Mise au point d'équations basées sur le Moyen Infra Rouge pour estimer la fromageabilité des laits de vache en France

Cécile Laithier, Mohammed El Jabri, V. Wolf, Y. Gaüzere, I. Cuvillier, F. Buchin, Odile Rolet-Répécaud, Eric Beuvier, P. Trossat, Eric Notz, et al.

▶ **To cite this version:**

Cécile Laithier, Mohammed El Jabri, V. Wolf, Y. Gaüzere, I. Cuvillier, et al.. Mise au point d'équations basées sur le Moyen Infra Rouge pour estimer la fromageabilité des laits de vache en France. 26. Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants (3R 2022), Institut de l'Elevage; INRAE, Dec 2022, Paris, France. pp.449-453. hal-03959897

HAL Id: hal-03959897
https://hal.inrae.fr/hal-03959897

Submitted on 27 Jan 2023

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.

Mise au point d'équations basées sur le Moyen Infra Rouge pour estimer la fromageabilité des laits de vache en France

LAITHIER C. (1), EL JABRI M. (1), WOLF V. (2), GAÜZERE Y. (3), CUVILLIER I. (3), BUCHIN F. (3), ROLET-PECAUD O. (4), BEUVIER E. (4), TROSSAT P. (5), NOTZ E. (6), LECOMTE C. (7), LAURENT C. (8), GELE M. (1), REY-CADILHAC L. (8), GAUDILLIERE N. (2), GROSPERRIN P. (2)

(1) IDELE, 75012 Paris, France
(2) Conseil Elevage 25-90, 25640 Roulans, France
(3) ENILBIO, 39800 Poligny, France
(4) INRAE, URTAL, F-39800 Poligny, France
(5) ACTALIA, 39800 Poligny, France
(6) CTFC, 39800 Poligny, France
(7) Eliance, 75012 Paris, France
(8) Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France

RESUME

La « fromageabilité » des laits destinés à la transformation fromagère, définie comme l'aptitude du lait à se transformer en fromage est un des critères de réussite des procédés de fabrication. Celle-ci est en lien direct avec la qualité des produits et son importance économique est majeure. Grâce à un premier projet FROM'MIR (2015-2018), des équations MIR (spectrométrie moyen infrarouge) d'estimation de la fromageabilité des laits, établies en contexte IGP/AOP franc-comtois, ont été mises au point pour la première fois en France sur la base de 420 laits issus d'élevages de vaches en race Montbéliarde des 3 échelles : laits individuels (250), laits de troupeaux (100), laits de cuve de fromagerie (70). Afin de consolider, voire d'améliorer les équations mises au point, d'autres données ont été acquises en France au travers de collaborations avec le consortium FROM'MIR. Les équations portant sur le critère de rendement fromager et sur l'aptitude à la coagulation enzymatique ont pu être développées sur l'ensemble des données (n=1332). Les équations FROM'MIR ont été consolidées avec l'apport de ces nouvelles données. Les nouvelles équations mises au point en élargissant le jeu de données sont ainsi valables quel que soit le contexte, IGP/AOP Franche Comté ou en dehors. Par ailleurs, les équations restent performantes quelle que soit la race, excepté pour la Jersiaise, Abondance et Tarentaise, en raison de faibles effectifs et/ou de laits à caractéristiques extrêmes. Pour ces 3 dernières races, les résultats méritent d'être approfondis en envisageant d'analyser d'autres laits. Les résultats obtenus laissent présager l'utilisation de ces équations pour d'autres races que la Montbéliarde à des fins d'évaluation génétique. La valorisation opérationnelle de ces nouveaux phénotypes issus du contrôle de performances est actuellement en discussion. Les éleveurs de race Montbéliarde bénéficient déjà d'outils pour la sélection génétique grâce à la mise en place d'une chaine d'évaluation génétique privative développée par le consortium FROM'MIR.

Mise au point d'équations basées sur le Moyen Infra Rouge pour estimer la fromageabilité des laits de vache en France

LAITHIER C. (1), EL JABRI M. (1), WOLF V. (2), GAÜZERE Y. (3), CUVILLIER I. (3), BUCHIN F. (3), ROLET-PECAUD O. (4), BEUVIER E. (4), TROSSAT P. (5), NOTZ E. (6), LECOMTE C. (7), LAURENT C. (8), GELE M. (1), REY-CADILHAC L. (8), GAUDILLIERE N. (2), GROSPERRIN P. (2)

SUMMARY

The cheese-making ability, defined as the ability of milk to be transformed into cheese, is one of the criteria for the success of the manufacturing process. It is directly linked to the quality of the products and its economic importance is major. Thanks to a first FROM'MIR project (2015-2018), MIR (medium infrared spectrometry) equations for estimating the cheese-making ability of milk, established in the context of the Franche-Comté IGP/PDO, were developed for the first time in France on the basis of 420 milk from Montbéliarde breed cows on 3 scales: individual milk (250), herd milk (100), and cheese factory tank milk (70). In order to consolidate and even improve the equations developed, other data were obtained in France through collaboration with the FROM'MIR consortium. The equations concerning the cheese yield criterion and the aptitude for enzymatic coagulation were developed on all the data (n=1332). The FROM'MIR equations were consolidated with the addition of these new data. The new equations developed by expanding the data set are thus valid regardless of the context, Franche Comté PDO/IGP or not. Moreover, the equations remain efficient whatever the breed, except for Jersiaise, Abondance and Tarentaise, because of low numbers and/or extreme milk characteristics. For these last 3 breeds, the results have to be deepened by considering to analyze other milks. These results suggest that the equations can be used for other breeds than Montbéliarde for genetic evaluation purposes. The operational valorisation of these new phenotypes resulting from performance control is currently under discussion. Montbéliarde breeders already benefit from genetic selection tools thanks to the implementation of a private genetic evaluation chain developed by the FROM'MIR consortium.

INTRODUCTION

La « fromageabilité » des laits destinés à la transformation fromagère, définie comme l'aptitude du lait à se transformer en fromage, est un des critères de réussite des procédés de fabrication. Celle-ci est en lien direct avec la qualité des produits et son importance économique est majeure. Actuellement, en France, cette fromageabilité est évaluée en routine de manière indirecte via la composition du lait (TP, TB) pour les laits individuels à partir des données du contrôle de performances et pour les laits de troupeaux dans le cadre du paiement du lait à la qualité. Grâce à un premier projet FROM'MIR (2015-2018), des équations MIR (spectrométrie moyen infrarouge) d'estimation de la fromageabilité des laits, établies en contexte IGP/AOP franc-comtois, ont été mises au point pour la première fois en France sur la base de 420 laits issus d'élevages de vaches en race Montbéliarde des 3 échelles : laits individuels (250), laits de troupeaux (100), laits de cuve de fromagerie (70) prélevés sur une année sur au moins deux périodes hivernales et estivales. Ainsi, les paramètres liés au rendement fromager évalué au laboratoire ainsi que certains liés à l'aptitude à la coagulation enzymatique (modèles pâtes molles et pâtes pressées cuites) ont pu faire l'objet d'équations MIR, les meilleures performances ayant été obtenues sur les laits individuels (Laithier *et al.,* 2020). Afin de consolider, voire d'améliorer les équations mises au point, d'autres données ont été acquises au travers de collaborations avec le consortium FROM'MIR. Les performances des équations obtenues seront présentées ici, tout en étant comparées à celles initialement obtenues dans le cadre du projet FROM'MIR puis évaluées selon le contexte (IGP/AOP Franche Comté ou hors IGP/AOP Franche Comté) et selon la race.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. LAITS ANALYSES

Les données utilisées ont été acquises au travers du projet FROM'MIR (détails en introduction) puis grâce à des collaborations avec le consortium FROM'MIR (tableau 1). Cinq cent huit laits sont issus de la zone AOP de Franche Comté, prélevés à la fin du programme FROM'MIR (2017-2018) et dans le cadre de projets ultérieurs : PEI Emergence (2018) et Observalait (2019-2021). Quatre-vingt-douze laits de troupeaux, de race Prim'Holstein ou Montbéliarde, ont été collectés en 2020 sur 3 périodes de mi-juin à mi- novembre dans le cadre du projet Overallmilkqual au niveau de 3 grandes régions (Grand Ouest ; Massif Central ; Est avec bassin lyonnais et zone AOP Franche Comté). Enfin, 312 laits individuels de vache ont été prélevés sur 2020-2021 en collaboration avec le consortium OptiMIR dans 22 départements français. Ils proviennent de 10 races de vaches laitières différentes : Montbéliarde, Normande, Brune, Simmental, Vosgienne, Rouge Flamande, Prim'holstein, Jersiaise, Abondance et Tarentaise.
Le second jeu d'équations a ainsi été construit à partir de l'analyse de 1332 laits des 3 échelles : laits individuels, laits de troupeaux et laits de cuve (tableau 1).

Origine des données	Laits individuels	Laits de troupeaux	Laits de cuve
FROM'MIR-(2015-18)	250	100	70
Fin FROM'MIR, PEI Emergence et Observalait	162	231	115
Collaboration OptiMIR	312	-	-
Overallmilkqual	-	92	-
Total	724	423	185

Tableau 1 Nombre de laits utilisés selon le type et l'origine des données
OptiMIR : Composé d'Eliance et de 34 entreprises de son réseau en charge notamment de la collecte de données pour le contrôle de performance officiel

1.2. MODALITES DE PRELEVEMENT ET D'ANALYSES

Tous les échantillons de lait frais, cru et entier, ont été collectés en conditions strictes d'hygiène, immédiatement refroidis à 4°C. Les laits collectés dans la zone franc-comtoise (FROM'MIR, PEI Emergence, Observalait) ont été analysés dans les 24 heures. Les autres prélèvements de lait, analysés dans les 48 heures, ont fait l'objet d'ajout de bronopol, ce conservateur n'ayant pas montré d'effet sur les résultats matière grasse et protéines en analyses de référence et en MIR (Leray et al., 1994 ; Baptiste et Trossat, 2000). De plus, une maturation chaude de 60 minutes au lieu de 30 minutes a été appliquée avant emprésurage pour compenser le plus long report au froid, en rétablissant les équilibres minéraux.
Tous ces échantillons de lait ont été analysés par spectrométrie MIR. Les spectres ont été standardisés selon la méthode développée par le CRAW et utilisée par le consortium OptiMIR (Grelet *et al.,* 2015). Le rendement fromager de laboratoire a été apprécié en mesurant le rendement théorique par centrifugation selon la méthode de Hurtaud *et al.* (1995). Les deux modes d'expression retenus sont les rendements de laboratoire frais et en extrait sec (ES = Extrait Sec de caillé rapporté à l'Extrait Sec du lait mis en œuvre en %).
L'aptitude à la coagulation enzymatique a été évaluée à l'aide de l'instrument Formoptic, Formagraph (Foss) modifié par l'ENILBIO et la société Chr Hansen pour automatiser l'enregistrement des paramètres d'aptitude à la coagulation enzymatique. Ces paramètres ont été mesurés selon deux modalités d'emprésurage simulant les deux modèles fromagers étudiés (pâtes molles (PM) et pâtes pressées cuites (PPC)), excepté pour les données Overallmilkqual où l'aptitude à la coagulation n'a été mesurée que selon le modèle PPC.
Différents paramètres peuvent être extraits de la cinétique de coagulation (Figure 1) : aR - la fermeté du gel à une fois le temps de prise, exprimée en indice de fermeté (IF = voltx10) ; a2R - la fermeté à deux fois le temps de prise ; Tg10 - la tangente à 10 IF ou vitesse d'organisation du gel ; K10 – le temps nécessaire pour obtenir une fermeté de 10 IF à partir du temps de prise en minutes ; R – le temps de prise en minutes.

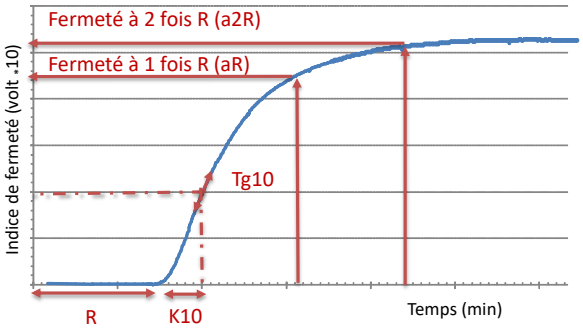

Figure 1 : Définition des paramètres d'aptitude à la coagulation enzymatique mesurés avec le Formoptic

1.3. TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNEES

Les équations portant sur le critère de rendement fromager et sur l'aptitude à la coagulation enzymatique ont été développées sur l'ensemble des données disponibles. Ces équations, prenant en compte l'ensemble des laits, quelle que soit l'échelle, ont été établies par analyse de régression PLS « Partial Least Square » avec un jeu de calibration (2/3 des données) et un jeu de validation externe (1/3 des données). La présence d'éventuelles valeurs aberrantes dans les données a été vérifiée. Elles ont été éliminées des données de référence en utilisant le test de Grubbs (Grubbs, 1969). La distance de Mahalanobis standardisée a été également calculée afin d'écarter les spectres aberrants. Sur l'ensemble des données, une non- linéarité a été observée en mettant en relation les données de référence d'aptitude à la

coagulation enzymatique et les données estimées par les équations. Une transformation racine carrée a été réalisée sur ces données d'aptitude à la coagulation enzymatique, ce qui n'avait pas été effectué sur le jeu de données initial FROM'MIR.

Données	N	Moy	ET	Biais	Sy,x	R^2	RPD	RMSEP
Rendement laboratoire frais (%)								
FROM'MIR (2015-2018)	122	36,12	7,22	0,19	2,74	0,85	2,60	2,96
Toutes	351	38,11	8,21	0,07	3,46	0,82	2,37	3,46
Rendement laboratoire ES (%)								
FROM'MIR	123	65,73	5,10	0,08	1,67	0,89	3,05	1,67
Toutes	353	67,14	5,49	0,03	1,90	0,88	2,88	1,91
R (temps de prise) – modèle PPC (min)								
FROM'MIR	123	31,42	6,29	0,32	5,53	0,23	1,14	5,53
Toutes sans transformation	369	33,10	6,77	0,33	5,72	0,29	1,18	5,75
Toutes avec transformation	366	33,90	7,91	-0,15	6,30	0,37	1,25	6,30
K10/R (inverse vitesse d'organisation du gel) – modèle PPC								
FROM'MIR	118	0,373	0,099	0,01	0,06	0,62	1,62	0,06
Toutes sans transformation	366	0,368	0,110	-0,00	0,08	0,46	1,36	0,08
Toutes avec transformation	363	0,373	0,118	-0,00	0,07	0,63	1,63	0,07
aR (fermeté du gel au temps de prise) – modèle PPC (IF)								
FROM'MIR	121	18,67	2,65	-0,27	1,41	0,72	1,88	1,44
Toutes sans transformation	375	18,95	3,01	0,08	1,75	0,67	1,73	1,76
Toutes avec transformation	366	19,01	2,98	0,08	1,67	0,69	1,79	1,68
Tg10 (vitesse d'organisation du gel) – modèle PPC (IF/min)								
FROM'MIR	122	7,16	2,26	-0,18	1,87	0,32	1,21	2,01
Toutes sans transformation	373	7,38	2,62	-0,02	1,99	0,43	1,32	1,99
Toutes avec transformation	370	7,46	3,11	-0,11	2,14	0,53	1,45	2,16
R (temps de prise) – modèle PM (min)								
FROM'MIR	120	17,14	2,74	-0,07	2,43	0,22	1,13	2,47
Toutes sans transformation	311	17,63	3,41	-0,05	2,80	0,33	1,22	2,80
Toutes avec transformation	314	17,82	3,59	-0,01	2,69	0,44	1,33	2,69
K10/R (inverse vitesse d'organisation du gel) – modèle PM (IF)								
FROM'MIR	115	0,368	0,113	0,01	0,07	0,62	1,61	0,07
Toutes sans transformation	305	0,367	0,111	-0,01	0,08	0,54	1,47	0,08
Toutes avec transformation	313	0,371	0,117	0,00	0,07	0,65	1,68	0,07
aR (fermeté du gel au temps de prise) – modèle PM (IF)								
FROM'MIR	120	19,06	2,88	-0,29	1,50	0,73	1,92	1,52
Toutes sans transformation	315	19,21	3,06	0,10	1,71	0,69	1,79	1,72
Toutes avec transformation	311	19,37	2,93	-0,06	1,57	0,71	1,86	1,61
a2R (fermeté du gel au temps de prise) – modèle PM (IF)								
FROM'MIR	119	23,06	2,24	-0,30	1,34	0,64	1,67	1,38
Toutes sans transformation	315	23,31	2,68	0,087	1,56	0,66	1,71	1,58
Toutes avec transformation	308	23,38	2,46	-0,03	1,38	0,68	1,78	1,41
Tg10 (vitesse d'organisation du gel) – modèle PM (IF/min)								
FROM'MIR	120	13,99	4,23	-0,31	3,19	0,44	1,33	3,22
Toutes sans transformation	318	14,38	5,10	-0,02	3,47	0,54	1,47	3,48
Toutes avec transformation	309	14,51	5,27	-0,37	3,12	0,65	1,69	3,15

Tableau 2 Performances des équations en validation externe sur toutes les données (avec ou sans transformation pour les données Formoptic) comparées à celles de FROM'MIR (sans transformation pour les données Formoptic)
Sigles : se référer au paragraphe 1.3
R^2 (Coppa et al., 2010) : Excellent : > 0,91 ; Bon : entre 0,82 et 0,90 ; Moyen : entre 0,66 et 0,81 ; Mauvais : < 0,66
RPD (Viscarra Rossel et al., 2006) : Excellent : > 2,5 ; Très bon : entre 2 et 2,5 ; Bon : entre 1,8 et 2 ; Moyen : entre 1,4 et 1,8 ; Mauvais : entre 1 et 1,4

La performance des équations a été appréciée au travers de différents critères. Le biais moyen, moyenne de la différence entre les prédictions et les données de référence doit tendre vers zéro et l'écart type résiduel (Sy,x), dispersion observée de la différence entre les valeurs estimées par l'équation et les données de référence, doit être le plus faible possible. Le R^2 correspond au pourcentage de variabilité expliqué par l'équation et le RPD (Ratio of Performance to Deviation), critère de précision, au rapport entre la dispersion des données de référence et l'erreur de prédiction. Les performances sont classées selon Coppa *et al.* (2010) pour le R^2 et Viscarra Rossel *et al.* (2006) pour le RPD. Le RMSEP (Racine carrée de l'erreur quadratique moyenne entre les données de référence et les données prédites) a également été calculé.
Ces performances ont été comparées à celles des équations établies initialement dans FROM'MIR selon la même méthodologie (El Jabri *et al.,* 2019). Elles ont aussi été évaluées selon le contexte (IGP/AOP Franche Comté ou hors IGP/AOP Franche Comté) et selon la race.

2. RESULTATS

2.1. PERFORMANCES DES EQUATIONS COMPAREES A CELLES MISES AU POINT DANS FROM'MIR

Le critère le mieux prédit (tableau 2) est le rendement laboratoire que ce soit en frais ou en extrait sec (bonnes performances pour R^2 et excellentes (ES) ou très bonnes (frais) pour le RPD). Pour l'aptitude à la coagulation enzymatique, après transformation des données, le paramètre le mieux prédit est la fermeté du gel à une fois le temps de prise, quel que soit le modèle, avec de bonnes performances (PPC) ou moyennes (PM) pour le RPD et

moyennes pour le R^2. Les performances sont moindres pour la fermeté à deux fois le temps de prise (PM) et deviennent mauvaises concernant le R^2, moyennes pour le RPD pour les vitesses d'organisation des gels. Les performances sont mauvaises pour le temps de prise, quel que soit le modèle. Pour la plupart des paramètres, la performance des équations sur l'ensemble des données n'est que très légèrement différente de celle des équations FROM'MIR (tableau 2). Les différences notables, dans le sens d'une amélioration, concernent R, Tg10 quel que soit le modèle mais les performances sur le R^2 restent mauvaises et mauvaises à moyennes sur le RPD selon le paramètre. Comme le montrent les résultats avant et après transformation des données, cette amélioration est due en partie à la prise en compte de la non-linéarité en appliquant la transformation racine carrée aux données brutes de référence. Cette dernière permet de maintenir les performances des équations pour les autres paramètres d'aptitude à la coagulation.

2.2. PERFORMANCES DES EQUATIONS EN FONCTION DU CONTEXTE

La re-prédiction des paramètres à l'aide des équations sur les jeux partiels de données : contexte IGP/AOP Franche Comté ou hors IGP/AOP Franche Comté a été effectuée, le tableau 3 illustrant les résultats pour le rendement et l'aptitude à la coagulation enzymatique en modèle PPC. La comparaison des performances des équations ne montre pas de différences importantes selon le contexte quel que soit le paramètre étudié. Les nouvelles équations mises au point en élargissant le jeu de données sont ainsi valables quel que soit le contexte, IGP/AOP Franche Comté ou en dehors. L'analyse des résultats (non présentés ici) montrent que les équations restent performantes quelle que soit la race, excepté pour la Jersiaise, Abondance et Tarentaise, en raison de faibles effectifs et/ou de laits à caractéristiques extrêmes. Pour ces 3 dernières races, les résultats méritent d'être approfondis en envisageant d'analyser d'autres laits.

Données	N	Moy	ET	Biais	Sy,x	R^2	RPD	RMSEP
Rendement laboratoire frais (%)								
Contexte IGP/AOP Franche Comté	895	37,05	6,33	0,02	2,51	0,84	2,52	2,51
Hors contexte IGP/AOP Franche Comté	247	39,73	10,04	0,08	2,66	0,93	3,78	2,65
Rendement laboratoire ES (%)								
Contexte IGP/AOP Franche Comté	902	66,57	4,40	-0,04	1,44	0,89	3,05	1,45
Hors contexte IGP/AOP Franche Comté	251	67,76	6,93	0,16	1,48	0,96	4,69	1,50
K10/R (inverse vitesse d'organisation du gel) – modèle PPC								
Contexte IGP/AOP Franche Comté	904	0,349	0,080	0,00	0,04	0,75	1,99	0,04
Hors contexte IGP/AOP Franche Comté	299	0,380	0,106	-0,01	0,06	0,72	1,90	0,06
aR (fermeté du gel au temps de prise) – modèle PPC (IF)								
Contexte IGP/AOP Franche Comté	899	19,58	2,23	-0,12	1,06	0,78	2,11	1,07
Hors contexte IGP/AOP Franche Comté	303	18,66	3,15	0,29	1,40	0,80	2,25	1,43
Tg10 (vitesse d'organisation du gel) – modèle PPC (IF)								
Contexte IGP/AOP Franche Comté	896	7,81	2,18	-0,13	1,37	0,61	1,60	1,38
Hors contexte IGP/AOP Franche Comté	309	6,72	3,22	0,09	1,65	0,74	1,95	1,66

Tableau 3 Performances des équations rendement et aptitude à la coagulation enzymatique -PPC en fonction du contexte (IGP/AOP Franche Comté ou hors IGP/AOP Franche Comté)

3. DISCUSSION

Depuis une dizaine d'années, des travaux se penchent sur la recherche de méthodes prédictives rapides, à grande échelle et peu coûteuses par l'intermédiaire du MIR dans le but de déterminer la composition fine des laits et leur fromageabilité. Les études portent majoritairement sur les laits individuels avec parfois des laits de troupeaux. Il n'existe pas à notre connaissance de références sur les laits de cuves. Les travaux ont notamment démontré la faisabilité d'estimer le rendement fromager, l'aptitude à la coagulation enzymatique à partir du spectre MIR (DeMarchi *et al*., 2014).

Les critères de rendement au laboratoire ou par mini-fabrications sont bien prédits par le MIR (Colinet *et al.,* 2013 ; Ferragina *et al.,* 2013).

Les performances des équations sur l'aptitude à la coagulation sont variables en fonction des paramètres et des études, en fonction des méthodes de référence utilisées et de la variabilité des données utilisées. Le temps de prise est parfois très bien prédit (De Marchi *et al.,* 2012 et 2013) contrairement à notre étude : le pH est un facteur important de variation du temps de prise mais dans FROM'MIR, le choix a été fait de standardiser les pH au pH usuel d'emprésurage de la technologie considérée, comme le fait habituellement le fromager.

Outre la standardisation ou non du pH, d'autres différences peuvent être notées selon les méthodes de références employées à savoir le matériel utilisé et les concentrations en présure, les paramètres utilisés (De Marchi *et al.,* 2014). Pretto *et al.* (2011) et Cipolat-Gotet *et al.* (2012) ont comparé les différentes méthodologies de référence pour déterminer l'aptitude à la coagulation des laits telles que le Formagraph et les instruments optiques. Les modèles de prédiction obtenus et basés sur la mesure de la fermeté du gel 60 min après l'ajout de présure ne sont pas complètement satisfaisants, montrant l'effet de la méthode de référence sur les performances des équations. Ferragina *et al.* (2017) sur laits de brebis ont montré que le premier déterminant de la prédiction est la répétabilité des analyses de références qui sont faites pour la calibration des équations. Plus la répétabilité sera élevée, meilleure sera la prédiction des équations.

Plus généralement, comme cela a été mis en évidence dans de précédentes études, les conditions de réalisation des tests, les paramètres utilisés pour caractériser les propriétés d'aptitudes fromagères, les caractéristiques des échantillons de laits de races laitières spécifiques engendrent des corrélations spécifiques entre les paramètres d'aptitudes fromagères et la composition du lait ou le pH. La sélection variable des spectres et les pré-traitements mathématiques influencent la précision des modèles de prédiction dépendant de la méthode utilisée pour construire les équations. Cela affecte les prédictions des différents paramètres d'aptitude fromagère et expliquent la non-cohérence des résultats selon les études (Bonfatti *et al.,* 2016).

En construisant des modèles utilisant des laits individuels avec des races multiples, les performances en validation externe des équations établies sont moindres (Visentin *et al.,* 2016 ; Eskildsen *et al.,* 2016). Dans notre étude, les performances ont été maintenues probablement du fait d'une variabilité déjà importante dans le jeu de données FROM'MIR. La sélection des échantillons avait en effet été effectuée pour maximiser la variabilité : prise en compte des résultats TP, variants (laits individuels), plusieurs périodes de collecte...

CONCLUSION

Les équations FROM'MIR ont été consolidées avec l'apport de nouvelles données en France, dont certaines obtenues hors contexte IGP/AOP franc comtois. Les nouvelles équations mises au point en élargissant le jeu de données sont valables quel que soit le contexte, IGP/AOP Franche Comté ou en dehors. Par ailleurs, les équations restent performantes quelle que soit la race, excepté pour la Jersiaise, Abondance et Tarentaise, en raison de faibles effectifs et/ou de laits à caractéristiques extrêmes. Les recherches soulignent l'influence de la variabilité des données, des méthodes de référence utilisées et des unités de mesure pour développer des modèles robustes. Pour arriver à ces derniers, valables quel que soit le pays, il est nécessaire de standardiser les méthodes de référence utilisées car nous pouvons observer une grande variabilité de celles-ci dans les études.
La valorisation opérationnelle en France de ces nouveaux phénotypes de fromageabilité, issus du contrôle de performances, est actuellement en discussion. Les éleveurs de race Montbéliarde bénéficient déjà d'outils pour la sélection génétique grâce à la mise en place d'une chaine d'évaluation génétique privative développée par le consortium FROM'MIR.
Les résultats obtenus par race laissent présager l'utilisation des équations pour d'autres races que la Montbéliarde à des fins d'évaluation génétique.

Remerciements : Nous remercions chaleureusement tous les éleveurs et fromagers ayant participé à ces études ainsi que les financeurs associés : CASDAR, CNIEL, URFAC, région Bourgogne - Franche Comté (BPI et PEI), Institut Carnot France Futur Elevage, OptiMIR.

Baptiste A., Trossat P., 2000. Lettre de Cécalait, 34.
Bonfatti, V., L. Degano, A. Menegoz, and P. Carnier. 2016. J. Dairy Sci., 99, 8216-8221.
Cipolat-Gotet C., Cecchinato A., De Marchi M., Penasa M., Bittante G, 2012. J. Dairy Sci. 95, 11, 6806-6819.
Colinet F. G., Troch T., Abbas O., Beaten V., Dehareng F., Froidmont A., Soyeurt H., Dardenne P., Sindic M., Gengler N., 2013. Renc Rech Rum, 20, 153-156.
Coppa, M., Ferlay, A., Leroux, C., Jestin M., Chilliard Y., Martin B. et Andueza D., 2010. Int. Dairy J., 20, 182-189.
De Marchi M., Toffanin V., Cassandro M., et Penasa M., 2013. J. Dairy Sci.,96, 4707-4715.
De Marchi M., Toffanin V., Cassandro M., Penasa M., 2014. J. Dairy Sci., 97, 1171-1186.
El Jabri, M., M. P. Sanchez, P. Trossat, C. Laithier, V. Wolf, P.
Eskildsen, C.E., T. Skov, M.S. Hansen, L.B. Larsen, and N.A. Poulsen. 2016. J. Dairy Sci., 99, 8178-8186.
Ferragina, A., C. Cipolat-Gotet, A. Cecchinato, and G. Bittante. 2013. J. Dairy Sci., 96, 7980-7990.
Ferragina, A., C. Cipolat-Gotet, A. Cecchinato, M. Pazzola, M.L. Dettori, G.M. Vacca, and G. Bittante. 2017. J. Dairy Sci., 100, 3526-3538.
Grelet C., Fernandez Pierna J.A., Dardenne P., Baeten V., Dehareng F., 2015. J Dairy Sci., 98, 2150-2160.
Grosperrin, E. Beuvier, O. Rolet-Répécaud, S. Gavoye, Y. Gaüzere, O. Belysheva, E. Notz, D. Boichard, and A. Delacroix-Buchet. 2019. J. Dairy Sci., 102, 6943–6958.
Grubbs, F.E. 1969. Technometrics, 480, 11, 1-21.
Hurtaud C., Rulquin H., Delaite M. et Vérité R., 1995. Annales de zootechnie, 44, 385-398.
Laithier C., Wolf V., Brochard M., Sanchez M.P., Gaudillière N., Miníery S., Fritz S., Gavoye S., Gaüzère Y., Rolet-Répécaud O., Notz E., Bouton Y., Boichard D., Grosperrin P., Delacroix-Buchet A., 2020. Innovations Agronomiques, INRA, 79, 227-244.
Leray O., Trossat P., Lefier D., Baptiste A., 1994. Lettre de Cécalait, 10.
Pretto D., Kaart T., Vallas M., Jõudu I., Henno M., Ancilotto L., Cassandro M., Pärna E., 2011. J. Dairy Sci.,94, 4336-4346.
Viscarra Rossel, R.A., R.N. McGlynn, and A.B. McBratney., 2006. Geoderma, 137, 70-82.
Visentin, G., M. Penasa, P. Gottardo, M. Cassandro, and M. De Marchi. 2016. J. Dairy Sci., 99, 8137-8145.