

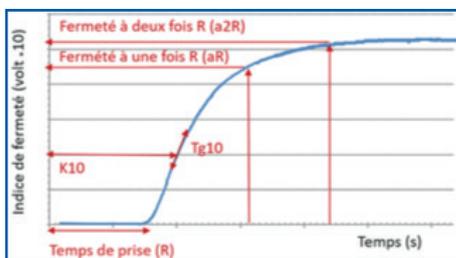
La fromageabilité du lait en ligne de MIR Les acquis du programme



La possibilité d'exploiter les spectres moyen infrarouge (MIR) a été étudiée pour caractériser en routine et à faible coût la fromageabilité des laits. Cette opportunité a été évaluée à l'échelle des laits individuels et des laits de mélange (troupeaux, cuves de fromagerie). La finalité était d'estimer la fromageabilité des laits de race Montbéliarde en zone AOP/IGP de Franche-Comté et d'identifier puis comprendre les facteurs qui l'influencent pour mieux la maîtriser. La méthodologie développée pourra être utilisée par d'autres filières fromagères françaises, traditionnelles ou non.

3 critères fondamentaux étudiés, en lien avec la physico-chimie du lait, pour caractériser la fromageabilité :

Coagulation enzymatique



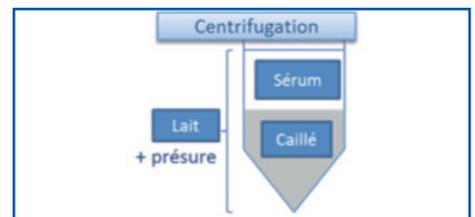
- Suivi au Formoptic (~Formagraph)
- Deux modalités d'emprésurage :
 - Type pâtes molles (PM)
 - Type pâtes pressées cuites (PPC)

Aptitude à l'acidification



- Suivi de l'évolution du pH des laitsensemencés au CINAC®
- Deux modalités d'ensemencement et de cinétique de température :
 - Type pâtes molles (PM)
 - Type pâtes pressées cuites (PPC) (résultats non présentés)

Aptitude à l'égouttage physique Rendements de laboratoire



Modes d'expression

- Aptitude à l'égouttage physique
- Rdt labo frais (%) : $(\text{poids caillé frais} / \text{poids lait}) \times 100$
- Rdt labo ES ou N (%) : $1 - \left[\frac{\text{ES ou N sérums} \times \text{poids sérums}}{\text{ES ou N lait} \times \text{poids lait}} \right] \times 100$
- Rdt labo MSU (g/kg) : Quantité de MSU (TB + TP) nécessaire pour obtenir 1 kg de caillé

Une seule modalité



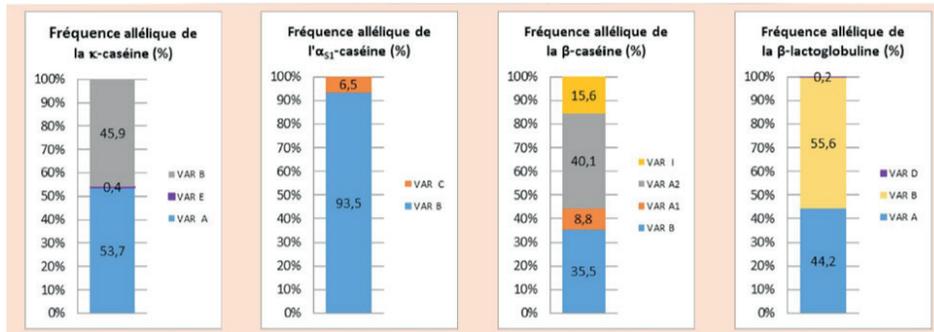
La pertinence de ces critères de laboratoire, en particulier du rendement, a été validée en conditions pilotes de transformation fromagère.

Caractériser la fromageabilité des laits à différentes échelles (animal, troupeau, cuve de fromagerie)

Un inventaire des variants des lactoprotéines en race Montbéliarde en Franche - Comté

570 échantillons de laits individuels de vaches Montbéliarde ont été prélevés et analysés par méthode LC-MS (Chromatographie Liquide couplée à la Spectrométrie de Masse). On observe la présence en faibles proportions de variants rares de la caséine κ (κ -CN E), de la caséine α_2 (α_2 -CN D), de la β -lactoglobuline (β -Lg D), de la caséine α_1 (α_1 -CN C). Un nouveau variant de la caséine β (β -CN I) (anciennement confondu avec le variant A2) a été détecté à une fréquence relativement élevée (environ 16%). Il n'y a pas de polymorphisme pour l' α -lactalbumine (α -LA). La caséine α_2 ne présente que deux variants : A et D, le variant D étant en très faible proportion (0,1%). Les fréquences obtenues par l'exploitation d'un grand nombre de données via les puces de génotypes (n= 5 604) ont confirmé ces résultats.

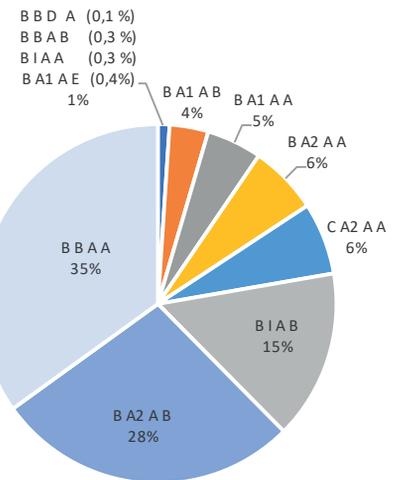
En savoir plus sur ces résultats ? : [newsletter n°2 du programme !](#)



Les données de génotypages ont permis d'étudier les fréquences haplotypiques (les combinaisons de variants des 4 lactoprotéines : α_1 S1, β -CN, κ -CN, β -Lg). Dans la population Montbéliarde étudiée, une grande variabilité a été mise en évidence avec 11 haplotypes différents dont 5 sont très rares.

Des nouvelles équations pour estimer la composition fine des laits de mélange par le MIR (en g/kg)

La validation sur laits de mélange d'équations précédemment développées sur laits individuels, dans Phénofinlait pour les protéines, et dans Optimir pour les minéraux, n'a pas donné de résultats satisfaisants. De nouvelles équations ont été développées. Différents jeux de données ont été utilisés pour établir les équations : laits de troupeaux (n=100), laits de cuves (n= 70), laits de cuves et troupeaux et enfin toutes échelles confondues (individuelles + troupeaux + cuves (n=420)).



| | Caséines α_2 | | | Caséines β | | | Caséines κ | | | Total caséines ($\alpha_1 + \alpha_2 + \beta + \kappa$) | | | Total lactoprotéines | | |
|-----------------|---------------------|-----|----------------|------------------|-----|----------------|-------------------|-----|----------------|---|-----|----------------|----------------------|-----|----------------|
| | Equation retenue | RPD | R ² | Equation retenue | RPD | R ² | Equation retenue | RPD | R ² | Equation retenue | RPD | R ² | Equation retenue | RPD | R ² |
| Laits troupeaux | | | | | | | | | | | | | | | |
| Laits de cuves | | | | | | | | | | | | | | | |

| | Calcium | | | Phosphore | | |
|-----------------|------------------|-----|----------------|------------------|-----|----------------|
| | Equation retenue | RPD | R ² | Equation retenue | RPD | R ² |
| Laits troupeaux | | | | | | |
| Laits de cuves | | | | | | |

| | RPD | R ² |
|-----------|------------------|--------------------|
| Excellent | > 2,5 | > 0,91 |
| Très bon | Entre 2,0 et 2,5 | - |
| Bon | Entre 1,8 et 2,0 | Entre 0,82 et 0,90 |
| Moyen | Entre 1,4 et 1,8 | Entre 0,66 et 0,81 |
| Mauvais | < 1,4 | < 0,66 |

- Base de données des laits individuels (n= 250)
- Base de données des laits de troupeaux (n=100)
- Base de données des laits de cuves (n=70)

En savoir plus sur ces résultats ? : [newsletter n°4 du programme !](#)

Evaluer la performance des équations :

2 critères permettent d'évaluer la qualité des équations : le R² (% de variabilité expliquée par l'équation) et la précision exprimée par le RPD (proportion entre la dispersion des données référence/erreur de prédiction)

Le MIR pour estimer la fromageabilité des laits

Les équations visent à estimer les trois critères de fromageabilité retenus, évalués au laboratoire. Les jeux de données utilisés pour établir les équations sont ceux déjà utilisés pour la composition fine des laits de troupeaux et cuves auxquels a été ajouté le jeu de données des laits individuels (n= 250).

Rendements laboratoire

| | Rendement labo frais | | | Rendement labo ES | | | Rendement labo MSU | | |
|--------------------------|----------------------|-----|----------------|-------------------|-----|----------------|--------------------|-----|----------------|
| | Equation retenue | RPD | R ² | Equation retenue | RPD | R ² | Equation retenue | RPD | R ² |
| Laits individuels | | | | | | | | | |
| Laits troupeaux | | | | | | | | | |
| Laits de cuves | | | | | | | | | |

Aptitude à la coagulation PPC

| | aR Fermeté à 1 fois le temps de prise | | | Tg10 Vitesse d'organisation du gel | | | K10/R Indication de la vitesse d'organisation du gel à même temps de prise | | |
|--------------------------|--|-----|----------------|---------------------------------------|-----|----------------|---|-----|----------------|
| | Equation retenue | RPD | R ² | Equation retenue | RPD | R ² | Equation retenue | RPD | R ² |
| Laits individuels | | | | | | | | | |
| Laits troupeaux | | | | | | | | | |
| Laits de cuves | | | | | | | | | |

Aptitude à la coagulation PM

| | aR Fermeté à 1 fois le temps de prise | | | a2R Fermeté à 2 fois le temps de prise | | | Tg10 Vitesse d'organisation du gel | | | K10/R Indication de la vitesse d'organisation du gel à même temps de prise | | |
|--------------------------|--|-----|----------------|---|-----|----------------|---------------------------------------|-----|----------------|---|-----|----------------|
| | Equation Retenue | RPD | R ² | Equation Retenue | RPD | R ² | Equation Retenue | RPD | R ² | Equation Retenue | RPD | R ² |
| Laits individuels | | | | | | | | | | | | |
| Laits troupeaux | | | | | | | | | | | | |
| Laits de cuves | | | | | | | | | | | | |

Aptitude à l'acidification

L'aptitude à l'acidification, critère davantage lié à la microbiologie, est mal estimée par le MIR. Les équations développées n'étaient pas satisfaisantes et ne sont pas présentées ici.

En savoir plus sur ces résultats ? : [newsletter n°4 du programme !](#)



André Alix,

Éleveur à Montenois (Doubs) et Président de Conseil Elevage 25-90

FROM'MIR ouvre la possibilité de caractériser la fromageabilité des laits que nous produisons en Franche-Comté. Nous pouvons valoriser ces nouvelles données pour communiquer et travailler plus étroitement avec les fromagers au service de la qualité des produits. Nous avons acquis des nouvelles connaissances sur les leviers de maîtrise (alimentation, génétique) de la fromageabilité. En associant ces nouvelles données avec d'autres informations

sur nos élevages et nos animaux, nous pourrions démontrer que nous travaillons dans le sens du maintien de la fromageabilité des laits en lien avec la qualité de nos fromages pour apporter une plus-value à toute la filière et correspondre aux attentes des consommateurs.



Frédéric Gaucheron,

Sciences et Technologie du lait, CNIEL

Avec la mise en place d'un partenariat multidisciplinaire, FROM'MIR a montré qu'on peut estimer la fromageabilité par le MIR avec des nuances selon les échelles. En Franche-Comté, la fromageabilité étudiée se définit au niveau des fermes en lien avec la fromagerie, il convient de voir si cela se vérifie dans d'autres contextes. Grâce à cette caractérisation possible en routine, les transformateurs, selon les cas, auront potentiellement la possibilité soit d'orienter, de trier les laits soit de mettre en œuvre les traitements technologiques adéquats. Cela permet ainsi un pilotage plus fin, une meilleure maîtrise des fabrications et d'assurer une meilleure plus-value par des rendements améliorés. FROM'MIR a également permis d'acquérir de nouvelles connaissances scientifiques sur la complexité du lait, en particulier sur les liens physico-chimie/ fromageabilité, qu'il conviendra d'approfondir en intégrant la microbiologie. La « Mirothèque » constituée pourra être réutilisée.

Pour la première fois en France, des équations d'estimation MIR de la fromageabilité existent. Les rendements de laboratoire sont les paramètres les mieux estimés par le MIR. Les équations d'estimation du rendement et des paramètres de coagulation sont utilisables sur les laits individuels et pour certains paramètres sur les laits de troupeaux, ce qui sera à consolider pour d'autres contextes, d'autres races...

Les performances des équations sur les laits de cuves nécessitent des améliorations via l'acquisition de données supplémentaires. Par ailleurs, l'étude des liens « laits individuels de vaches - lait de cuve » permettrait d'anticiper les variations potentielles du lait de cuve via les informations amont.

Etude du lien entre composition fine et fromageabilité

Les données traitées étaient celles utilisées pour établir les équations. Les liens ont été étudiés à chaque échelle, de manière indépendante. La méthodologie de traitement de données utilisée a permis de mettre en évidence l'effet de la composition fine en s'affranchissant des effets connus liés au TB et au TP.

Effet fixe :



En modèle pâtes molles

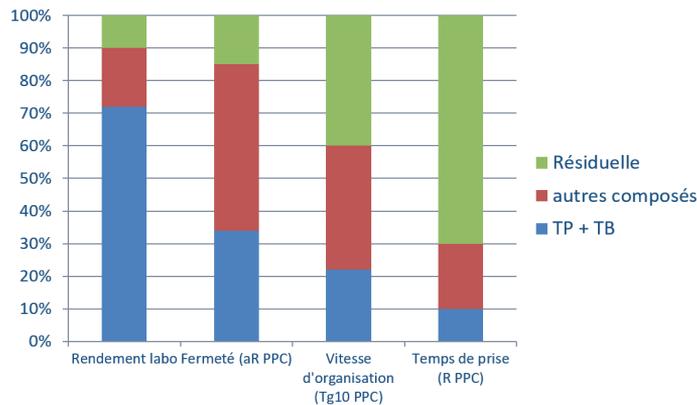
| | Caséines (% des protéines) | | Protéines sériques (% des protéines) | | Taille micelles de caséine | | | Ca | P | Na |
|----------------------------------|----------------------------|-------------|--------------------------------------|---|----------------------------|---|---|----|---|----|
| | | | | | | | | | | |
| Fermeté (aR PM) | | | | | - | - | - | | + | |
| Vitesse d'organisation (Tg10 PM) | | | | | - | | | + | + | |
| Temps de prise (R PM) | - (Cas κ) | - (Cas αs2) | | + | | | | - | + | |

En modèle pâtes pressées cuites

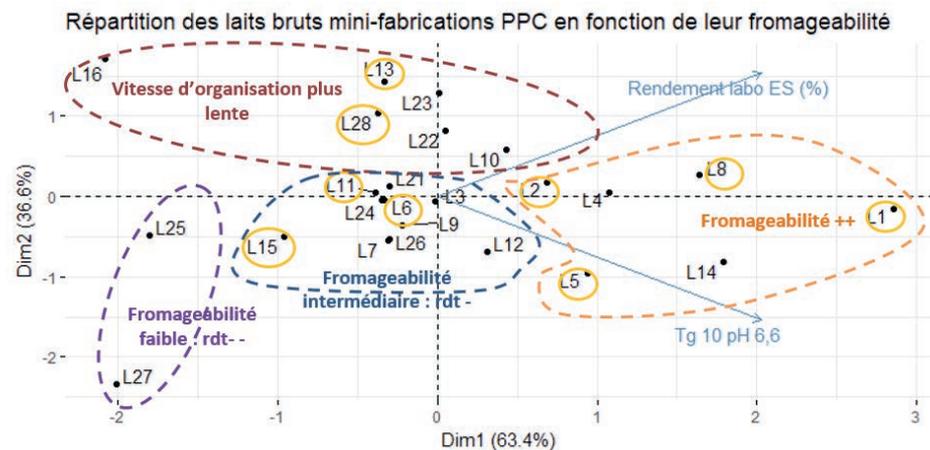
| | Caséines (% des protéines) | | Protéines sériques (% des protéines) | | Taille micelles de caséine | | | Ca | P | Na |
|-----------------------------------|----------------------------|-------------|--------------------------------------|----------|----------------------------|---|--|----|---|----|
| | | | | | | | | | | |
| Rendement labo | | - (Cas αs2) | | | - | | | + | | - |
| Fermeté (aR PPC) | | | | - (α-LA) | - | - | | + | + | |
| Vitesse d'organisation (Tg10 PPC) | + | + | | - (α-LA) | | | | + | | |
| Temps de prise (R PPC) | - (Cas β et κ) | - (Cas αs2) | | - (β-Lg) | + | | | - | + | |

Les liens sont moins prononcés pour les laits de mélange. Cette observation peut s'expliquer par une variabilité moindre de la fromageabilité et un nombre d'échantillons moins important aux échelles troupeau et cuve. Au delà des effets connus du TP et du TB, les paramètres de coagulation, quelle que soit l'échelle, sont liés à la taille des micelles de caséine et à la teneur en calcium. La variabilité reste encore insuffisamment expliquée pour la vitesse d'organisation en modèle PPC.

Variabilité expliquée, exemple en modèle PPC sur laits individuels



Des fabrications pilotes pour vérifier que l'amélioration de la fromageabilité n'engendre pas de défauts sensoriels des fromages affinés



→ Variables actives

• Observations actives

○ Fromages fabriqués présentant des défauts de texture : ferme, peu onctueuse, peu soluble, granuleuse, cohésive, compacte et serrée

| | Moyenne générale (écart type) n=24 | Moyenne classe Fromageabilité ++ (écart type) n=6 |
|-------------------|------------------------------------|---|
| Note qualité pâte | 5,21 (0,85) | 4,68 (0,65) |
| Granulosité | 3,59 (1,12) | 4,55 (0,89) |
| Solubilité | 4,38 (0,51) | 4,04 (0,40) |

Les fabrications pilotes type PM et type PPC ont été réalisées avec des laits sélectionnés pour avoir un rendement laboratoire supérieur à la médiane de la population des laits de troupeaux.

En PPC, les fromages issus de ces fabrications n'ont pas présenté de défauts de goût. Des défauts de texture ont été constatés dans les classes de laits étudiés, caractérisées par une fromageabilité plus ou moins importante. À technologie et affinage identiques, les fromages obtenus avec les laits les plus fromageables ont tendance à avoir une note de qualité de pâte un peu plus faible, ce qui sera à valider avec des données terrain.

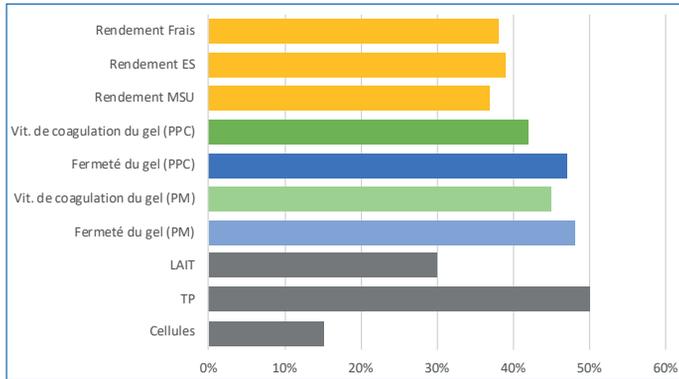
En fabrications pilotes type PM, aucun défaut de texture n'a été observé dans les fromages affinés analysés. Par ailleurs, quand on améliore la fromageabilité des laits, on n'observe pas davantage de défauts de goût.

Les différences observées entre PM et PPC peuvent être liées à la technologie et aux traitements de préparation du lait avant emprésurage qui différaient selon le modèle fromager étudié.

Identifier les facteurs de variation de la fromageabilité des laits : échelles individuelle & troupeau

La génétique, un levier d'action important

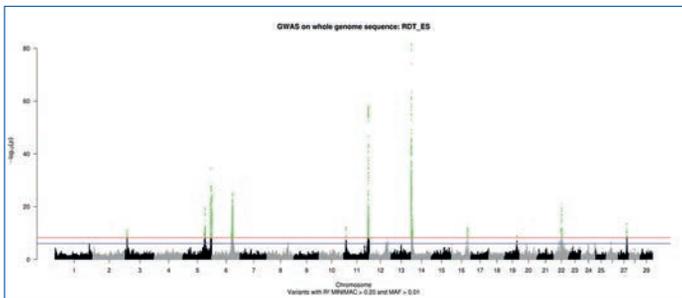
L'héritabilité représente la part des différences expliquée par la génétique et transmissible à la descendance. Avec des valeurs comprises entre 37 et 48%, les critères fromagers (rendements laboratoire et aptitude à la coagulation) sont héréditaires et sélectionnables.



Les paramètres fromagers étudiés sont fortement et favorablement corrélés entre eux et avec les taux protéiques et butyreux.

De nombreuses régions du génome impliquées

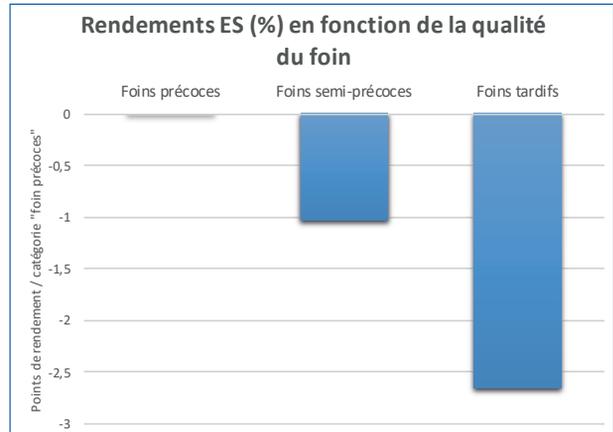
L'analyse des associations entre plus de 27 millions de « lettres » de la séquence ADN de 20 000 femelles avec la fromageabilité de leur lait a permis de confirmer et d'identifier de nouvelles zones impliquées dans l'expression de la fromageabilité du lait.



Exemple : Détection (pics verts) sur les chromosomes 1 à 29, des zones du génome ayant un effet très significatif sur le rendement de laboratoire en extrait sec.

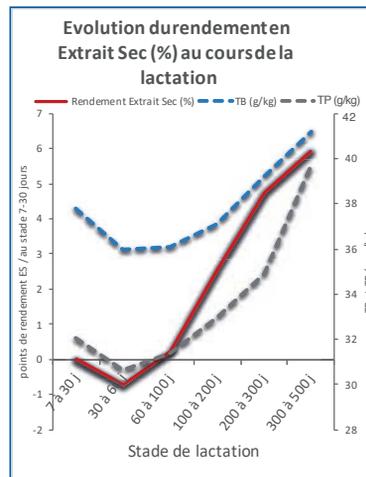
Neuf paramètres fromagers ont pu être indexés. Ils sont en cours d'étude afin d'analyser l'impact économique potentiel de ces nouveaux critères et les réponses à la sélection. Cela permettra d'éclairer sur l'usage possible de ces nouveaux index.

L'importance de la qualité et de la quantité des fourrages distribués



Une restriction en fourrages en hiver a un effet négatif sur l'aptitude à la coagulation du lait. Limiter l'ingestion chez la vache laitière a un impact négatif sur le taux protéique et donc sur la fromageabilité des laits. Dans les systèmes herbagers de Franche-Comté où le foin constitue le principal fourrage en hiver, il existe un lien fort entre le stade de récolte et le rendement fromager. Les foins récoltés précocement ont de meilleures valeurs alimentaires.

La répartition des vêlages impacte la fromageabilité des laits



Les rendements et l'aptitude à la coagulation sont minimum aux alentours du pic de lactation puis augmentent jusqu'à la fin de la lactation. Cet effet sera notable dans les élevages où les vêlages ne sont pas étalés tout au long de l'année.



Philippe Maitre,
Directeur de l'Association Montbéliarde

Avec l'alimentation, la sélection génétique est un levier fort de maîtrise de la fromageabilité. FROM'MIR nous apprend qu'en ayant sélectionné sur les taux, nous avons été « dans le bon sens » pour la fromageabilité de nos laits.



Hervé Bole,
Éleveur à Paroy (Doubs), administrateur d'Umostest

FROM'MIR démontre que la Montbéliarde, race la plus utilisée dans les filières AOP en France, possède dans son génome des gènes d'intérêt pour la fromageabilité. Demain, grâce à FROM'MIR, tous les éleveurs qui le souhaitent pourront connaître le potentiel de leurs femelles au regard de l'intérêt des filières fromagères de Franche-Comté.

Une base de donnée exceptionnelle!

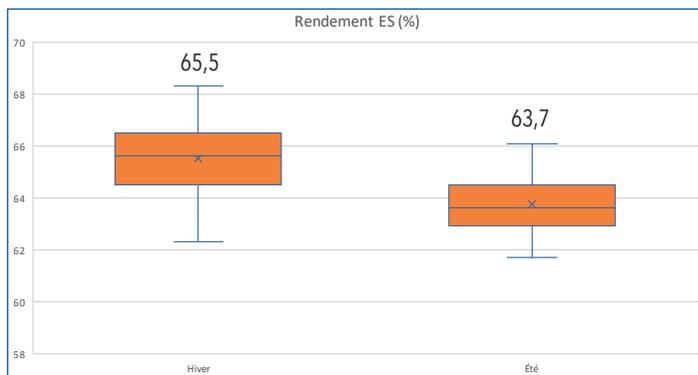
Etude à l'échelle individuelle :
7 millions d'analyses de laits et de données animales associées
20 000 génomes de Montbéliarde

Etude à l'échelle troupeau :
200 élevages collectés et enquêtés

Identifier les facteurs de variation de la fromageabilité des laits : échelle de la cuve de fromagerie

Peu de facteurs de variation mis en évidence via le dispositif FROM'MIR

La saison a un impact important sur la fromageabilité des laits de cuve, les rendements sont plus élevés en hiver en lien avec des taux (TB & TP) plus élevés également. La vitesse d'organisation du gel (PM) est plus élevée en hiver. D'autres facteurs ont été testés tels que la zone géographique, l'historique thermique du lait, la taille de la fromagerie et l'homogénéité des volumes de lait livré de chaque élevage. Ils ne sont pas ressortis comme significatifs dans ce contexte Franc-Comtois où les pratiques de collectes et de report du lait sont encadrés par le cahier des charges des AOP.



S'intéresser à l'échelle individuelle et troupeau pour mieux caractériser la fromageabilité de la cuve ?

FROM'MIR démontre l'importance de travailler la fromageabilité à toutes les échelles. A l'échelle de la cuve, le fromager pourra s'appuyer sur les résultats de fromageabilité des laits individuels et troupeaux des éleveurs livrant à la coopérative pour mieux comprendre la variabilité de la fromageabilité dans sa cuve, en lien avec la qualité finale des fromages fabriqués.



Patrick Duboz,

Éleveur à Vernierfontaine (Doubs) et Président du Centre Technique des Fromages Comtois

FROM'MIR permet de caractériser correctement en routine la fromageabilité des laits individuels et de troupeaux. Même si sur les laits de cuves c'est moins net, nous pourrions mettre en lien ces

nouvelles données avec des informations sur la qualité des fromages que nous produisons. Demain, cette bibliothèque de connaissances pourra par exemple être questionnée en cas de difficulté dans une coopérative ou en cas de présence de défauts sur nos fromages. Une base de données au service de nos filières fromagères avec un point d'ordre : apporter de la connaissance sur nos laits tout en maintenant la diversité de nos fromages qui sont notre richesse !

Perspectives et suites données à FROM'MIR

L'appropriation complète des travaux de FROM'MIR nécessite de mettre en place des outils pour suivre et analyser en continu les évolutions de la fromageabilité et de les relier aux observations de terrain et à toutes les données d'ores et déjà existantes au sein de l'ensemble des filières.

L'objectif des membres du consortium FROM'MIR est donc de mettre en place un observatoire qui permettra de faire communiquer les bases de données et de les valoriser. Cet observatoire consolidera également les résultats acquis dans le programme FROM'MIR.

La méthodologie employée ainsi que l'expérience acquise au cours du programme FROM'MIR sont une base de réflexion pour la conduite d'autres études pour d'autres races, d'autres types de transformation fromagère ou différents systèmes d'élevages.



Martial Marguet,

Éleveur à Maison du Bois-Lièremont (Doubs) et Président de l'Institut de l'Élevage

La connaissance des facteurs d'influence de la fromageabilité au niveau de l'élevage nous permettra de raisonner la conduite du troupeau

en fonction de la destination du lait et de produire ce qui est utile pour nos filières. Cela permet ainsi d'optimiser les ressources en lien avec les attentes sociétales, notamment au niveau de l'environnement. Le retour d'expérience de FROM'MIR nous donne un exemple concret de méthode de construction partagée et permettra d'avancer plus vite pour travailler sur d'autres composants fins du lait. Par ailleurs, les protéines identifiées ont été étudiées pour leur fromageabilité, on pourra aller plus loin en étudiant leurs autres bénéfices, en particulier santé.

Chef de file : philippe.grosperin@synergie-est.fr

Chef de projet : cecile.laithier@idele.fr

Responsable scientifique : agnes.delacroix-buchet@inra.fr

Animatrice : valerie.wolf@cel2590.fr

Les résultats ont été obtenus dans le cadre du programme FROM'MIR avec le soutien financier du ministère de l'Agriculture, de l'Agro-alimentaire et de la Forêt, du Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière (CNIEL), de l'Union Régionale des Fromages d'Appellation d'origine Comtois (URFAC) et de la région Bourgogne Franche-Comté.

