019	02-2018	08-2019	03-2018	11-2018	07-2018
Ending date	05-2020	02-2020	04-2020	04-2019	11-2018	05-2018	09-2019	07-2018	12-2019	09-2018	04-2019	12-2018
Samples, n	86	264	166	214	240	108	92	154	76	132	114	98
Experimental cows, n	9	19	9	10	10	7	9	8	5	7	8	6
Days in milk when installing the bolus, mean (range)	9 (-14-23)	5 (1-14)	8 (1-15)	12 (4-28)	7 (1-14)	16 (8-23)	9 (4-15)	13 (9-18)	15 (5-23)	12 (6-19)	10 (3-20)	5 (2-8)
Parity, mean (range)	2 (1-3)	2 (1-6)	3 (1-5)	3 (1-6)	2 (1-4)	3 (1-7)	2 (1-4)	3 (1-6)	2 (1-4)	3 (1-4)	4 (1-9)	3 (1-10)
Housing	Free-Stall	Free-Stall	Free-Stall	Free-Stall	Free-Stall	Tie-Stall	Tie-Stall	Tie-Stall	Free-Stall Milking Parlor	Tie-Stall	Tie-Stall	Tie-Stall
Milking system	AMS[1]	AMS	AMS	AMS	AMS	Pipeline	Pipeline	Pipeline	Pipeline	Pipeline	Pipeline	Pipeline
Automatic feed pusher	Yes	No	Yes	Yes	Yes	No	No	No	No	No	No	No
Daily feed distribution frequency	1	1	4	8	2	2	4	Variable[2]	2	Variable	3	Variable
Fat supplementation[3]	No	Yes	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	No	Yes	No
Feeding groups, n	1	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1
Corn silage in the diet[4]	Yes	Yes	Yes	No	No	No	No	No	Yes	No	No	No
am	43	132	83	107	120	54	46	77	38	66	57	49
pm	43	132	83	107	120	54	46	77	38	66	57	49
am/pm	43	134	82	107	123	53	45	75	37	68	56	49
Average pH ± SD	5.9±0.23	6.1±0.24	6.2±0.23	6.2±0.33	6.3±0.26	6.4±0.19	6.4±0.35	6.5±0.13	6.5±0.25	6.6±0.19	6.6±0.20	6.7±0.26
% Acidosis	90.70	56.82	33.73	45.33	20.42	4.63	6.52	0.00	7.89	0.00	1.75	0.00

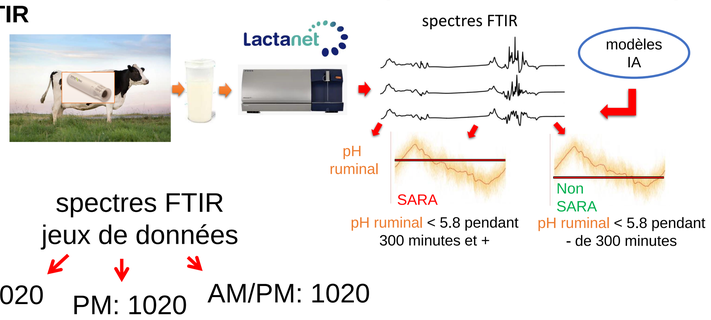
[1]AMS = Automatic milking system.

[2]Variable = It is feed distribution depending on cow's consumption.

[3]Fat supplementation = It is palmitic acid; a quantity was given to cows varied from 0.15 to 0.56 kg/d.

[4]Corn silage in the diet = The presence of corn silage in the diet is considered when cows got more than 10 kg/d, a quantity was given to cows varied from 11.8 to 32.4 kg/d.

Bolus sans fil SmaXtec et détection du pH ruminal et du SARA à partir du FTIR



spectres FTIR jeux de données

AM: 1020 PM: 1020 AM/PM: 1020

Trois different Validations croisées

Validation croisée classique	Leave One Farm Out (LOFO)	Leave Cows Out (LCO)
K = 15-fold	12 fermes K = 12-fold	107 vaches uniques K = 11-fold

Prétraitement des spectres FTIR

- **Ref** : Référence : sans appliquer aucune méthode de pré-traitement.
- **FD** : Dérivée première.
- **F15** : application du Filtration 2015 de Grelet et al.
- **FD-F15** : Première dérivée avec Filtration 2015.
- **F16** : application du Filtration 2016 de Grelet et al.
- **FD-F16** : Première dérivée avec filtration 2016.

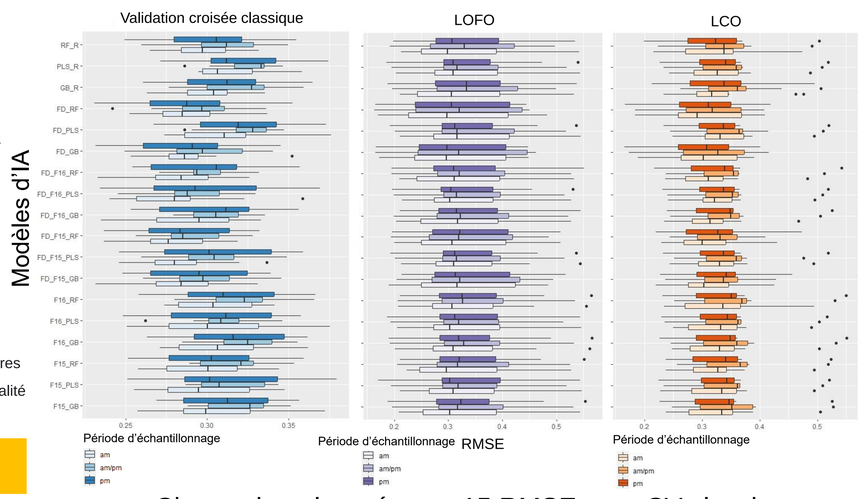
Algorithmes d'IA

- Les moindres carrés partiels (PLS).
- Forêts aléatoires (RF).
- Gradient Boosting (GB).

4.2.2

RÉSULTATS

Boxplots de RMSE pour la prédiction du pH ruminal



- Chaque boxplot présente 15 RMSE pour CV classique, 12 pour LOFO et 11 pour LCO.
- La RMSE est 0.28 pour CV classique (FD_F15_RF), 0.30 pour LOFO (FD_F16_PLS), et 0.29 pour LCO (FD_RF).

Modèles mixtes linéaires de performances de RMSE pour la prédiction du pH ruminal

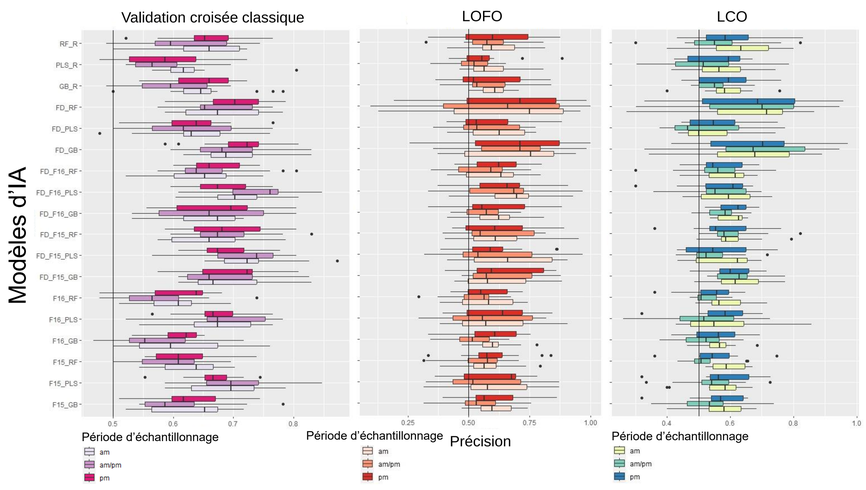
	Classic Cross-Validation			LOFO			LCO		
Predictor	Estimate	SE	*P*	Estimate	SE	*P*	Estimate	SE	*P*
Intercept	0.295	0.004	<0.001	0.328	0.026	<0.001	0.326	0.020	<0.001
Derivative			<0.001			<0.001			<0.001
No	Referent			Referent			Referent		
Yes	-0.012	0.002	<0.001	-0.012	0.003	<0.001	-0.021	0.003	<0.001
Filtering			<0.001			0.005			<0.001
No	Referent			Referent			Referent		
F15	0.009	0.003	0.008	0.007	0.004	0.064	0.009	0.004	0.030
F16	0.014	0.003	<0.001	0.013	0.004	0.001	0.015	0.004	<0.001
Algorithm			<0.001			0.127			<0.001
GB	Referent			Referent			Referent		
PLS	0.022	0.003	<0.001	0.007	0.005	0.139	0.008	0.005	0.074
RF	-0.002	0.003	0.384	-0.003	0.005	0.507	-0.006	0.005	0.198
Period			<0.001			<0.001			<0.001
am	Referent			Referent			Referent		
am/pm	0.011	0.002	<0.001	0.009	0.002	<0.001	0.009	0.002	<0.001
pm	0.007	0.002	<0.001	0.002	0.002	0.275	0.003	0.002	0.170

Modèles mixtes linéaires de performances de la précision pour la prédiction de SARA

	Classic Cross-Validation			LOFO			LCO		
Predictor	Estimate	SE	*P*	Estimate	SE	*P*	Estimate	SE	*P*
Intercept	0.653	0.011	<0.001	0.621	0.032	<0.001	0.608	0.020	<0.001
Derivative			<0.001			<0.001			<0.001
No	Referent			Referent			Referent		
Yes	0.059	0.008	<0.001	0.053	0.009	<0.001	0.056	0.015	<0.001
Filtering			0.008			0.005			0.050
No	Referent			Referent			Referent		
F15	-0.018	0.009	0.063	-0.034	0.019	0.072	-0.039	0.018	0.035
F16	-0.042	0.009	<0.001	-0.058	0.019	0.002	-0.056	0.018	0.002
Algorithm			0.097			0.731			<0.001
GB	Referent			Referent			Referent		
PLS	-0.049	0.011	<0.001	-0.049	0.019	0.010	-0.066	0.021	0.002
RF	0.004	0.011	0.728	0.003	0.019	0.880	0.010	0.021	0.652
Period			0.016			<0.001			0.001
am	Referent			Referent			Referent		
am/pm	-0.009	0.005	0.107	-0.036	0.011	0.001	-0.027	0.011	0.011
pm	0.007	0.005	0.203	0.011	0.011	0.310	0.010	0.011	0.326

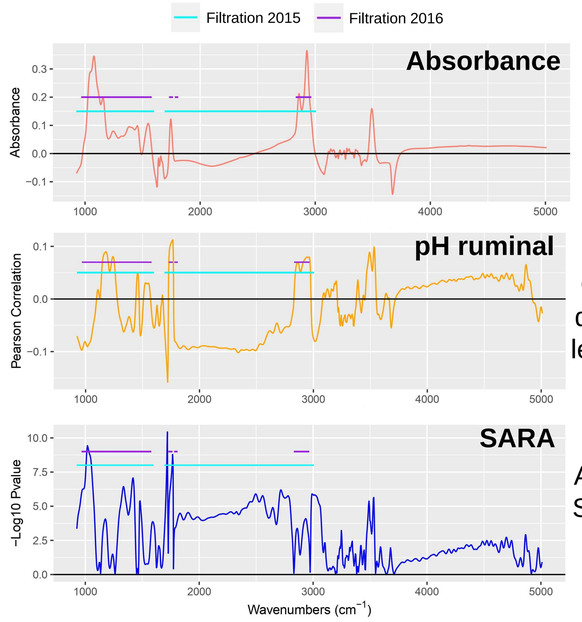
- Ces tableaux montrent l'effet des méthodes de prétraitement, des algorithmes d'IA et des périodes sur les résultats de prédiction.
- Modèle mixte à effets fixes : dérivée, filtration, algorithme et période. Effet aléatoire : le CV fold.

Boxplots de la précision de la prédiction de SARA



- Chaque boxplot présente 15 précisions pour CV classique, 12 pour LOFO et 11 pour LCO.
- La meilleure précision est 76% pour CV classique (FD_F16_PLS), 75% pour LOFO (FD_GB), et 71% pour LCO (FD_RF).

Spectre moyen et association des spectres avec le pH ruminal et SARA



RÉSUMÉ

- Nous avons utilisé le bolus sans fil SmaXtec pour surveiller en continu pendant 90 jours le pH ruminal.
- Nous avons appliqué l'IA au FTIR pour prédire le pH ruminal et le SARA.
- Nous avons utilisé 3 jeux de données différents (AM, PM et AM/PM) et 3 méthodes CV différentes (classique 15-fold, LOFO et LCO).
- Nous avons prétraité les spectres et appliqué 3 algorithmes d'IA avec 6 modèles chacun.
- Nous prédisons le pH ruminal avec un RMSE d'environ 0,29.
- Nous prédisons SARA avec une précision d'environ 70 %.

CONCLUSIONS

- Le pH ruminal est peu corrélé aux longueurs d'ondes (|Corrélation de Pearson| < 0.2).
- Les longueurs d'ondes avec $-log_{10} p - value \geq 1.30$ ($p - value \leq 0.05$) sont associées individuellement à SARA.
- Pour la prédiction du pH ruminal, nous observons que la dérivée, la filtration, l'algorithme d'IA et la période ont tous un impact significatif sur les performances (P ≤ 0.05).
- La meilleure combinaison pour le pH ruminal est : dérivée première, sans filtration, utilisant le gradient boosting et un échantillon de lait du matin.
- Pour la prédiction de SARA, nous concluons que la dérivée, la filtration, l'algorithme d'IA (LCO) et la période ont un impact significatif sur les performances (P ≤ 0.05).
- La meilleure combinaison pour SARA est : dérivée première, sans filtration, utilisant les forêts aléatoires et un échantillon de lait d'après-midi.