

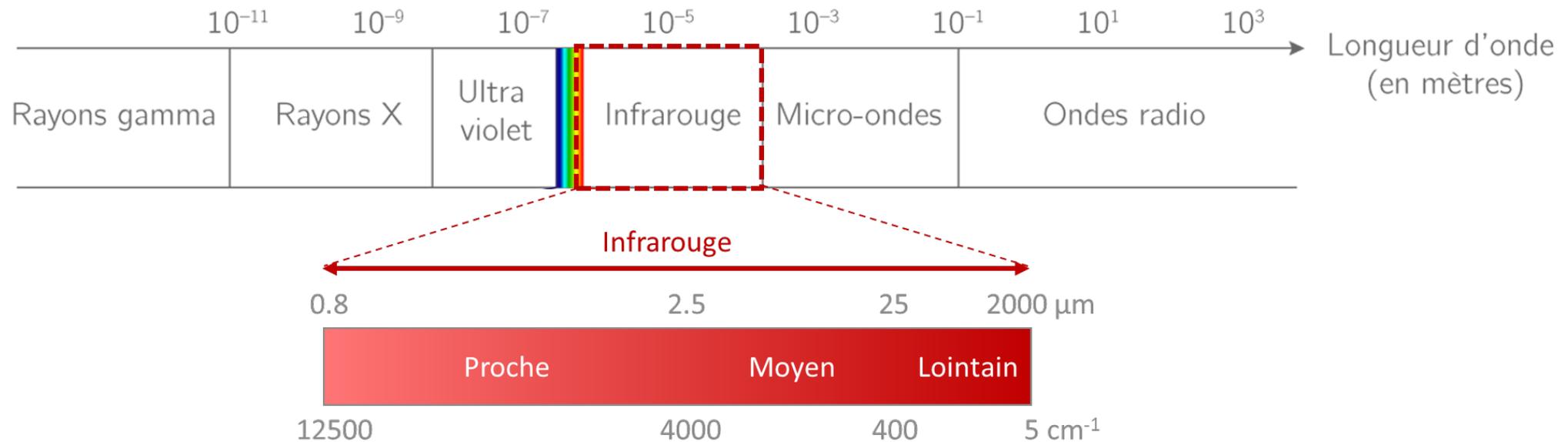
Une technologie ancienne mais de nouvelles utilisations : intérêt de la Spectrométrie Moyen Infrarouge pour le pilotage du troupeau laitier

Marine Gelé

Institut de l'Élevage

Webinaire AFZ – 28 mai 2024

Le rayonnement infrarouge : rayonnement électromagnétique de longueur d'onde supérieure à celle du spectre visible



Proche infrarouge (SPIR)

Near Infrared (NIR)

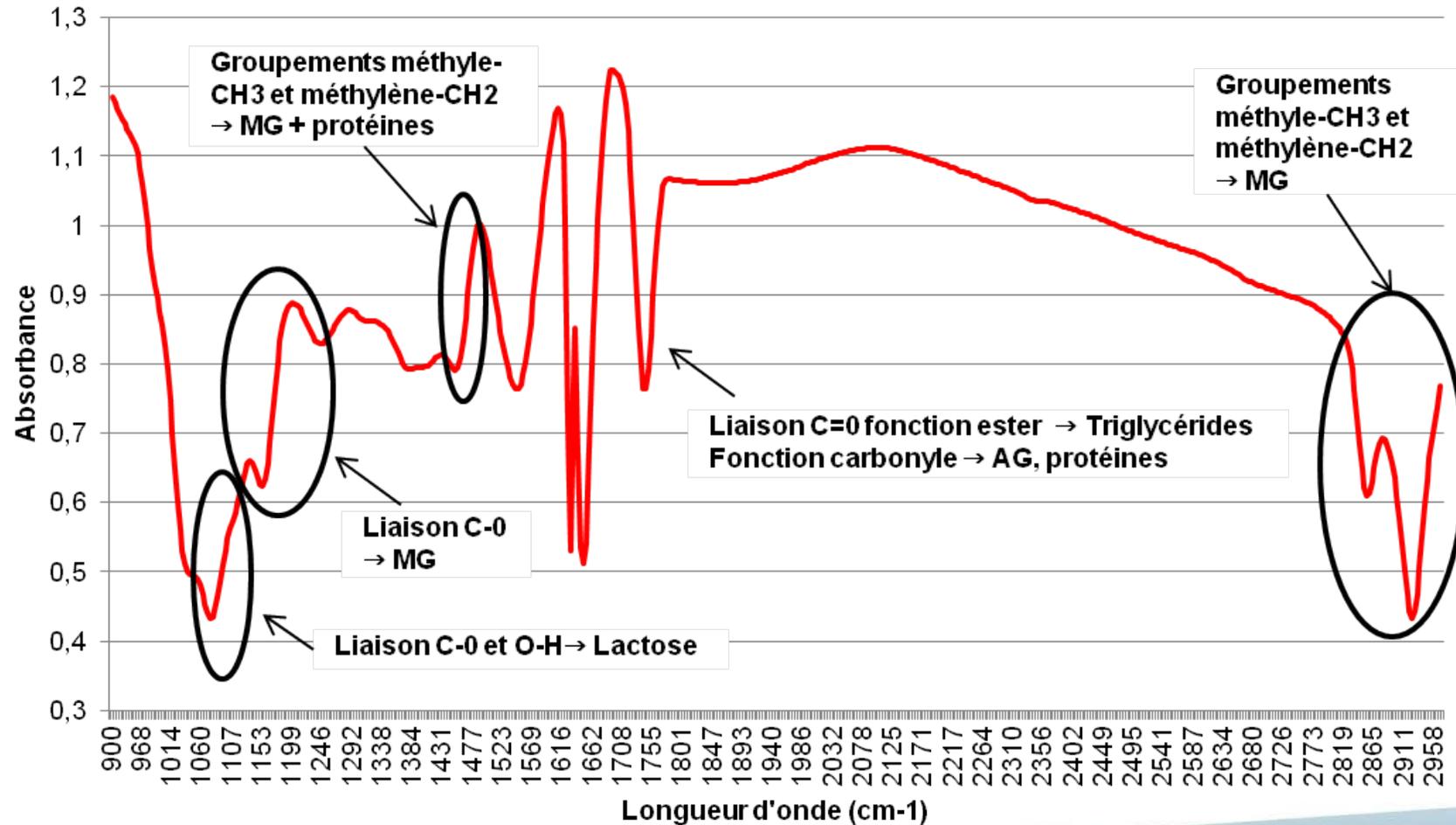
- ✓ Matrices solides et liquides
- ✓ Analyses de fourrages
- ✓ Analyses de fèces
- ✓ Analyses de lait

Moyen infrarouge (MIR)

Mid Infrared (MIR)

- ✓ Matrices liquides
- ✓ Permet la détection de changements dans la composition chimique de la matrice

Les groupements fonctionnels des composants du lait absorbent la lumière à différentes longueurs d'onde qui leur sont spécifiques



Une technologie ancienne avec des applications quotidiennes



Contrôle de performances Officiel :

- ✓ 25 258 élevages
- ✓ 1,9 millions de vaches contrôlées
- ✓ 15 millions d'analyses de lait
- ✓ Quantification du taux butyreux, taux protéique, urée, lactose
- ✓ Autres composants du lait mesurés selon services proposés par les ECEL

Source : Résultats de Contrôle Laitier –
espèce bovine France 2023, IDELE

Paiement du lait à la qualité :

- ✓ 54 000 producteurs livreurs
- ✓ 1 échantillon prélevé à chaque collecte de lait sur la ferme (en moy. toutes les 48h)
- ✓ Détermination du taux butyreux, taux protéique, niveau de lipolyse, point de congélation des laits de tank

Source : Cniel



Programmes fondateurs

2006

J. Dairy Sci. 89:3690-3695
© American Dairy Science Association, 2006.

Estimating Fatty Acid Content in Cow Milk Using Mid-Infrared Spectrometry

H. Soyeurt,^{*1,2} P. Dardenne,[‡] F. Dehareng,[‡] G. Lognay,^{*2} D. Veselko,[§] M. Martlier,^{*2} C. Bertozzi,[#] P. Mayeres,^{*#2} and N. Gangler^{||2}

*Gemboux Agricultural University, B-5030 Gembloux, Belgium
‡Fonds pour la Formation à la Recherche dans l'Industrie et l'Agriculture (FRIA), B-1000 Brussels, Belgium
‡Wallon Agricultural Research Centre, Quality Department, B-5030 Gembloux, Belgium
§Milk Committee, B-4651 Battice, Belgium
#Wallon Breeders Association, B-5530 Ciney, Belgium
||National Fund for Scientific Research, B-1000 Brussels, Belgium

Quantification des acides gras par le spectre MIR (Soyeurt et al. 2006)

2008-2012

Phénofinlait

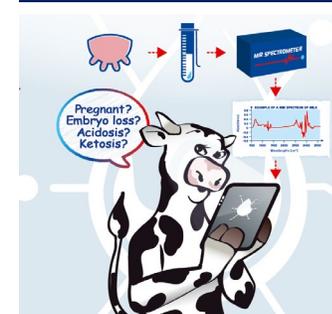
Un programme R&D pour les filières laitières de demain

1er programme en France à utiliser les spectres MIR pour prédire les composants du lait (acides gras, protéines)

2011-2015



1er programme européen (6 pays) à utiliser les spectres MIR pour prédire un statut de l'animal



Projets de recherche

Autres composants du lait : minéraux; fractions protéiques, corps cétoniques, métabolites

Caractères de transformation du lait : fromageabilité, lipolyse

Caractères de santé et de bien-être : cétose, acidose, mammites, déficit énergétique, boiteries, reproduction...

Caractères liés à l'impact environnemental (méthane) et l'optimisation des ressources (efficience alimentaire)

Démarches collectives internationales

2015

Création du réseau européen EMR

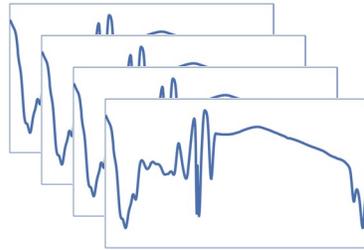


2022

Création du groupe ExtraMIR conjoint IDF / ICAR



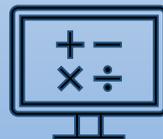
Extraction des spectres MIR



Jeu d'étalonnage:
quelques centaines de
laits individuels



Donnée de référence
pour le caractère:
analyse, diagnostic...

 **Modèle
statistique**

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

Banque de données
spectrales: spectres
MIR de laits pour
lesquels on ne
dispose pas de la
donnée de référence



Validation croisée ou
externe de l'équation

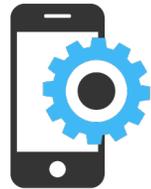
Estimation du
caractère d'intérêt 



LA SPECTROMÉTRIE MIR EN ÉLEVAGE LAITIER

Un outil puissant permettant de nombreuses utilisations en élevage

Aide à la décision et le conseil aux éleveurs pour la conduite des animaux et la valorisation du lait



Des informations en temps réel ou presque

Déficit énergétique (% AG oléique VL < 100 jours)



Outil Mil'Klic

De nombreux intérêts

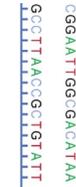
- ✓ Rapide
- ✓ Non invasif
- ✓ Faible coût additionnel



→ Permet un phénotypage en routine et à haut débit

Sélection génomique de nouveaux caractères

A l'heure de la génomique ...
Le phénotype est roi !



Valeurs génétiques obtenues à partir de spectres MIR

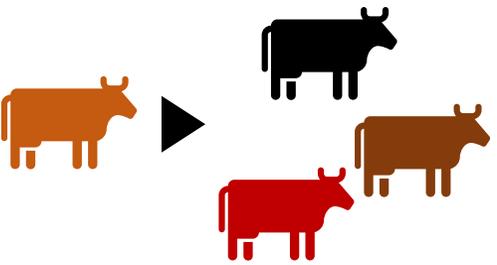




Acétonémie



**Fromageabilité
du lait**



**Emissions
de méthane
entérique**



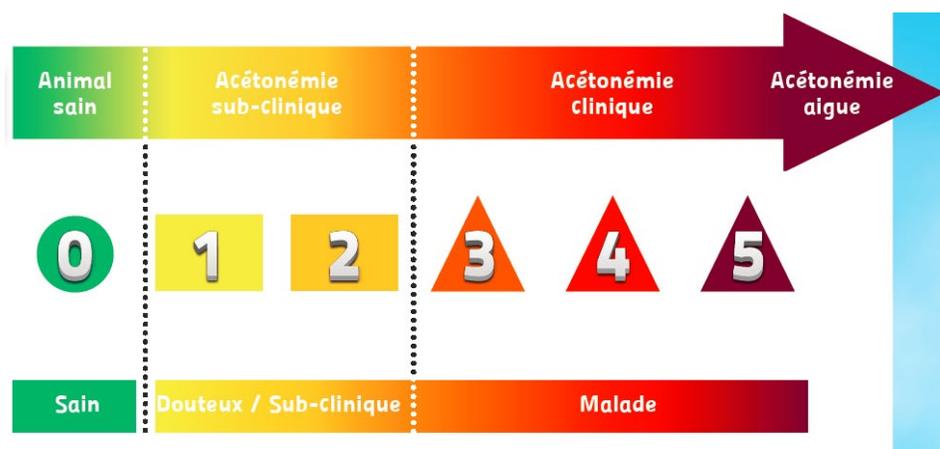
**Approche
holistique**





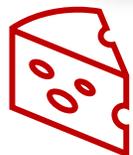
2 outils de conseil en France à partir des échantillons de contrôle de performance

- **CétoMIR®** : estime le risque de cétose en début de lactation à partir des équations OptiMIR (**1584 élevages en 2022, source : Eliance**)
- **CétoDetect®** : estime le risque de cétose à partir des caractéristiques zootechniques individuelles des vaches et l'analyse infra-rouge des corps cétoniques (**8170 élevages en 2022, source : Eliance**)



et un index génomique
depuis 2016 en races
Holstein et Normande, et
2022 en race
Montbéliarde





De l'échelle pilote franc-comtoise au déploiement national

2014-2018

1ères équations MIR (laits individuels, troupeaux, cuves)

- ✓ Rendement de laboratoire
- ✓ Aptitude à la coagulation enzymatique



2019-2021

Enrichissement de la base de calibration pour consolider et valider les équations sur :

- ✓ 10 races laitières
- ✓ Autres contextes de production hors AOP/IGP de Franche-Comté



+ Overallmilkqual

2022

Diffusion d'un index génomique de fromageabilité en race Montbéliarde



2024-2026

Projet FROM4ALL pour une évaluation génomique dans les autres races laitières





Différentes équations existantes à partir des acides gras du lait, puis à partir des spectres MIR (1^{ère} publication : Dehareng et al., 2015 à partir CH4 mesuré en chambres respiratoires ou avec gaz SF6)

➔ **Le challenge = collecter de nouvelles données de référence**

2 projets d'envergure pour développer une nouvelle équation à partir de données de GreenFeed



**Méthabreed
(2018-2024)**

Equations de prédiction des émissions de CH4 entérique mesurées par GreenFeed, via l'analyse des **spectres MIR du lait**



1^{ère} évaluation génomique pilote distribuée aux OS/ES fin mars 2024



(2024-2026)

Augmentation de la taille et de la diversité de la population de calibration, pour améliorer les équations Méthabreed

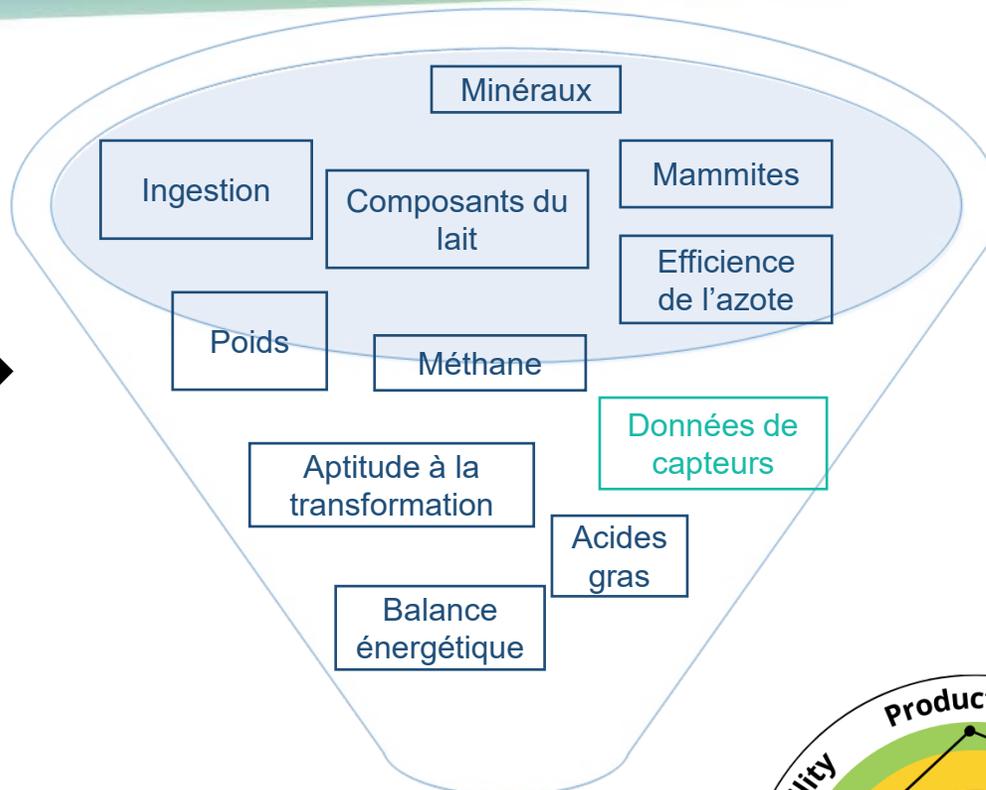


Prédiction en bovins allaitants partir des SPIR des fèces

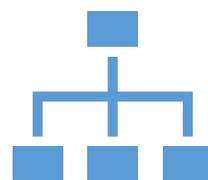
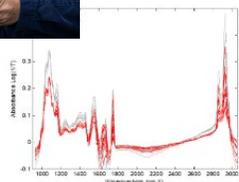




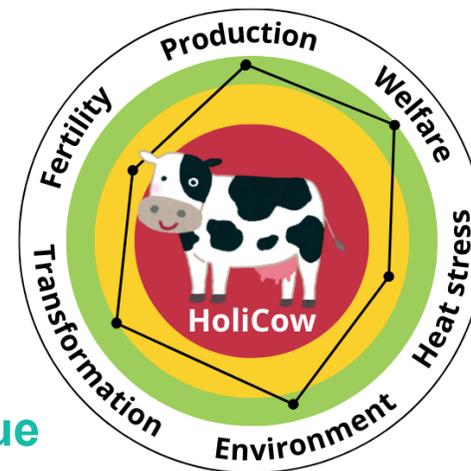
Application sur les spectres de la base de données transnationale



200 équations développées dans les projets passés



Clustering → diagnostic holistique



Outils d'aide à la décision pour les éleveurs



Pour augmenter les chances de réussite



- Les variations du caractère à calibrer doivent avoir un **impact sur le spectre**
- La méthode **d'analyse d'ancrage** doit être fiable
- Le **jeu de données de calibration** doit avoir une taille et une variabilité suffisante, et être équilibré
- Les **méthodes statistiques** utilisées doivent être adaptées à ce type de données
- Les modèles doivent être testés sur un jeu de données de **validation** représentatif de la population sur laquelle ils vont être appliqués

- Les spectres doivent être **standardisés** pour corriger la déviation dans le temps, entre machines et entre fabricants de machines



J. Dairy Sci. 98:2150–2160
<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8764>
© American Dairy Science Association®, 2015.

Standardization of milk mid-infrared spectra from a European dairy network

C. Grelet,¹ J. A. Fernández Pierna,¹ P. Dardenne, V. Baeten, and F. Dehareng²
Walloon Agricultural Research Center, Valorisation of Agricultural Products Department, 24 Chaussée de Namur, 5030 Gembloux, Belgium





La spectrométrie à la croisée des grands enjeux de l'élevage laitier

- ✓ Un outil rapide, peu coûteux, utilisable à grande échelle
- ✓ Permet l'acquisition de phénotypes de manière standardisée
- ✓ A la base de nombreuses applications : outils d'aide à la décision, index génomiques...
- ✓ Une coopération internationale permettant de fiabiliser son utilisation
- ✓ Des applications à développer en petits ruminants
- ✓ Un challenge à relever : déployer des équations aux échelles troupeau et cuve



Merci pour votre attention

Des questions ?

marine.gele@idele.fr



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINÉTÉ
ALIMENTAIRE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

