



La génomique au service de la fromageabilité du lait grâce aux spectres MIR

Marine Gelé (Idele),

Etienne Doligez et Emma Angeard (Littoral Normand),

Eloïse Modric Louër (Fromages AOP de Normandie),

Corentin Delaunay (OS Normande),

Matthieu Chambrial (Origen Normande),

Jean-Christophe Boittin (Synetics)



La fromageabilité du lait : un fort enjeu pour les filières laitières françaises

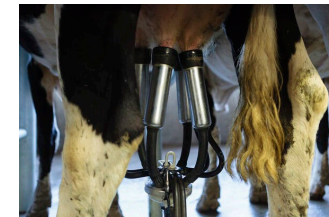
- 3^{ème} plus gros producteur de fromages au monde
- 47 fromages sous AOP dont 34 au lait de vache
- 16% des fromages sont au lait cru
- 1^{er} consommateur au monde avec 26 kg de fromage / personne / an



© D. MEIGNAN / CNIEL

➔ **35% du lait de vache est transformé en fromage par :**

- Plus de 2000 producteurs fermiers
 - Plus de 500 sites de productions industriels ou coopératifs
- ➔ 8 Milliards € de chiffre d'affaires annuel



© L. PAGE / CNIEL

La genèse de ces travaux

Observations et questionnements en Franche-Comté : malgré une hausse constante du taux protéique, les rendements fromagers sont inégaux ou diminuent



POURQUOI ÉTUDIER LA FROMAGEABILITÉ DES LAITS...



Produire des laits adaptés à leur finalité
Orienter les laits
Piloter les fabrications
Anticiper/Adapter les paramètres technologiques



Etudier l'opportunité d'utiliser la technologie MIR pour caractériser de manière rapide, peu coûteuse la fromageabilité des laits et connaître ses facteurs de variation

ET DANS UNE FILIÈRE AOP AU LAIT CRU...



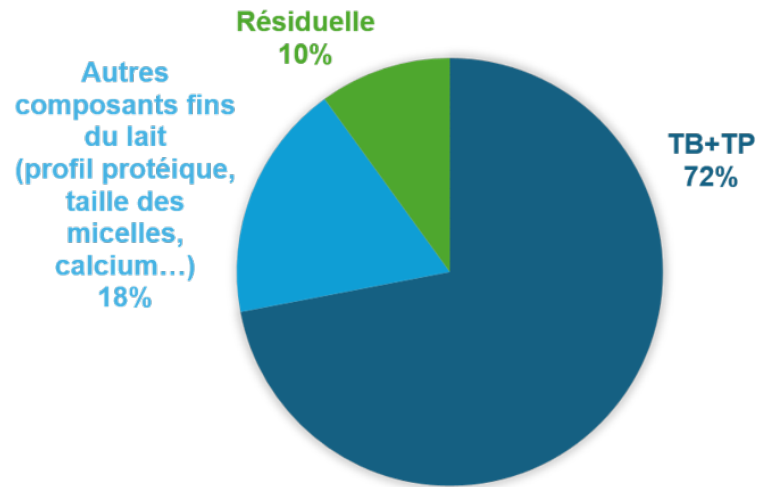
Cahiers des charges exigeants



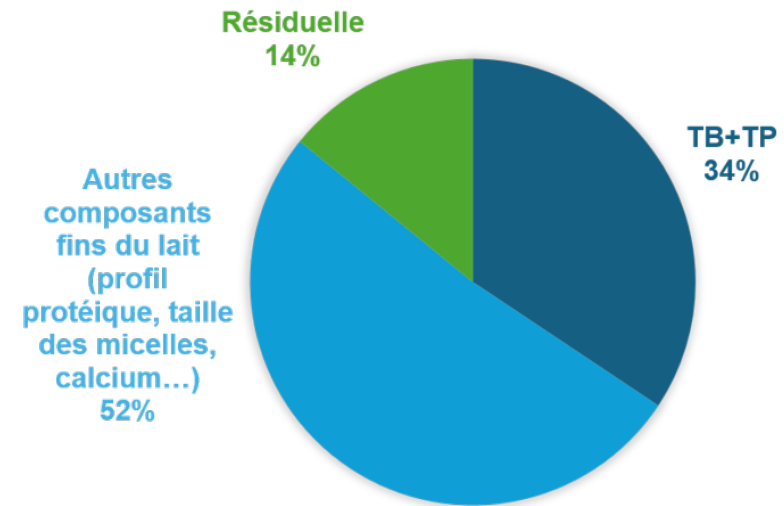
Limitation des traitements et des additifs

Le TB et le TP, ce n'est pas suffisant ?

*Explication de la variabilité du rendement Extrait
Sec labo (laits individuels)*



*Explication de la variabilité de la fermeté du gel pâtes
pressées cuites (laits individuels)*



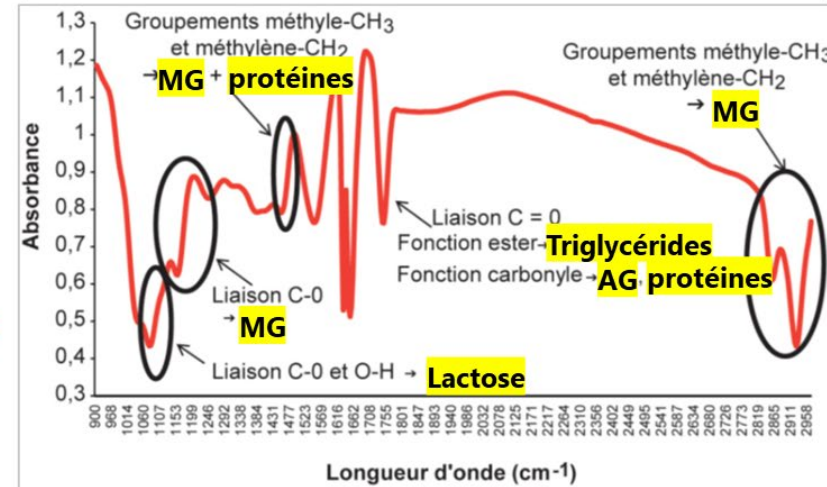
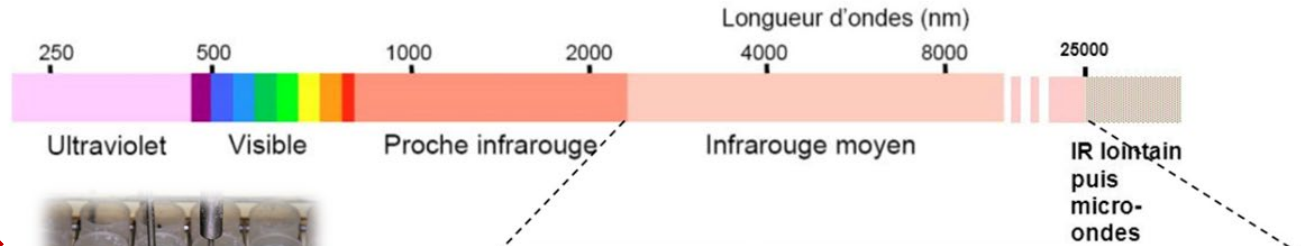
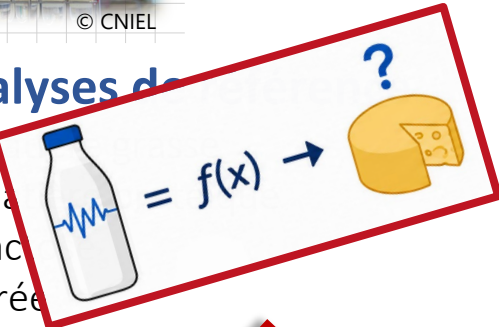
- La fromageabilité ne dépend pas que des taux du lait !
 - ✓ Autres composants influents, quelle que soit l'échelle et les paramètres de coagulation
 - ✓ Intérêt d'une estimation directe de la fromageabilité

Le spectre MIR, reflet de la composition physico-chimique du lait



Analyses de

- M...
- M...
- Lac...
- Urée
- Acides gras
- Caséines
- Minéraux...



$$Y_n = k_0 + \sum_{i=1}^n k_i \text{abs}_i$$

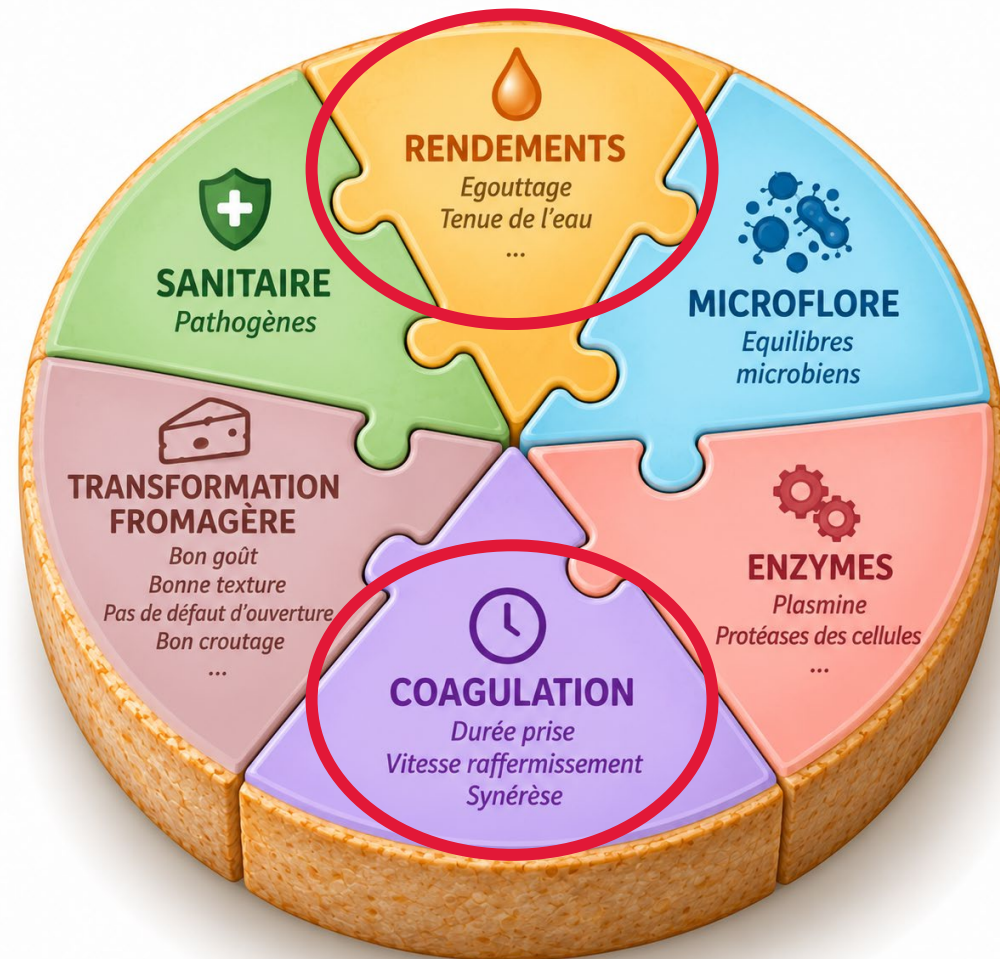
Prédiction de la composition fine des laits

- ✓ Rapide
- ✓ Non invasif
- ✓ Faible coût additionnel
- Utilisation en routine



Fromageabilité du lait : de quoi parle-t-on ?

**Aptitudes
nécessaires
pour élaborer
ou non la
qualité finale
des fromages**



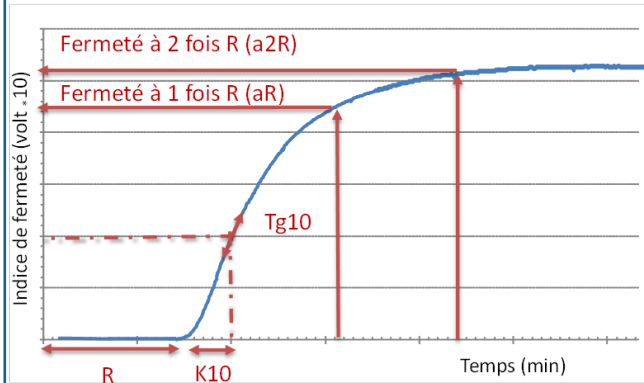
→ Equilibre
spécifique des
composés
chimiques,
microbiologiques
et enzymatiques
du lait cru

Les indicateurs FROM'MIR



Adéquation avec les rendements mesurés en conditions réelles de fabrication sur mini-fabrications réalisées avec technologies (ENILBio Poligny & INRAE)

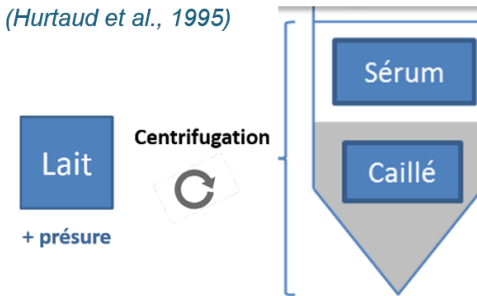
Coagulation enzymatique



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

Aptitude à l'égouttage physique Rendements de laboratoire

(Hurtaud et al., 1995)



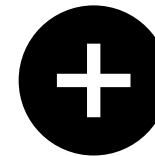
Rdt labo frais (%) : $(\text{Poids caillé} / \text{poids lait}) \times 100$

Rdt labo ES (%) : $1 - \left(\frac{\text{ES sérum} \times \text{poids sérum}}{\text{ES lait} \times \text{poids lait}} \right) \times 100$

ES : extrait sec

Une seule modalité d'emprésurage

- Temps de prise (**R**)
- Vitesse d'organisation du gel (**Tg10, K10/R**)
- Fermeté du gel (**aR, a2R**)
- Rendement frais (**Rdtfrais**)
- Rendement en extrait sec (**RdtES**)



$$Y_n = k_0 + \sum_{i=1}^n k_i \text{abs}_i$$

Les équations FROM'MIR

1 jeu d'équations par échelle applicables uniquement en race Montbéliarde dans le contexte AOP-IGP Franche-Comtois

N samples	
	250
	100
	70

N échantillons	
	724
	423
	185

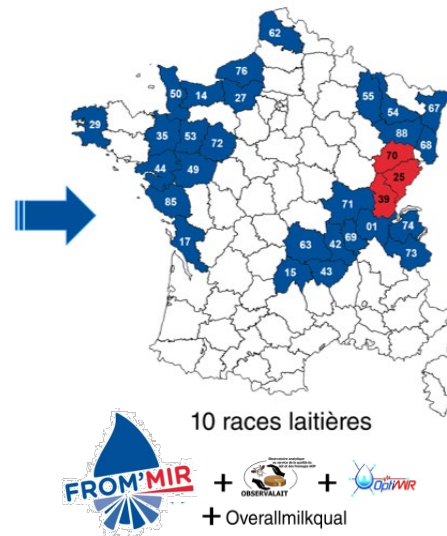
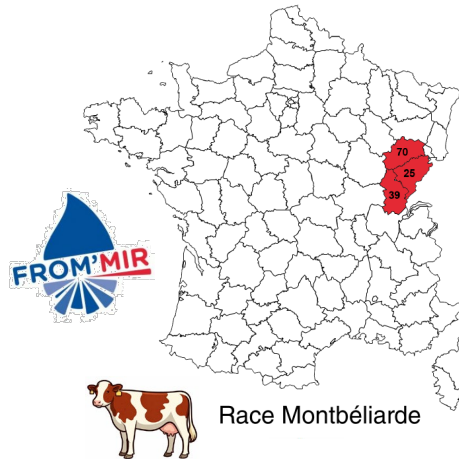
1 jeu unique d'équations applicable aux 3 échelles, et à des races et systèmes de production variés

Performances sur le jeu de validation

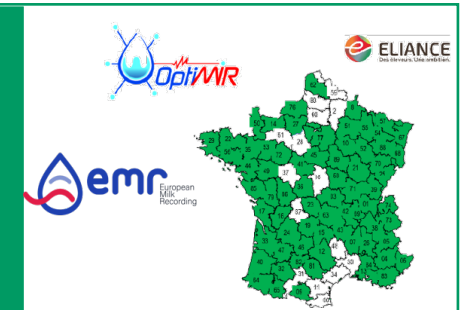
	N	R ²	RPD
Rdt _{frais}	351	0.82	2.37
Rdt _{ES}	353	0.88	2.88
aR _{PPC}	366	0.69	1.79
aR _{PM}	311	0.71	1.86
a2R _{PM}	308	0.68	1.78
K10/R _{PPC}	299	0.72	1.90

- R²: Part de la variabilité totale du caractère expliquée par l'équation
- Ratio Performance Déviation (RPD = sd/σ_e): Dispersion des données des valeurs de référence/erreur de prédiction

Excellent
Bon
Moyen
Mauvais

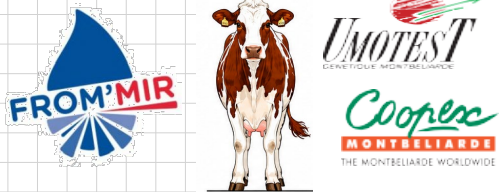


Equations implémentées dans le système d'information du consortium OptiMIR depuis 2019

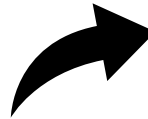




Vers une évaluation génomique des indicateurs FROM'MIR



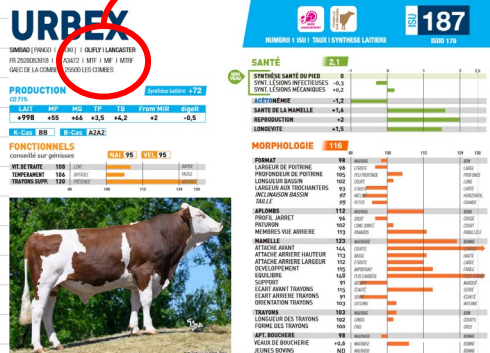
Un index génomique de synthèse est disponible en race Montbéliarde depuis 2022



Projet FROM4ALL (2024-2026)
Un projet partenarial porté par les Organismes de Sélection pour une évaluation génomique dans les autres races laitières



Démultiplier les travaux menés dans le projet **FROM'MIR** pour **8 races*** afin d'améliorer le potentiel technologique du lait et la qualité des produits laitiers en France.



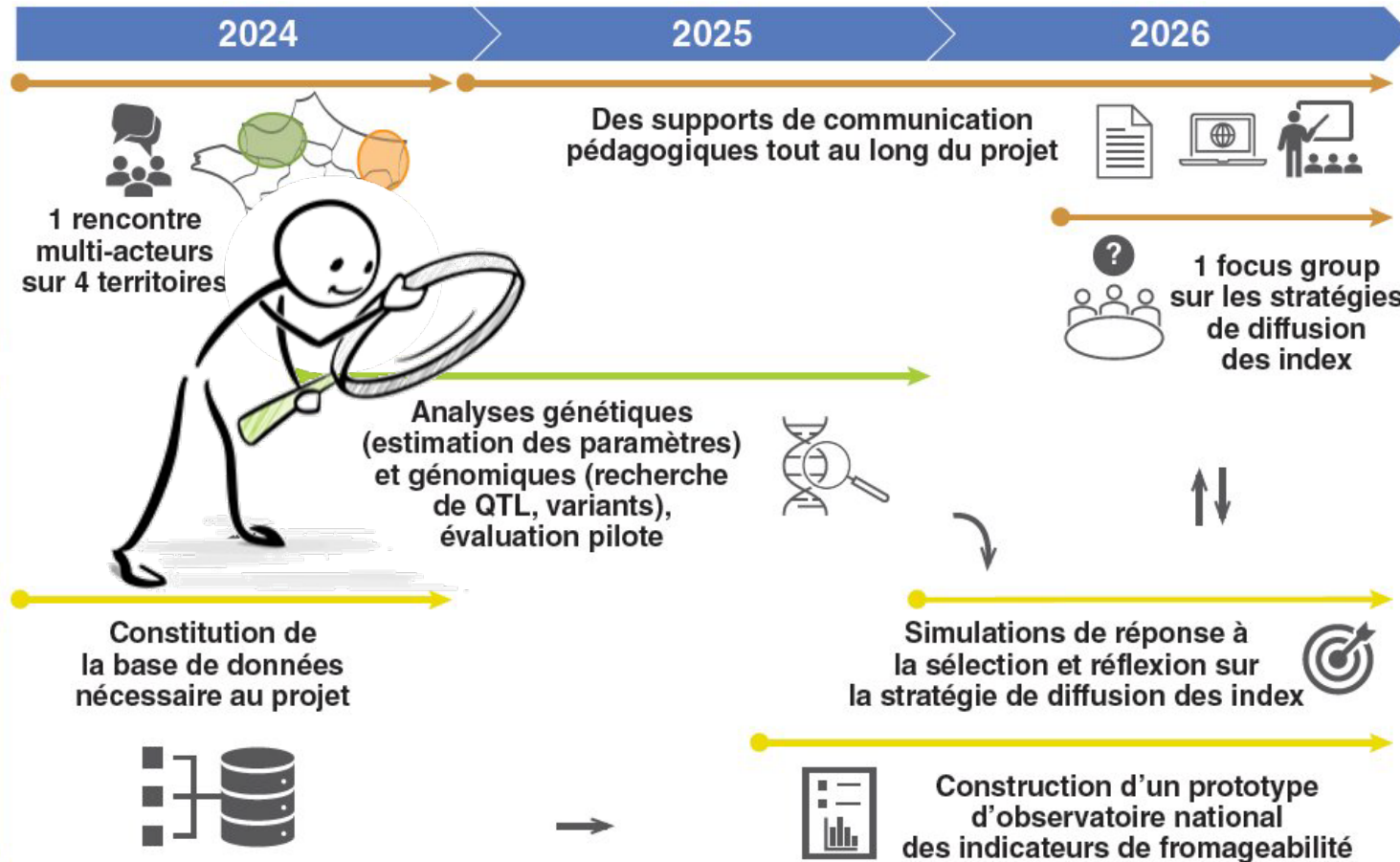
* Abondance, Brune, Jersiaise, Normande, Prim'Holstein, Simmental, Tarentaise, Vosgienne

Le projet FROM4ALL en actions

**Action 1 :
Concertation
multi-acteurs**

**Action 2 :
Analyse
génétique des
aptitudes
fromagères**

**Action 3 :
Valorisation des
indicateurs de
fromageabilité**

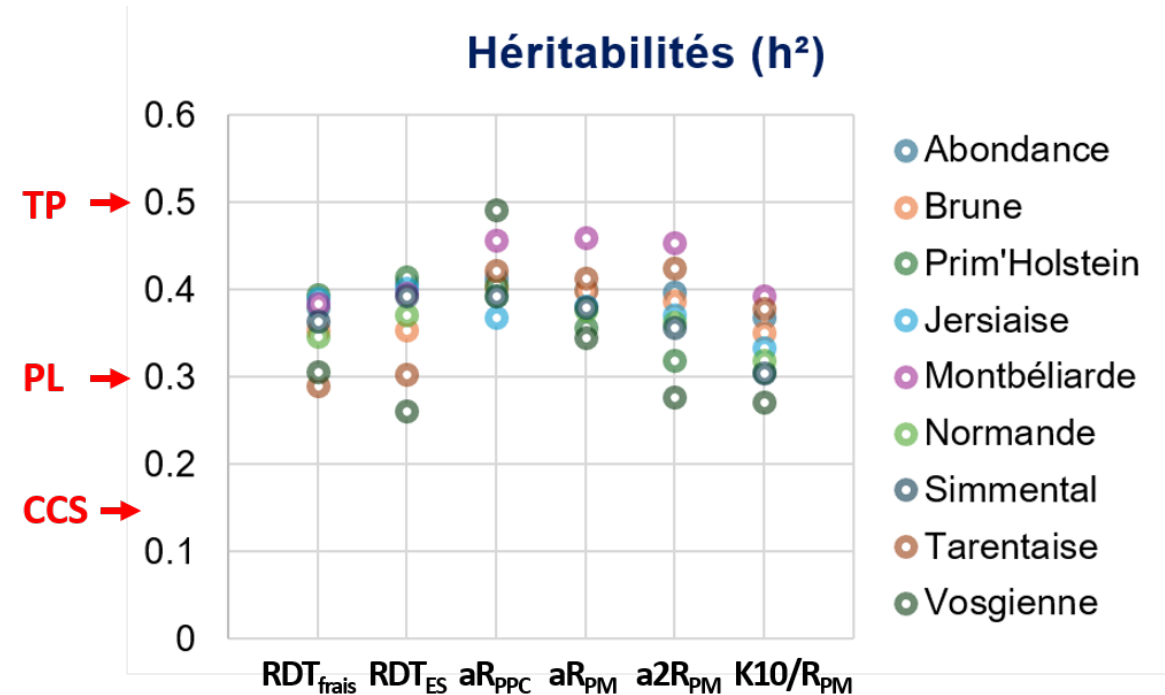


LIVRABLES

- Supports pédagogiques
- 1ère base pour des échanges entre les ≠ maillons des filières
- Paramètres génétiques des aptitudes fromagères pour chaque race
- Evaluation génétique pilote pour ces races
- Bases posées pour la diffusion des index
- Prototype d'un observatoire national

Un déterminisme génétique favorable à la sélection

- Héritabilités modérées à fortes et du même ordre de grandeur que TB et TP, sélectionnés efficacement depuis de nombreuses années
- **Corrélations génétiques :**
 - Fortes et positives entre indicateurs FROM'MIR (0,62 à 1)
 - Fortes et positives entre les indicateurs FROM'MIR et les taux (TB et TP, de 0,36 à 1)
 - Modérés et négatives entre les indicateurs FROM'MIR et la production laitière (-0,25 à -0,65)
 - Très faibles entre les indicateurs FROM'MIR et les CCS (-0.04)



Les caractères se transmettent à la descendance, sans impact négatif sur les caractères déjà sélectionnés

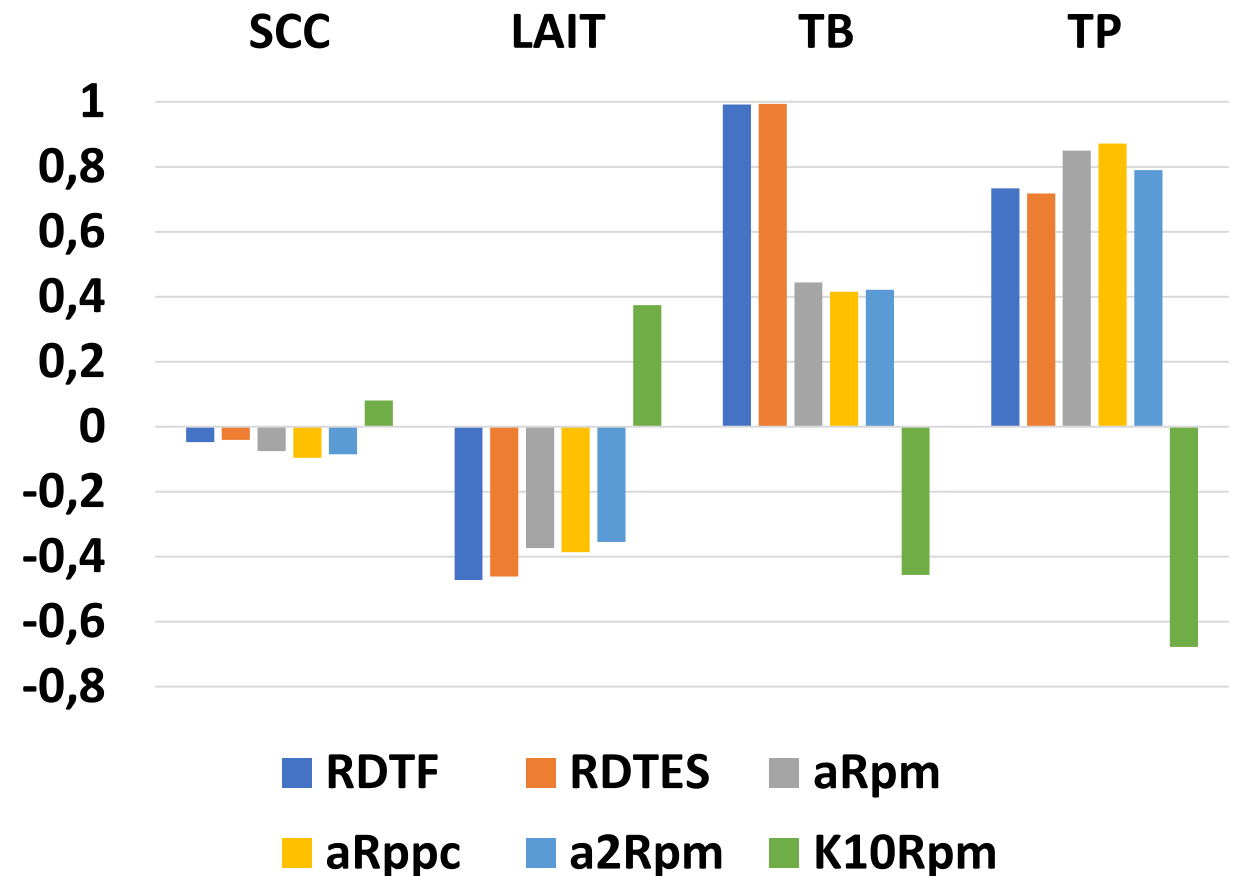
Focus sur la Normandie



• Héritabilités

Caractère	h^2
RDT _{Frais}	0.35
RDT _{ES}	0.37
aR _{pm}	0.38
aR _{ppc}	0.39
a2R _{pm}	0.36
K10R _{pm}	0.32
<i>SE entre 0.008 et 0.010</i>	

• Corrélations génétiques



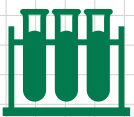
Nombre de données utilisées



4 152

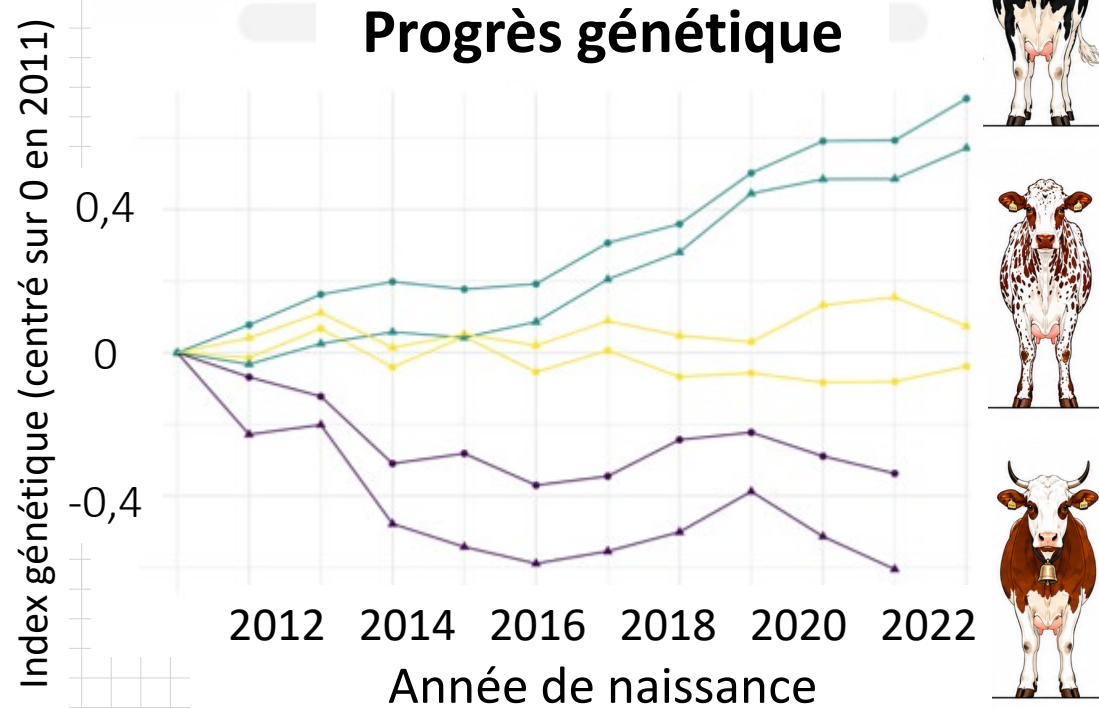


135 171



946 704

Implémentation d'une évaluation génomique pilote pour chaque race (single step)



Holstein

Normande

Abondance

Inclure les indicateurs FROM'MIR directement dans un objectif de sélection pourrait être profitable pour les filières fromagères



Focus group prévus en 2026 et 2027 pour déterminer la stratégie avec l'ensemble des races

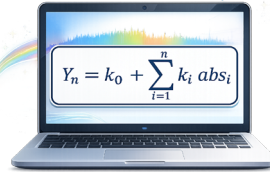


Caractère

● RDT_{ES}

▲ $a2R_{PM}$

Quelle suite donner à ces travaux ?



Equations de prédiction FROM'MIR

- utilisables dans différents contextes/ races/ échelles
- amènent une plus value au-delà des taux
- permettent une amélioration possible des rendements fromagers et des aptitudes à la coagulation par la sélection
- implémentées dans le système d'information du consortium OptiMIR depuis 2019

Des millions de spectres collectés en routine chaque année



Contrôle de performances : ~ 13 M spectres
(1.5 M VL dans 20,000 fermes)



Païement du lait à la qualité : ~ 8 M spectres
(44 000 fermes collectées toutes les 48h)



Analyses quotidiennes dans les ateliers de transformation

Des opportunités à tous les maillons : caractérisation du lait, sélection génétique, conseil en élevage, optimisation des process de transformation fromagère...

Regards croisés : quels usages pour ces nouveaux indicateurs en Normandie ?



Corentin
Delaunay

*Directeur de l'OS
Normande*



Matthieu
Chambrial

*Chef Produit Race
Normande*



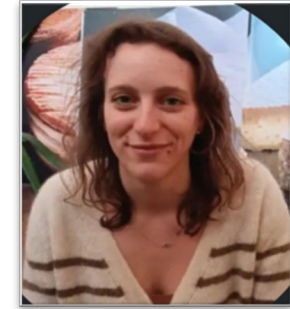
Jean-
Christophe
Boittin

*Responsable
Produits & Grands
Comptes*



Etienne
Doligez

*Responsable Pôle
Zootechnie,
Santé et R&D*



Eloïse
Modric
Louër

*Chargée de
mission R&D*



Les outils existent, il faut maintenant les déployer

Pour favoriser l'appropriation des indicateurs FROM'MIR par les utilisateurs cibles et leur intégration dans le conseil en élevage et en fromagerie :

- Besoin de produire des **références en conditions réelles de production** laitière et fromagère
- Besoin **d'accompagnement** et de **formations**
- Nécessite le **partage de données** de la production de lait à la production de fromage et nécessite la **collaboration** entre tous les maillons de la chaîne et l'implication des **filières**

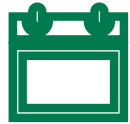


Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE,
DE L'AGRO-ALIMENTAIRE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



2026-2029

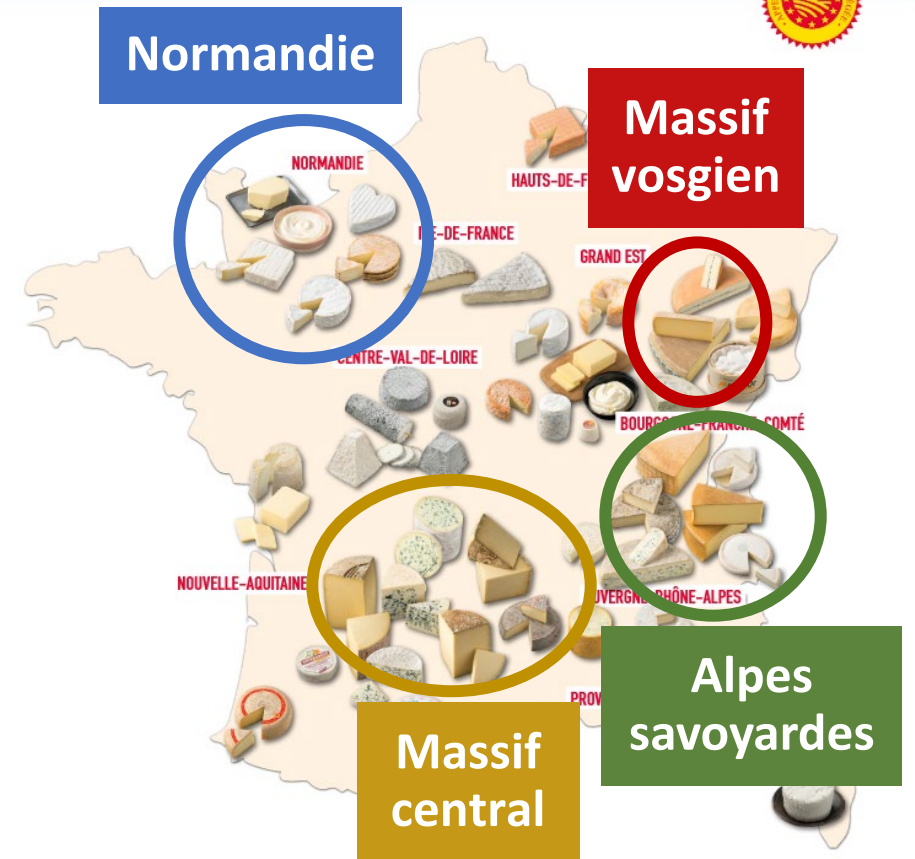


Assurer le déploiement des indicateurs FROM'MIR à d'autres zones fromagères françaises et d'accompagner leur utilisation



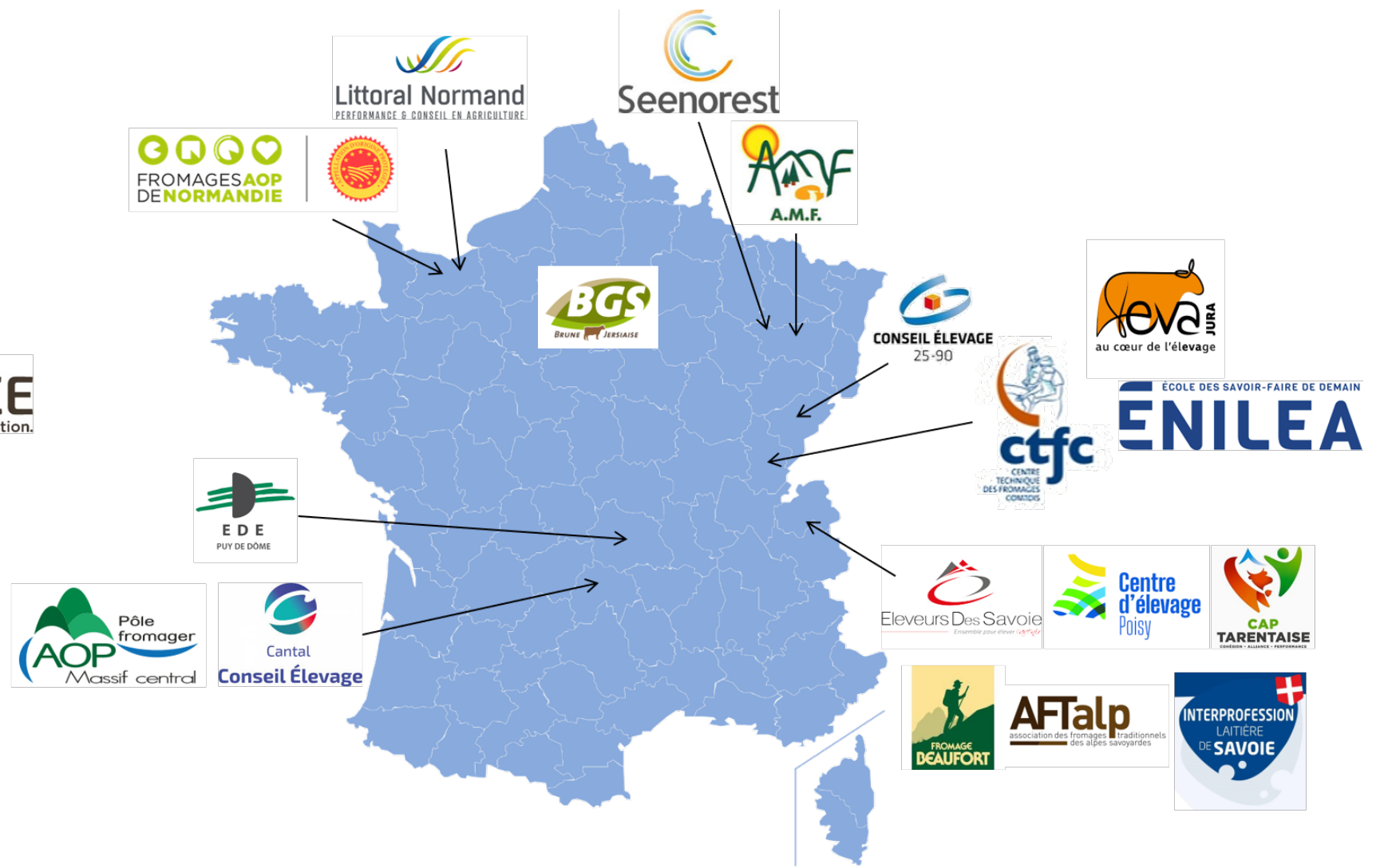
Approche collaborative territoriale avec 4 territoires de démonstration et une forte implication des filières fromagères

Carte de France des produits laitiers AOP





FromACT : les partenaires



Mobilisation
de
connaissances
existantes

Capitalisation
sur
l'expérience
Franc-
Comtoise

Suivis
d'ateliers
pilotes
industriels et
fermiers

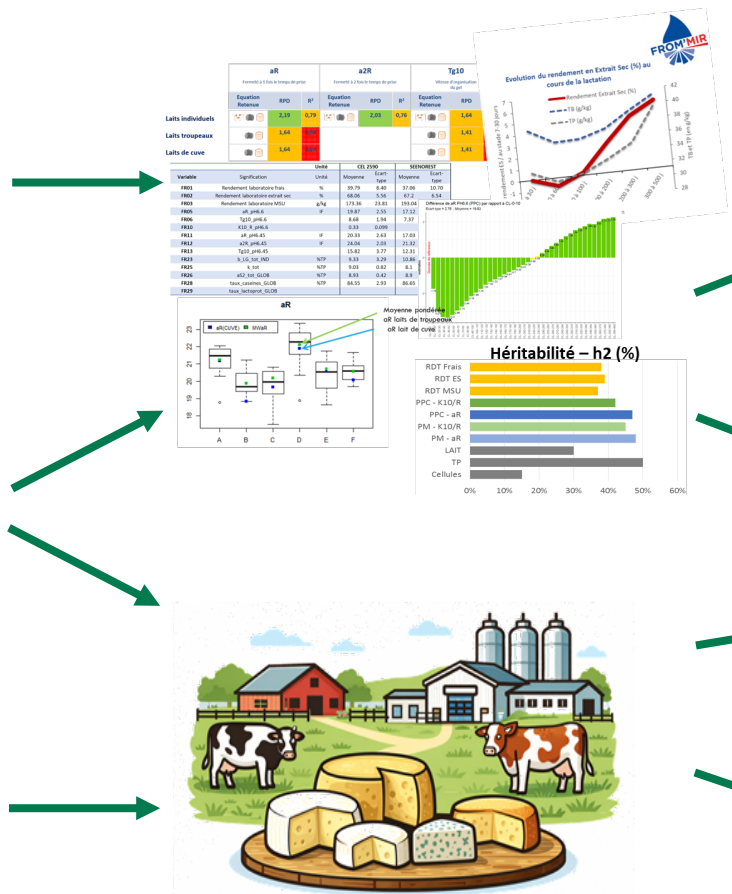
Conférence Space 2026

FromACT : les livrables attendus



Pour qui ?

- Producteurs de lait
- Fromagers
- Conseillers
- Laboratoires
- Formateurs



Des références
pour interpréter
ces nouveaux
indicateurs

Démonstration
de la plus-value
apportée

Témoignage sur
leur utilisation

Référentiels

Démarche
d'accompa-
gnement

Supports de
formation

FromACT en Normandie

Tester en conditions réelles l'intérêt des indicateurs FROM'MIR
de la ferme à la fromagerie :

Quel pilotage de la fromageabilité ? Adaptation des « rations » ?

Orientation de la sélection du troupeau ?

Les 4 actions du projet

1

Mise en réseau des
acteurs locaux



2

Démonstrations terrain
(fermes & laiteries)



3

Index génomiques
FROM'MIR



4

Conseil & formation



FromACT en Normandie

Dispositif expérimental sur ≈ 1 an

- Sélection de **8 fermes pilotes**
 - Fromagerie Réo, située à Lessay (Manche) → transformation du lait en Camembert de Normandie AOP
 - Ferme de St Hippolyte, située à Saint Martin de la Lieue (Calvados) → transformation fermière Pont L'Evêque

Suivis réalisés en élevage :

- Données laits de tank (toutes les 48h)
- Données de contrôle de performances
- Indicateurs FROM'MIR sur lait
- Pratiques d'élevage

Suivis réalisés en fromagerie :

- Rendement fromager
- Pertes / gains
- Suivi de la transformation

Suivis réalisés par Littoral Normand et l'ODG Fromages AOP de Normandie



A retenir

- **Le MIR**, dont les avantages sont reconnus (pas €, rapide, déjà utilisé en routine) est aujourd'hui exploitable **pour estimer les aptitudes à la coagulation du lait et les rendements fromagers**
- **Les équations sont utilisables dans différents contextes** : races, systèmes de production, échelles
- Des systèmes d'informations (OptiMIR) permettent le **calcul de ces indicateurs en routine ou sur demande**
- **Des projets visant à déployer les indicateurs à grande échelle** sont en cours, et impliquent des acteurs de tous les maillons des filières de transformation ("depuis le tank à la ferme jusqu'au fromage")

*Remerciements à l'ensemble des partenaires et acteurs des projets
FROM'MIR, Observalait, OptiMIR, FROM4ALL et FromACT*

Avez-vous des questions ?



CONTACTS :



Marine Gelé
(marine.gele@idele.fr)

Delphine Duclos
(delphine.duclos@idele.fr)

Merci de votre attention

Retrouvez les diaporamas de nos conférences
sur **idele.fr**



Venez échanger avec nos ingénieurs
sur notre
stand B08 (Hall 6)

