

Étude de la variabilité des aptitudes à la transformation laitière en Région wallonne basée sur l'utilisation de la spectrométrie infrarouge

Colinet F.G.¹, Troch T.², Vanden Bossche S.², Soyeurt H.^{1,3}, Gengler N.¹,
Abbas O.⁴, Baeten V.⁴, Dehareng F.⁵, Sinnaeve G.⁵, Dardenne P.^{4,5} & Sindic M.²

¹ Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité de Zootechnie, Gembloux, Belgique

² Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité d'Analyses, Qualité et Risques,
Laboratoire de Qualité des Bioproduits, Gembloux, Belgique

³ Fonds National de la Recherche Scientifique, Bruxelles, Belgique

⁴ Centre Wallon de Recherches Agronomiques, Département Valorisation des Productions
Agricoles, Unité Qualité des produits, Gembloux, Belgique

⁵ Centre Wallon de Recherches Agronomiques, Département Valorisation des Productions
Agricoles, Unité Technologies de la transformation des produits, Gembloux, Belgique

Courriel : Frederic.Colinet@ulg.ac.be

1. Introduction

Au cours de la dernière décennie (2000-2009), la production de fromages a augmenté de 15 % au niveau de l'Union Européenne et de 22 % aux USA (International Dairy Federation, 2010). De même, les productions belges de beurre, de fromages et de yaourts ont augmenté respectivement de 4,05 %, 7,26 % et 11,5 % entre 2010 et 2011 (STATBEL, 2012).

La production de produits laitiers tels que les fromages, les yaourts, le beurre, *etc.* est caractérisée tant au niveau de sa quantité (rendement de transformation) qu'au niveau de la qualité des produits transformés. La qualité du lait utilisé (et notamment sa composition) aura un impact sur la qualité et la quantité de produits laitiers obtenus. La composition fine du lait déterminera ses aptitudes technologiques. Sachant que l'alimentation, la race ainsi que la gestion du troupeau influencent la composition du lait, celles-ci pourraient également influencer les aptitudes du lait à être transformé en divers produits laitiers. Ces influences seraient d'autant plus marquées dans le cadre d'une transformation du lait au sein même de l'exploitation agricole. En effet, celui-ci provient d'un seul et même troupeau et n'est pas standardisé avant transformation.

Il existe une forte variabilité individuelle pour ces aptitudes. Il y a donc des chances pour que le potentiel génétique des vaches laitières en général soit partiellement responsable de celles-ci. Cette variabilité est notamment observée au niveau de la coagulation du lait (dans le cadre de la fabrication fromagère), certains échantillons de lait ayant une faible aptitude, voire une incapacité totale, à coaguler. Ce problème de coagulation s'observe dans de nombreux pays. En Finlande, une étude montre qu'environ 8,6 % des vaches Ayrshire Finlandaises produisent au moins une fois au cours de leur lactation un lait non coagulant (Tyriseva *et al.*, 2004). En Estonie, une étude montre que 8 à 9 % des échantillons de vaches Holstein ne coagulaient pas et que de 17 à 20 % des échantillons coagulaient faiblement (Joudu *et al.*, 2007). Des constats similaires ont été reportés au Danemark (Frederiksen *et al.*, 2011a) et en Italie (Bonfatti *et al.*, 2010).

Le mélange de laits avec de faibles (voire de mauvaises) aptitudes technologiques avec celui d'autres vaches du troupeau avec des bonnes (voire d'excellentes) aptitudes « contamine » le tank et peut ainsi affecter la qualité et le rendement des productions de l'exploitation entière.

Par exemple, dans le cadre des propriétés de coagulation du lait, l'incorporation de lait avec de moindres propriétés de coagulation à du lait avec de bonnes propriétés affecte les propriétés du mélange de manière non linéaire analogue à un titrage. L'incorporation de 25 % de lait non coagulant détériore clairement les propriétés de coagulation globales (Frederiksen *et al.*, 2011b).

Actuellement, nous ne disposons d'aucune méthodologie rapide à grande échelle pour déterminer les aptitudes technologiques des laits. De même, en dehors d'analyses en laboratoire d'échantillons de lait pour chacune des vaches d'un troupeau, il n'est pas possible d'étudier la variabilité individuelle au sein d'un troupeau. Dès lors, l'encadrement personnalisé des producteurs-transformateurs se heurte à ce manque d'informations individuelles exploitables et se limite à la vision globale du troupeau. L'agriculteur-transformateur peut uniquement apprécier les rendements de transformation de son lait de tank et la qualité et quantité de produits laitiers.

2. Projet ProFARMilk

Des estimations plus fines et plus précises de ces aptitudes individuelles pour les différentes transformations (fromage, crème, crème glacée, yaourt...) permettraient un encadrement différencié des agriculteurs-transformateurs et une gestion plus fine du troupeau. Il en suivrait une amélioration des rendements de transformation dans le cadre de la valorisation du lait sous forme de produits dérivés en circuit court. Par ailleurs, la composition du lait ainsi que ses propriétés technologiques pourraient être utilisées pour ajuster les pratiques d'élevage en vue d'optimiser la qualité et la stabilité du lait ainsi que des produits laitiers (Glantz *et al.*, 2009).

Au cours de ces dernières années, une équipe italienne a démontré la faisabilité de prédire l'aptitude à la coagulation à partir du spectre moyen infrarouge (MIR) du lait de vaches Brunes et Holstein-Frisonnes (Dal Zotto *et al.*, 2008 ; De Marchi *et al.*, 2009).

Parti de ces constats, une collaboration structurée s'est mise en place entre les Unités de Zootechnie et d'Analyses, qualité et risques de Gembloux Agro-Bio Tech et les Unités Qualité des produits et Technologies de la transformation des produits du Département Valorisation des Produits Agricoles du Centre Wallon de Recherches Agronomiques. Un premier projet de recherche ProFARMilk a démarré en février 2011 et est financé par le Service Public de Wallonie – Direction Générale Opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et de l'Environnement. Les objectifs de ProFARMilk sont d'étudier, d'analyser et d'améliorer les aptitudes du lait à la transformation en vue de sa valorisation par l'agriculteur sous forme de produits dérivés commercialisables en circuit court. Ceci implique des recherches permettant d'évaluer, à grande échelle, les aptitudes du lait à être transformé directement en de nombreux produits au sein même de l'exploitation (par exemple, le beurre, la crème, le fromage, la crème glacée et le yaourt) et d'instaurer des stratégies en vue de déterminer les potentiels laitiers de chacune des vaches inscrites au Contrôle Laitier à produire ce produit.

L'objectif final du projet ProFARMilk, qui s'étalera sur une période de 72 mois, est de disposer d'outils permettant de prédire les aptitudes technologiques du lait à partir du spectre infrarouge (proche ou moyen infrarouge) en vue d'un suivi des animaux et du troupeau. Ceci permettra à l'éleveur de gérer différemment son troupeau dans le cadre de la transformation du lait à la ferme.

3. Transformation fromagère

Dans un premier temps, le projet ProFARMilk s'est intéressé à la fabrication fromagère. Celle-ci est généralement évaluée par le rendement fromager global. Une des étapes fondamentales dans la production fromagère étant la coagulation, l'aptitude à la coagulation initiale du lait influencera les aptitudes technologiques dans le cadre d'une production fromagère.

La coagulation peut être caractérisée par plusieurs paramètres : le temps nécessaire à l'initiation de la coagulation après l'ajout de la presssure (RCT), le temps nécessaire après l'initiation de la coagulation pour atteindre une fermeté du caillé suffisante pour le décaillage (k_{20}) et la fermeté du caillé mesurée 30 minutes après l'ajout de la presssure (a_{30}). L'aptitude d'un lait à coaguler est importante tant pour le rendement fromager que pour la qualité du fromage obtenu. La composition fine du lait influence les aptitudes à la coagulation. En effet, les différents constituants (minéraux, matière grasse, protéines dont les différentes caséines, *etc.*) influencent les aptitudes à la coagulation tout comme l'acidité du lait (pH et acidité titrable).

Cette acidité titrable (AT), déterminée sur du lait frais, mesure non seulement le « pouvoir tampon » des constituants du lait mais également l'acide lactique résultant de l'activité des bactéries qui se sont développées au cours de la collecte et du transport. L'AT d'un lait normal se situe entre 16 et 18 degrés Dornic ($^{\circ}$ D), celui d'un lait mammiteux ou de fin de lactation est inférieure à 15° D tandis que celui d'un lait en début de lactation se situe entre 19 et 20° D. Lorsque l'acidité titrable est supérieure à 20° D, des problèmes technologiques apparaissent. En effet, un lait d'AT entre 20 et 22° D risque de coaguler pendant la stérilisation et si l'AT est supérieure à 22° D, la coagulation peut être induite au cours de la pasteurisation.

La variabilité au niveau de ces aptitudes technologiques au sein de la population peut s'expliquer par de nombreux facteurs comme la race, l'année, l'alimentation, la gestion du troupeau mais également par les individus eux-mêmes (tant d'un point de vue statut physiologique ou sanitaire qu'au niveau génétique). En effet, il semble que l'héritabilité de l'aptitude à la coagulation puisse être considérée comme relativement élevée (0,20 à 0,40 ; Cecchinato *et al.*, 2009 ; Kaart *et al.*, 2010 ; Tyriseva *et al.*, 2004), du même ordre de grandeur que pour les traits de production de lait (quantité de lait, de protéine et de matière grasse). Une sélection pour ces caractères serait donc envisageable à condition de disposer de suffisamment de données et de développer des modèles adaptés à l'évolution des aptitudes à la coagulation au cours de la lactation.

Dans un premier temps, six paramètres ont été présélectionnés dans le but de tenter de développer des méthodes utilisant la spectrométrie MIR pour les prédire à large échelle. Il s'agit des rendements fromagers de laboratoire (en frais et en sec), des paramètres de coagulation (RCT, k_{20} et a_{30}) et de l'acidité titrable. Ceux-ci sont déterminés sur des échantillons de lait frais individuels et prélevés lors de traite du matin ou du soir dans des exploitations élevant différentes races bovines (Holstein, Montbéliarde, Brune et Blanc-Bleu Belge de type mixte). Ces échantillons sont également analysés en spectrométrie MIR en collaboration avec le Comité du Lait de Battice. Ces prélèvements ont pour but de tenter de capter la variabilité présente dans le cheptel laitier wallon afin de permettre le développement d'équations de prédiction applicables à l'ensemble des troupeaux wallons. Les mesures effectuées au laboratoire montrent une bonne variabilité entre les différents échantillons (Tableau 1).

Tableau 1 : Variabilité au sein des différentes analyses effectuées

Paramètre	Unité	N	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
Rend. From. en frais	<i>g caillé/100 g lait</i>	294	28,9	8,8	30 %
Rend. From. en sec	<i>g caillé sec/100 g MS lait</i>	293	62,3	7,4	12 %
RCT	<i>seconde</i>	593	885	257	29 %
k20	<i>seconde</i>	602	220	42	36 %
a30	<i>mm</i>	486	34	5	15 %
Acidité Titrable	<i>°D</i>	573	16,3	1,8	11 %

Sur base des mesures des paramètres de coagulation, trois catégories de lait ont pu être définies : les laits coagulants (CO), les laits non coagulants (NC) et les laits faiblement coagulants (FC). Un lait NC est un lait qui n'a pas démarré la coagulation endéans les 30 minutes du test et un lait FC est un lait qui a démarré une coagulation mais dont le caillé n'a pas la fermeté nécessaire pour le décaillage à la fin du test.

Comme observé dans les autres cheptels laitiers européens (en Estonie, en Finlande, en Italie et au Danemark), sur les 678 analyses effectuées, 625 échantillons sont classés CO, 37 NC et 16 FC ; soit 7,8 % des échantillons ont donc montré un problème de coagulation. De plus, dans le cadre de ces analyses, 200 vaches ont été prélevées plusieurs fois. Sur l'ensemble de celles-ci, 170 n'ont donné que des laits CO, 3 que des laits NC, 13 des laits CO et NC, 10 des laits CO et FC et 4 des laits CO, NC et FC. Ceci montre que tous les laits d'une même vache n'ont pas nécessairement les mêmes aptitudes à la coagulation et que 15 % des vaches prélevées plusieurs fois ont montré au moins une fois un problème de coagulation dans leurs laits.

4. Équations de prédiction

La chimiométrie consiste en l'application d'outils mathématiques et statistiques pour obtenir un maximum d'informations à partir des données chimiques. Sur base des mesures déjà réalisées, de telles études ont été entamées et visent notamment à développer des équations de prédictions à partir des spectres MIR obtenus sur les échantillons de lait lors de leur analyse au Comité du Lait.

Actuellement, la méthodologie utilisée pour développer les équations de prédiction à partir des spectres MIR se base sur la régression des moindres carrés partiels avec une validation croisée interne. Différents paramètres obtenus lors de l'élaboration des six équations (Tableau 2) sont à prendre en compte : la moyenne (Moy.) et l'écart-type (ET) des sets de calibrations finaux, les coefficients de détermination de validation croisée (R^2_{CV}), l'erreur standard de validation croisée (ES_{CV}), le rapport de l'erreur standard de validation croisée sur l'écart-type (RPD) et le rapport du range du set de calibration sur l'erreur standard de validation croisée (RER).

Tableau 2 : Paramètres des équations de prédictions développées

Paramètre	Unité	N	Moy.	ET	ES _{CV}	R ² _{CV}	RPD	RER
Rend. From. en frais <i>g caillé/100 g lait</i>		234	26,8	6,5	2,8	0,81	2,3	12
Rend. From. en sec <i>g caillé sec/100 g MS lait</i>		243	61,9	6,4	2,7	0,82	2,3	11,9
RCT	<i>seconde</i>	526	865	235	136	0,66	1,7	9
k20	<i>seconde</i>	530	214	36	27	0,46	1,3	5,2
a30	<i>mm</i>	422	34,3	42	3,1	0,45	1,4	5,7
Acidité titrable	°D	451	16,6	1,8	0,8	0,80	2,2	15

Moy. = moyenne, ET = écart-type, ES_{CV} = erreur Standard de validation croisée, R²_{CV} = coefficient de détermination de validation croisée, RPD = rapport de l'ET sur ES_{CV}, RER = rapport du range du set de calibration sur ES_{CV}

D'abord, selon Williams (2003), un R²_{CV} entre 0,50 et 0,65 indique une faible prédiction avec des modèles permettant uniquement la discrimination entre des hautes et basses valeurs. Un R²_{CV} entre 0,66 et 0,81 indique que les prédictions sont assez précises tandis qu'une équation de prédiction avec un R²_{CV} supérieur à 0,82 permet de réaliser de bonnes prédictions. Dans le cas où le R²_{CV} est supérieur à 0,91, l'équation est considérée comme excellente. Ensuite, pour le RPD, les équations présentant une valeur supérieure à 2 ont une bonne utilité pratique (Sinnavee *et al.*, 1994 ; Karoui *et al.*, 2006). Finalement, selon Williams (1987), des équations de prédiction avec un RER inférieur à 3 n'ont que peu d'utilité pratique tandis que celles avec un RER supérieur à 10 ont une aptitude à prédire.

Dès lors, les paramètres des équations ainsi développées sont prometteurs (notamment pour l'acidité titrable et les deux rendements fromagers de laboratoire) mais doivent/peuvent encore être améliorés au moyen de nouveaux échantillons analysés. Les paramètres des équations relatives aux paramètres de coagulation sont similaires à ceux obtenus par l'équipe italienne (De Marchi *et al.*, 2009).

5. Variabilité des aptitudes technologiques au sein du cheptel laitier wallon

Fruit d'une convention entre l'Unité de Zootechnie de GxABT/ULg, le Département Valorisation des Productions Agricoles du CRA-W, de l'Association Wallonne de l'Élevage asbl et du Comité du Lait de Battice, une base de données comprenant les spectres MIR collectés dans le cadre du Contrôle laitier wallon a été mise en place à des fins de recherche. A ce jour, cette base de données compte plus de 2.300.000 spectres MIR et est régulièrement mise à jour.

Les trois meilleures équations développées dans le cadre du projet ProFARMilk ont été appliquées sur cette base de données. Les prédictions (acidité titrable et rendements fromagers de laboratoire en frais et en sec) ainsi obtenues servent aux études préliminaires de la variabilité au sein du cheptel wallon. Les coefficients de variation calculés sur l'ensemble des prédictions sont de 20 % et 7 % pour les rendements fromagers de laboratoire en frais et en sec, respectivement et de 9 % pour l'acidité titrable du lait.

Dans ces études préliminaires, différents effets sur les valeurs prédites sont étudiés

séparément. Un premier aperçu de la présence ou non de différence entre les races laitières est réalisé. Par exemple, les rendements fromagers de laboratoire en frais moyens sont de 22,2 ($\pm 3,9$) et de 26,4 ($\pm 4,8$) g de caillé / 100 g de lait respectivement en race Blanc-Bleu Belge de type mixte et Normande. Ces paramètres évoluent au cours de la lactation, notamment en race Holstein où une diminution des rendements fromagers de laboratoire en frais et en sec moyens est observée dès les premières semaines de la première lactation (Figure 1).

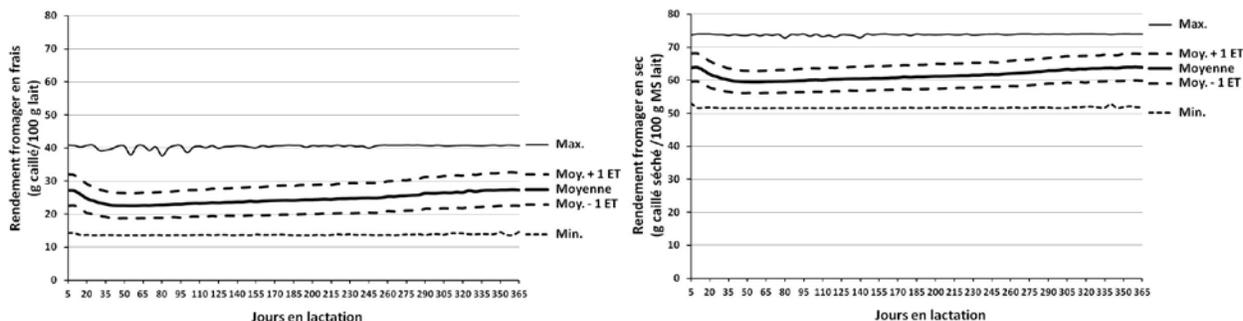


Figure 1 : Évolution des rendements fromagers de laboratoire en frais (au gauche) et en sec (à droite) moyens prédits à partir du spectre MIR au cours de la première lactation en race Holstein

De même, des différences entre les évolutions au sein des trois premières lactations ont été mises en évidence au niveau de l'acidité titrable moyenne du lait (Figure 2) tandis que ceci n'est pas observé dans les évolutions des rendements fromagers de laboratoire en frais (Figure 2) et en sec moyens.

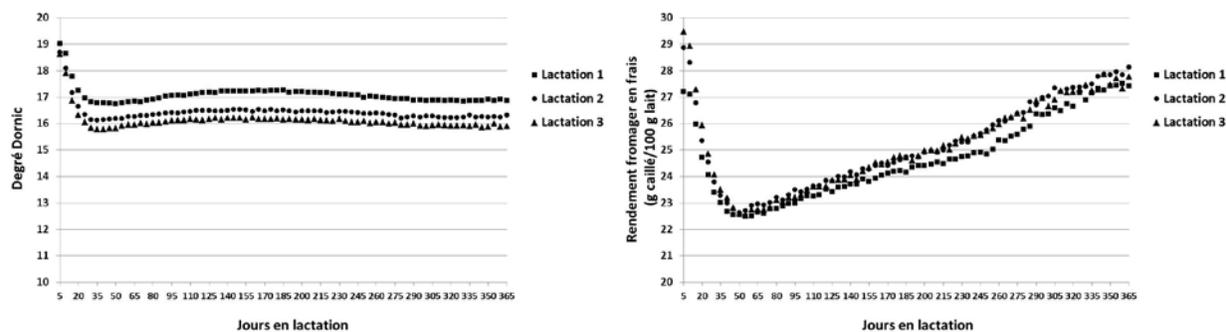


Figure 2 : Évolution de l'acidité titrable moyenne du lait (à gauche) et du rendement fromager de laboratoire en frais moyen (à droite) prédits à partir du spectre MIR au cours des trois premières lactations en race Holstein

Ensuite, des études de modélisations de ces prédictions sont entreprises. Cette modélisation consiste en la décomposition des prédictions en différents effets, tels que le troupeau, la saison, l'âge au vêlage, le stade de lactation, la parité, l'animal (génétique et non génétique), la race, etc. par EM-REML (*Expectation Maximization Restricted Maximum Likelihood*). Ainsi, l'acidité titrable a pu être modélisée chez la vache Holstein en première lactation. Cette modélisation a permis d'en déterminer l'héritabilité journalière moyenne (0,57), montrant le caractère héritable de ce paramètre.

6. Conclusion

Les premiers résultats de construction d'équation de prédiction de propriétés technologiques du lait sur base du spectre MIR sont prometteurs. Trois équations sont déjà développées et utilisables, à des fins de recherche, pour la prédiction de l'acidité titrable, des rendements fromagers de laboratoire en frais et en sec. Néanmoins, celles-ci devraient être améliorées sur base d'analyses supplémentaires. Ceci montre la possibilité de construire des équations de prédiction pour différentes propriétés technologiques du lait en Wallonie et d'étudier ces propriétés à large échelle, notamment au niveau du cheptel laitier wallon.

Les prédictions (des aptitudes technologiques mais également des constituants du lait tels que les acides gras et les minéraux (Soyeurt *et al.*, 2009 et 2011)) et les modélisations pourront être utilisées conjointement en vue d'étudier les corrélations phénotypiques et génétiques. Ceci permettra une meilleure compréhension des liens entre les propriétés technologiques du lait et ses constituants.

In fine, les prédictions, les modélisations ainsi que les corrélations seront valorisées à travers le développement d'outils de gestion et d'optimisation des propriétés technologiques du lait dans le cadre d'une transformation du lait à la ferme.

7. Références

- Bonfatti *et al.*, 2010. *Journal of Dairy Science* 93 : 3809-3817.
Cecchinato *et al.*, 2009. *Journal of Dairy Science* 92 : 5304-5313.
Dal Zotto *et al.*, 2008. *Journal of Dairy Science* 91 : 4103-4112.
De Marchi *et al.*, 2009. *Journal of Dairy Science* 92 : 723-432.
Fredericksen *et al.*, 2011a. *Dairy Science & Technology* 91 : 309-321.
Fredericksen *et al.*, 2011b. *Journal of Dairy Science* 94 : 4787-4799.
Glantz *et al.*, 2009. *Journal of Dairy Science* 92 : 4589-4603.
International Dairy Federation, 2010. *Bulletin of the International Dairy Federation* 446/2010.
Joudu *et al.*, 2007. *Agricultural food and science* 16 : 222-231.
Kaat *et al.*, 2010. *Proceeding of the 9th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Leipzig, Allemagne, 1-6 Août 2010, 567.
Karoui *et al.*, 2006. *European Food Research Technology* 222 : 165-170.
Tyriseva *et al.*, 2004. *Journal of Dairy Science* 87 : 3958-3966.
Sinnave *et al.*, 1994. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 2 : 79-84.
Soyeurt *et al.*, 2009. *Journal of Dairy Science* 92 : 2444-2454.
Soyeurt *et al.*, 2011. *Journal of Dairy Science* 94 : 1657-1667.
STATBEL, 2012. <http://statbel.fgov.be/fr/statistiques/chiffres/economie/agriculture/>, consulté le 21/01/2013.
Williams, 1987. *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*. 2nd ed. P.C. Williams & K. Norris, ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
Williams, 2003. *A short Course in the Practical Implementation of Near Infrared Spectroscopy for the User*. 1.1 ed. PDK Projects Inc., Nanaimo, BC, Canada.