

# PhénoFinlait

 Un programme R&D  
pour les filières laitières de demain

→ *Phénotypage et génotypage pour la compréhension  
et la maîtrise de la composition fine du lait*

## Outils et perspectives en filière ovine laitière : fruits de 5 ans de recherche



**CNBL**  
Comité National Brebis Laitières

**LABOGENA**

  
FRANCE  
**CONSEIL ÉLEVAGE**  
Donner du sens à la mesure

  
**Cniel**  
Centre national interprofessionnel  
de l'économie laitière

  
**Actilait**

  
**UNCEIA**  
le réseau de la génétique animale

  
**Capgenes**

  
**INRA**

  
**INSTITUT DE  
L'ÉLEVAGE**



## « La filière laitière dispose à présent d'une boîte à outils »

Patrick Ramet, éleveur de vaches laitières en Haute-Savoie, Vice-Président de la FNPL, Membre du Conseil d'Administration du Cniel.



PhénoFinlait est un programme de recherche d'envergure nationale pour nos filières laitières bovines, ovines et caprines. PhénoFinlait est riche de par les connaissances scientifiques créées mais également de par les outils qu'il offre à la filière laitière : analyse en routine de la composition fine du lait en acides gras et protéines, génotypage de femelles laitières afin de constituer une première population de référence pour construire des index génomiques des animaux sur ces caractères de composition fine des laits, enrichissement du conseil en élevage. La filière laitière dispose à présent d'une boîte à outils pour optimiser les leviers que sont l'alimentation et la génétique. Ces outils sont essentiels. Ils doivent nous aider à répondre aux attentes des consommateurs mais aussi à relever les défis de la compétitivité de la filière et de la qualité des produits laitiers.



Les attentes des consommateurs s'orientent vers la recherche d'aliments satisfaisant un nombre croissant d'exigences de « qualité » : organoleptique, sanitaire, nutritionnelle ou de santé. Le lait est très souvent, à tort, mal considéré en raison notamment de sa proportion élevée en acides gras saturés. Pourtant, ce regard oublie que la matière grasse laitière présente un profil en acides gras spécifique qui lui confère des aspects nutritionnels intéressants et favorables.

La connaissance et la maîtrise de la composition fine des laits sont donc des sujets stratégiques pour l'avenir de la consommation de lait et de produits laitiers. L'enjeu est de décrire et comprendre la composition en acides gras et protéines des laits produits dans les exploitations françaises, dans le but de développer des outils de conduite d'élevage permettant d'assurer la maîtrise des constituants du lait à la ferme.

Le programme PhénoFinlait a mesuré, à grande échelle, la teneur en différents acides gras et protéines des laits de vaches, brebis et chèvres de différentes races dans différentes régions afin de déterminer les effets de l'alimentation et de la génétique sur cette composition.

## Vers une connaissance plus fine des produits

pour + de résultats sur vos races  
[www.phenofinlait.fr](http://www.phenofinlait.fr)

### SOMMAIRE

PhénoFinlait : de l'idée à la mise en œuvre .....	p. 04
Une collecte ambitieuse .....	p. 06
L'estimation des acides gras et des protéines en routine .....	p. 08
Systèmes d'élevage français et composition en acides gras .....	p. 10
Génétique, génomique et composition fine du lait en acides gras .....	p. 14
PhénoFinlait : perspectives d'applications pour aujourd'hui et pour demain .....	p. 16
Pour en savoir plus.....	p. 18



# PHÉNOFINLAIT : DE L'IDÉE À LA MISE EN ŒUVRE

## → TOUTE UNE FILIÈRE ORGANISÉE DANS UN PROJET COMMUN

### Une base de données complexe et complète

La base de données PhénoFinlait (BD PFL) a été constituée pour regrouper l'ensemble des informations collectées au cours de ce programme, de l'identité de l'animal à la composition du lait, en passant par les performances de production, provenant du système national d'information génétique (SNIG).

Les échantillons de lait du contrôle laitier officiel ont été analysés par spectrométrie dans le moyen infrarouge (MIR). Le spectre obtenu a été stocké ; il sert à estimer les teneurs en acides gras et protéines à partir d'équations (cf. pages 8-9).

### Une organisation rigoureuse pour stocker de nombreuses données très diverses

Une enquête d'alimentation a été réalisée à chaque contrôle laitier officiel, par le **technicien des Entreprises de Conseil en Élevage**, pour décrire les quantités et natures d'aliments distribués. Des échantillons de lait de tank ont été prélevés par ces mêmes techniciens, un en hiver et un au printemps, et congelés pour analyse par l'**Inra de Theix**.

Lors d'un contrôle officiel, un échantillon de lait de chaque femelle a été divisé en trois et conditionné par les **Laboratoires d'analyse**, puis congelés dans une **Lactobanque** pour permettre des travaux ultérieurs, en fonction des avancées de la connaissance ou des capacités analytiques.

Des laits « témoins », préparés par **Actilait**, ont régulièrement été analysés par tous les Laboratoires partenaires pour harmoniser entre eux, et au cours du temps, les spectres MIR obtenus par différents analyseurs.

Un prélèvement de sang a été effectué, par les techniciens des **Entreprises de Mise en Place (EMP)**, en cours d'hiver sur une partie des femelles en vue d'un génotypage par **Labogéna**.

L'**Institut de l'Élevage** a assuré le suivi de toutes ces données et a régulièrement informé les partenaires du nombre et de la qualité des données arrivant dans la BD PFL.

## → DE NOMBREUX TECHNICIENS MOBILISÉS EN ÉLEVAGE PENDANT 1 AN

### Récolter du lait produit sur différents régimes et saisons

Pour mieux connaître le lait produit dans les fermes françaises, il a été choisi de travailler sur les deux principales races ovines : la race lacaune dans le Rayon de Roquefort et la race manech tête rousse dans les Pyrénées-Atlantiques, en cherchant à suivre des élevages dans des conditions environnementales variées.

La volonté a été d'obtenir du lait provenant de rations différentes, à base de fourrages stockés ou de pâturage. De même, il a été recherché du lait à différents stades de lactation.

Pour cela, le protocole de collecte des données dans un troupeau débutait en hiver, de façon à disposer de deux à trois prélèvements individuels hivernaux sur le maximum de brebis.

La collecte d'échantillons s'est poursuivie en période de pâturage, pour diversifier les régimes alimentaires étudiés, pour capter des stades de lactation plus avancés et appréhender d'éventuels effets liés à la saison. Deux à trois échantillons répartis sur le printemps ont été prélevés.

### L'association de métiers très différents et complémentaires

Les partenaires ayant participé à la collecte d'informations ont fourni un travail important et de précision, faisant appel à l'expertise de chacun dans son métier. La collaboration de tous ces métiers a permis de constituer une base de données riche et solide.

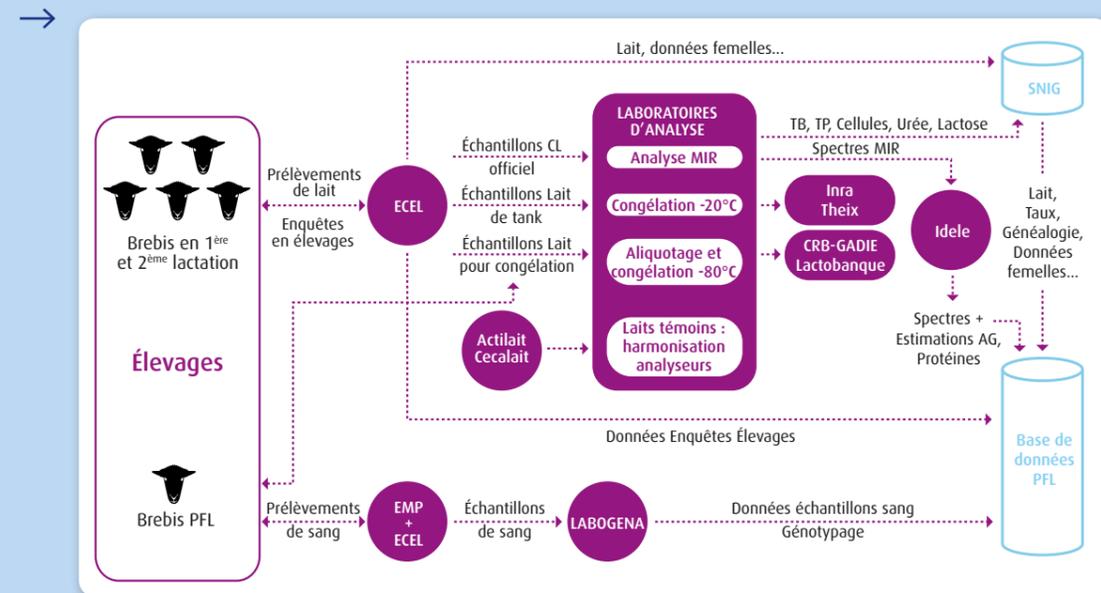
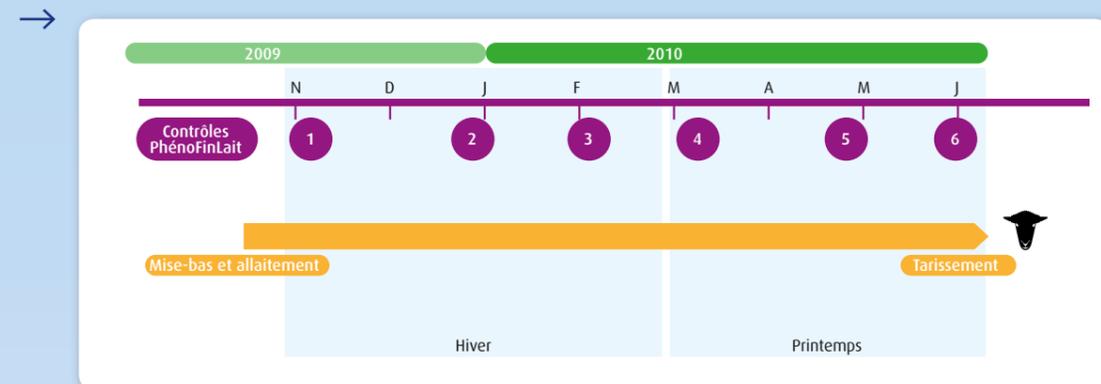


Schéma général de la collecte des données

CL : Contrôle Laitier  
CRB-GADIE : Centre de Ressources Biologiques pour la Génétique des Animaux Domestiques et d'Intérêt Économique  
ECEL : Entreprises de Conseil en Élevage Laitier  
EMP : Entreprises de Mise en Place  
Idele : Institut de l'Élevage  
MIR : Moyen infrarouge  
SNIG : Système National d'Information Génétique



Collecte de laits à des stades variés de lactation

## UNE COLLECTE AMBITIEUSE

### → LES ÉLEVAGES

S'étalant sur 3 départements des bassins de Roquefort et des Pyrénées-Atlantiques, la collecte a concerné près de 34 000 brebis réparties dans 160 élevages.

L'enregistrement concomitant des performances des animaux (lait, TB, TP et composition fine) et de l'alimentation au travers d'enquêtes alimentaires détaillées a permis de capter les effets de la variabilité des systèmes d'alimentation. La connaissance précise de l'alimentation des animaux tant au niveau de la nature des fourrages et des concentrés utilisés que de leurs parts dans les rations distribuées constituera une base de référence qui viendra enrichir le conseil en élevage dans le domaine de la composition fine du lait.

### → LES RACES

Le dispositif de collecte a été construit de manière à disposer d'un effectif d'animaux suffisant pour chacune des deux principales races ovines laitières. Pour chaque race, des échantillons ont été collectés dans chaque bassin où elle est présente.

Il a ainsi permis de montrer les effets de la variabilité des systèmes alimentaires sur les performances et la composition du lait des différentes races.

### → LES ENQUÊTES D'ALIMENTATION

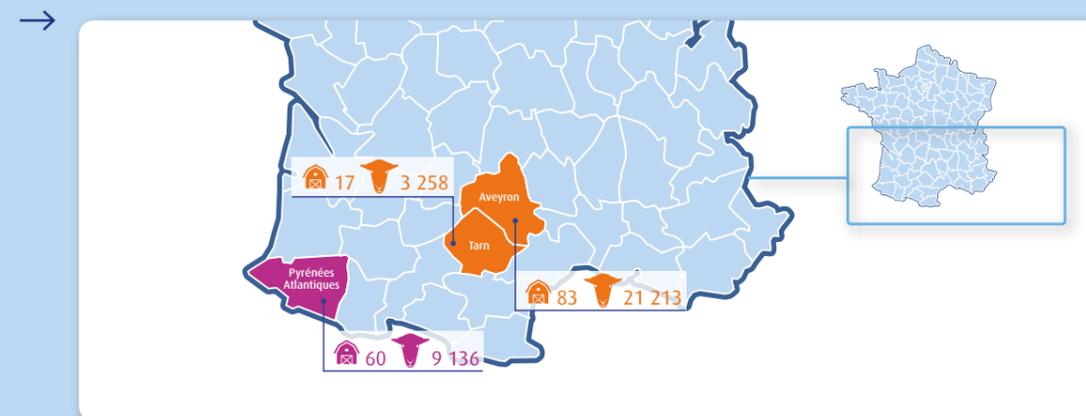
La durée de la collecte a permis de mesurer la composition fine du lait en fonction des évolutions saisonnières des rations et des stades de lactation des brebis. Au total de novembre 2009 à juillet 2010, 968 enquêtes alimentaires portant sur la nature et les quantités de fourrages et de concentrés distribués ont été réalisées. Elles se répartissent sur deux périodes distinctes, une période dite « d'hiver » avec des rations à base de fourrages conservés et une période dite « de printemps » incluant selon les systèmes d'exploitation une part variable d'herbe pâturée.

### → LES ANALYSES DE LAIT

Les spectres issus des analyses dans le moyen infrarouge (MIR) servent de base à la détermination des teneurs en composants du lait. Le nombre de spectres collectés indique donc le nombre d'analyses de lait individuels réalisées, chaque analyse étant reliée à une enquête alimentaire. Les 118 752 résultats d'analyse proviennent à 74 % de la race lacaune et à 26 % de la race manech tête rousse. La part des primipares dans les résultats est de 52 %. Le pourcentage est le même en lacaune et en manech tête rousse.

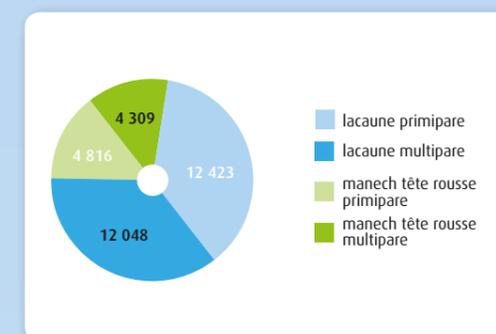
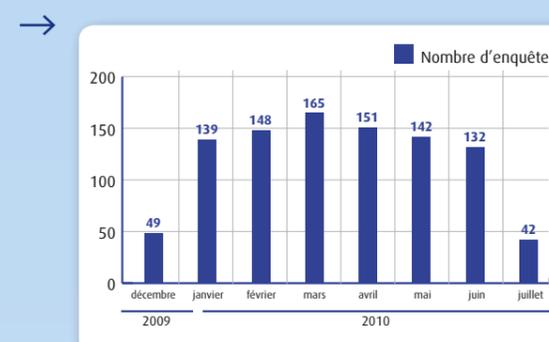
### → LA COLLECTE PHÉNOFINLAIT C'EST AUSSI :

- 3 564 échantillons de sang prélevés dans le cadre du volet génétique du projet. Destinés au génotypage, ces échantillons ont été prélevés sur des primipares filles d'un des 32 béliers retenus dans chaque race. Les pères ont été choisis de façon à représenter la diversité génétique des races lacaune et manech tête rousse.
- 9 882 échantillons de lait individuels congelés pour constituer une lactobanque. Ces échantillons de lait, ont été prélevés sur les mêmes animaux que les échantillons de sang. Répartis chacun en trois aliquots, ils sont conservés à -80°C. La lactobanque permettra de continuer le travail engagé en fonction des évolutions des méthodes d'analyse.
- 2 530 laits de tank congelés pour un travail mené sur les laits de troupeaux.



Effectifs d'élevages et de brebis par département

- 🏠 Nombre d'élevages
- 🐑 Brebis prélevées (Lait)
- 🟠 lacaune
- 🟡 manech tête rousse



à gauche : Répartition des enquêtes d'alimentation pendant la phase de collecte

à droite : Répartition du nombre de spectres MIR selon la race et le rang de lactation

2	Bassins de production
3	Départements
160	Élevages ovins
33 607	Brebis
3	Entreprises de Conseil en Élevage
76	Conseillers d'Élevage
3	Entreprises de Sélection / Entreprises de Mise en Place
2	Laboratoires d'Analyse du lait

# L'ESTIMATION DES ACIDES GRAS ET DES PROTÉINES EN ROUTINE

L'analyse de la composition fine du lait par des méthodes de référence (chromatographie en phase gazeuse pour les acides gras et en phase liquide pour les protéines) est coûteuse et longue à réaliser. La recherche d'une méthode alternative simple, efficace et peu coûteuse pouvant être réalisée à grande échelle et en routine par tous les laboratoires d'analyse du lait était l'un des objectifs de PhénoFinlait. La spectrométrie dans le moyen infrarouge (MIR) est la méthode utilisée en routine par les laboratoires d'analyse laitière pour estimer les TB et TP. Dans le cadre du programme PhénoFinlait, cette méthode a été choisie pour estimer plusieurs acides gras (AG) et protéines de manière fiable, en établissant des équations d'estimation à partir de laits de référence.

**NB :** Les résultats présentés portent sur des données consolidées pour les besoins des analyses statistiques, ils concernent donc des effectifs légèrement inférieurs au total des données collectées.

## → LES BREBIS DES TROUPEAUX PHÉNOFINLAIT (PFL) : PRODUCTION ET COMPOSITION MOYENNE DU LAIT

Rang de lactation	Lacaune		Manech tête rousse	
	Primipares	Multipares	Primipares	Multipares
Nombre de contrôles	43 263	39 515	15 265	13 615
Production laitière le jour du contrôle (L)	1,72	1,74	1,32	1,38
TB du matin (g/L)	67,3	71,0	64,1	66,4
TP du matin (g/L)	53,6	57,8	50,7	53,2

Les brebis des troupeaux PFL de race lacaune présentent en moyenne une production laitière supérieure, tout en ayant un TB et un TP plus élevés que les brebis de race manech tête rousse.

## → COMPOSITION MOYENNE DU LAIT EN ACIDES GRAS ESTIMÉE PAR LES ÉQUATIONS D'ESTIMATION APPLIQUÉES SUR LA BASE DE DONNÉES PFL valeurs exprimées en % des AG totaux (± écart-type)

Race (nbre spectres MIR)	AGS		AGMI		AGPI		C14:0		C16:0		C18:1 c9	
	R <sup>2</sup>	SEP										
Précision de l'équation	1,00	1,1	0,99	3,0	0,97	5,8	0,96	5,4	0,96	4,7	0,98	4,1
Lacaune (75 959)	74,2 (4,1)		19,3 (3,7)		4,4 (0,7)		15,3 (1,8)		24,9 (3)		12,8 (3,3)	
Manech tête rousse (27 653)	73 (3,8)		20 (3,7)		3,9 (0,5)		14,6 (1,6)		26 (2,7)		13,5 (3,6)	

R<sup>2</sup> = Coefficient de Détermination ; SEP = Écart-type de prédiction relatif (%)

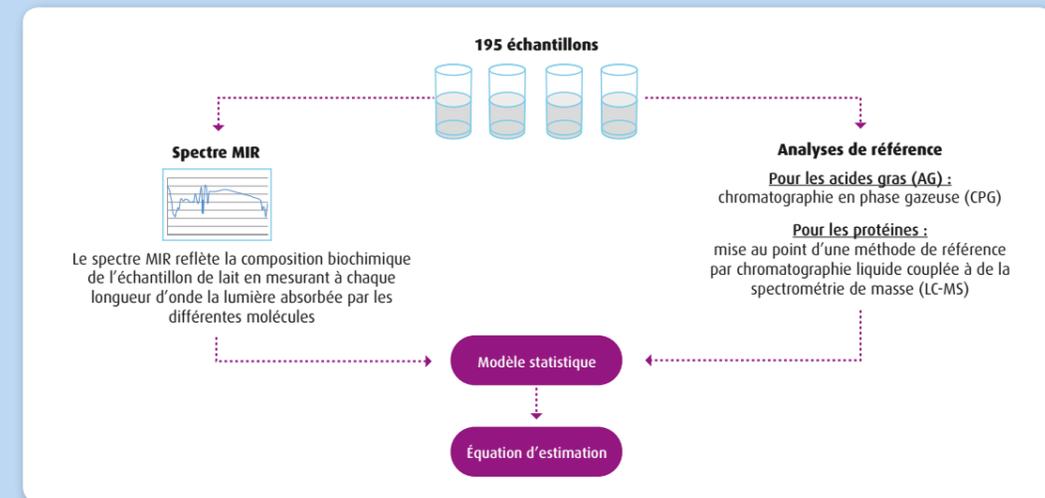
La composition du lait en AG observée dans les 2 bassins de production et donc pour les 2 races est assez proche, avec toutefois un pourcentage d'AGS supérieur en lacaune par rapport à celui des manech tête rousse.

## → COMPOSITION MOYENNE DU LAIT EN PROTÉINES ESTIMÉE PAR LES ÉQUATIONS D'ESTIMATION APPLIQUÉES SUR LA BASE DE DONNÉES PFL valeurs exprimées en % des TP estimés (± écart-type)

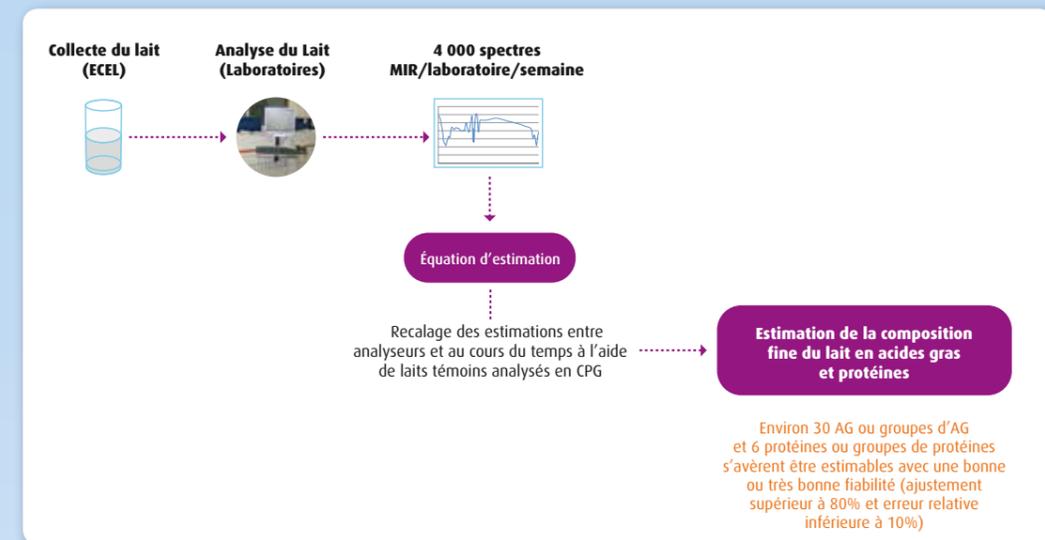
Race (nbre spectres MIR)	Caséine κ		Caséine α <sub>s1</sub>		Caséine α <sub>s2</sub>		Caséine β		α-Lactalbumine		β-Lactoglobuline	
	R <sup>2</sup>	SEP	R <sup>2</sup>	SEP	R <sup>2</sup>	SEP	R <sup>2</sup>	SEP	R <sup>2</sup>	SEP	R <sup>2</sup>	SEP
Précision de l'équation	0,76	7,9	0,86	6,8	0,57	12,9	0,87	6,6	0,06	19,5	0,66	13,2
Lacaune (75 959)	8,6 (0,5)		25,4 (0,9)		10,7 (1,7)		35,0 (2,5)		2,9 (0,5)		8,7 (0,5)	
Manech tête rousse (27 653)	8,8 (1,2)		24,7 (0,8)		11,6 (2,4)		36,2 (3,0)		3,1 (0,5)		8,4 (0,4)	

R<sup>2</sup> = Coefficient de Détermination ; SEP = Écart-type de prédiction relatif (%)

À l'instar des bovins et des caprins, un panel de laits de référence a permis d'établir des équations d'estimation de la composition du lait de brebis concernant les 6 protéines majeures : caséine κ, caséine α<sub>s1</sub>, caséine α<sub>s2</sub>, caséine β, α-lactalbumine, β-lactoglobuline et la quantité totale de caséines. Les précisions des estimations des 4 caséines sont relativement élevées, sachant que pour la somme des caséines la précision de l'estimation est très bonne avec un R<sup>2</sup>=0,97 et SEP=2,7.



Développement des équations d'estimation des teneurs en acides gras et protéines à partir des spectres MIR



Estimation de la composition fine du lait via les équations

# SYSTÈMES D'ÉLEVAGE FRANÇAIS ET COMPOSITION EN ACIDES GRAS

## → DES RÉGIMES DIFFÉRENTS DANS LES DEUX BASSINS

Les élevages enquêtés se répartissent entre les Pyrénées-Atlantiques et le Rayon de Roquefort. Les conduites alimentaires hivernales dans ces 2 bassins se distinguent principalement par :

- la présence de pâturage hivernal pour 70 % des enquêtes réalisées dans les Pyrénées-Atlantiques alors que dans le Rayon de Roquefort les brebis reçoivent toute la ration en bergerie durant l'hiver,
- le type d'ensilage pour les élevages utilisant ce fourrage : très majoritairement ensilage d'herbe dans le Rayon de Roquefort alors que dans les Pyrénées-Atlantiques il s'agit d'ensilage de maïs. Dans l'échantillon enquêté et pour les 2 bassins, de l'ordre de 50 % des rations comprennent de l'ensilage.

Ces conduites alimentaires différentes entre les 2 bassins s'accompagnent de races différentes : race lacaune dans le Rayon de Roquefort et race manech tête rousse dans les Pyrénées-Atlantiques. **Ces particularités rendent difficiles la comparaison entre les bassins, c'est pourquoi les analyses statistiques ont été réalisées de façon séparée.**

## → POUR CHACUN DES BASSINS, UNE VARIÉTÉ DE RÉGIMES ALIMENTAIRES

Une typologie résumant les régimes alimentaires rencontrés a été réalisée par bassin.

**Dans le Rayon de Roquefort, elle a porté sur les régimes de bergerie. Cinq classes ont été définies dont une très minoritaire correspondant aux rations avec ensilage de maïs (4 %).** Cette classe n'est pas reprise dans la typologie simplifiée présentée ici. Une classe correspond aux régimes avec ensilage d'herbe (50 % de la ration) et les 3 autres à des régimes à base de foin : foin de légumineuse dominant, foin mélangé ou foin ventilé.

**Suivant les régimes, les fourrages représentent entre 70 et 74 % de la ration, les aliments concentrés entre 18 et 22 % et les aliments déshydratés (luzerne ou pulpe) entre 4 et 7 %.** Dans les Pyrénées-Atlantiques, la typologie distingue les régimes hivernaux en fonction de la présence de pâturage et de l'utilisation d'ensilage de maïs.

Le pâturage hivernal représente 25 à 27 % de la ration. Quand il est utilisé, l'ensilage de maïs ne représente que 14 % de la ration. Le fourrage dominant est le foin représentant de 30 à 57 % de la ration suivant le type de régime. Pour le régime « Bergerie + foin », les apports de fourrages sont complétés avec des « rations complètes ». **Au total, les fourrages et le pâturage représentent de 62 à 70 % des apports, les concentrés de 21 à 24 % et les aliments déshydratés entre 7 et 12 %.**

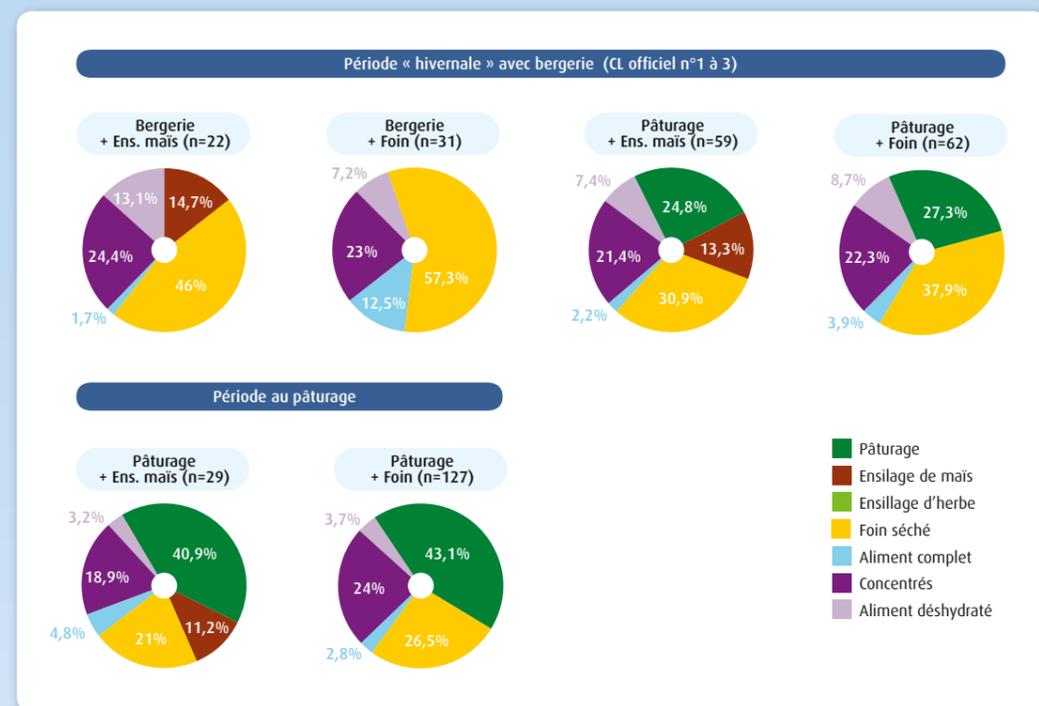
### Distinguer les laits à l'aide de l'infrarouge, à l'Inra de Theix

À l'instar des travaux menés en bovin, des laits de tank seront analysés par deux méthodes infrarouges : le moyen infrarouge (MIR) et le proche infrarouge (PIR).

Les objectifs sont de discriminer les laits de tank selon leurs conditions de production sur la base des spectres obtenus par ces méthodes et d'évaluer le degré de précision de chaque méthode en terme de traçabilité. Par exemple, en bovin, il est possible de discriminer les échantillons de laits de tank obtenus à partir de l'herbe pâturée de ceux obtenus à partir soit du foin, soit de l'ensilage de maïs, si le fourrage représente 65 % de la ration. Le MIR permet une meilleure discrimination des échantillons que le PIR dans ces comparaisons.



Typologie simplifiée des régimes alimentaires hivernaux dans le Rayon de Roquefort (n=nombre d'enquêtes)



Typologie simplifiée des régimes alimentaires présents dans les Pyrénées-Atlantiques (n=nombre d'enquêtes)

## SYSTÈMES D'ÉLEVAGE FRANÇAIS ET COMPOSITION EN ACIDES GRAS

### → UNE INFLUENCE VARIABLE DU RÉGIME ALIMENTAIRE SUR LA TENEUR EN ACIDES GRAS

La comparaison des différents régimes a été réalisée à l'intérieur de chaque bassin. Dans les Pyrénées-Atlantiques, en race manech tête rousse, **les proportions d'AGS et de C16:0 sont moins élevées pour les régimes avec du pâturage hivernal** (le pâturage représentant de l'ordre de 25 % des apports de matière sèche (MS)). À l'inverse ces régimes présentent les proportions plus élevées d'AGI. L'apport d'ensilage de maïs (en moyenne 14 % de la ration en MS) se traduit par une augmentation limitée des AGS. Dans le Rayon de Roquefort, en race lacaune, on retrouve cet effet de l'apport d'ensilage de maïs sur la part d'AGS. Pour les 3 régimes à base de foin et le régime utilisant de l'ensilage d'herbe l'apport de ces fourrages représente entre 71 et 74 % de la ration. **Ces 4 régimes présentent des compositions en AG comparables. Au printemps, le passage à l'herbe pâturée réduit les AGS au profit des AGMI et des AGPI.**

### → UNE FORTE ÉVOLUTION DES ACIDES GRAS EN DÉBUT DE LACTATION

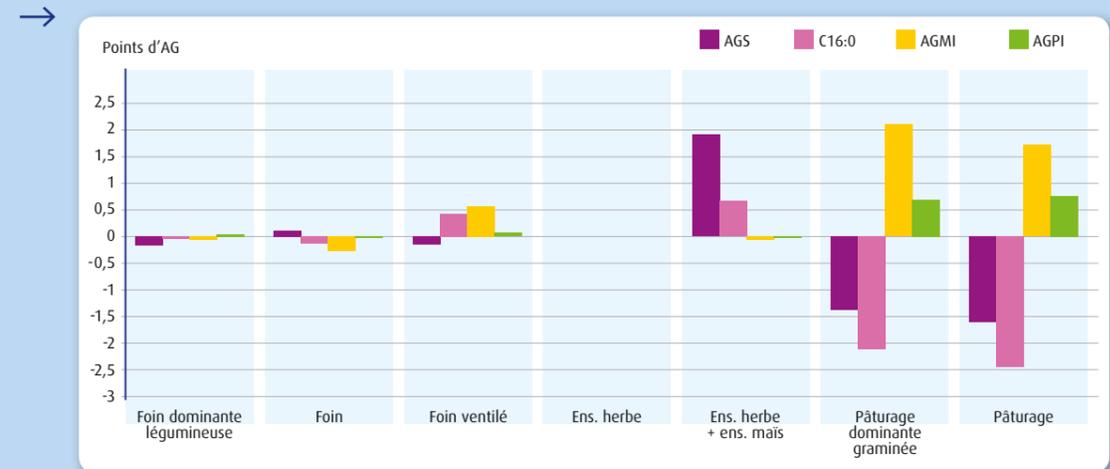
Pour une race donnée, exemple des brebis lacaune, et par comparaison avec la composition en AG au premier contrôle laitier (environ 45 jours de lactation), la part d'AGS augmente de 2 points jusqu'au troisième mois de lactation (2<sup>nd</sup> contrôle laitier). Conjointement, la part d'AGI diminue, particulièrement les AGMI, les AGPI restant relativement stables au cours de la lactation. **Cette évolution est liée à la mobilisation des réserves corporelles. Ces évolutions se retrouvent chez les brebis manech tête rousse.**

### → PLUS D'ACIDES GRAS INSATURÉS CHEZ LES PRIMIPARES

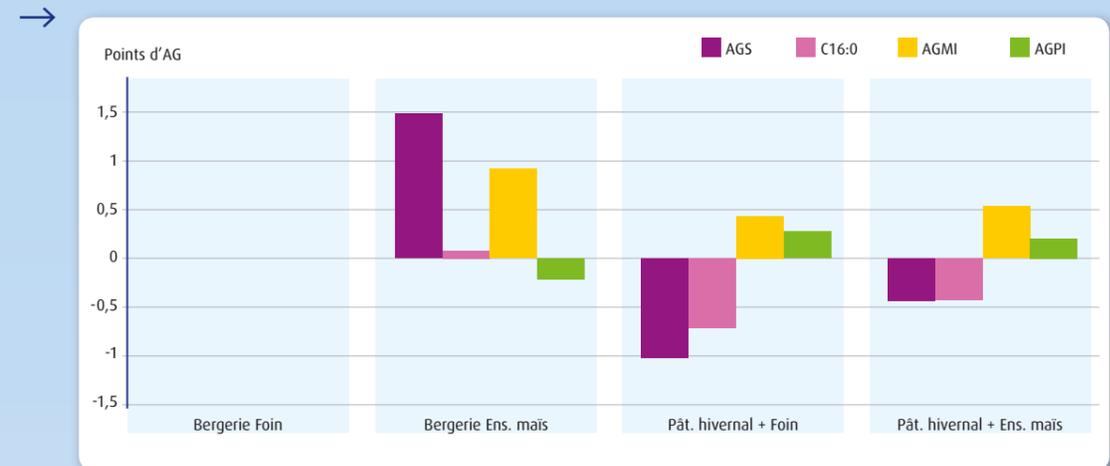
Pour les 2 races (lacaune et manech tête rousse) les brebis en seconde lactation (L2) présentent un lait avec une teneur plus élevée en AGS (+1,5 à 2,0 points) et parallèlement moins importante en AGI que les brebis en première lactation. Si on considère les brebis réalisant leur première lactation à 2 ans (L1 > 20 mois) cette augmentation semble plus liée à l'âge lors de la première lactation qu'à la parité.

#### En pratique : mise au point d'appui technique

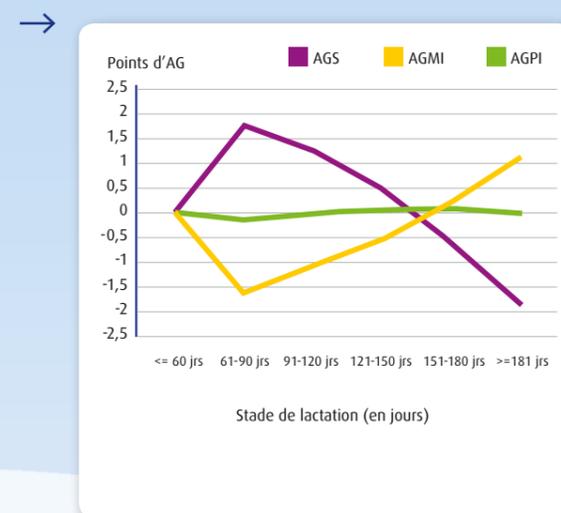
Les données acquises dans ce programme enrichissent les références en matière d'alimentation des brebis laitières à l'échelle individuelle mais surtout à l'échelle du troupeau. Elles permettent d'évaluer les marges de progrès accessibles dans un élevage, selon la description de son système d'alimentation et de ses animaux. Ces résultats contribueront à faire évoluer les outils de conseil en matière de composition du lait (composition fine mais aussi de TB et TP).



Effet du régime sur la composition en AG du lait de la race lacaune (points d'écart par rapport au régime Ens. herbe)



Effet du régime sur la composition en AG du lait de la race manech tête rousse (points d'écart par rapport au régime Bergerie foin)



à gauche : Effet du stade de lactation sur la composition en AG du lait en race lacaune (Points d'écart par rapport au stade <=60 jrs)

à droite : Effet de l'âge à l'agnelage combiné à celui de la parité sur la composition en AG du lait en races manech tête rousse (MTR) et Lacaune (LAC) (Points d'écart par rapport à L1 à moins de 20 mois de chaque race)

# GÉNÉTIQUE, GÉNOMIQUE ET COMPOSITION FINE DU LAIT EN ACIDES GRAS

## → HÉRITABILITÉS DE QUELQUES ACIDES GRAS (AG EXPRIMÉS EN % DE LA MG TOTALE)

L'héritabilité d'un caractère représente la part de la variation observée d'origine génétique et donc transmissible à la descendance. Plus l'héritabilité d'un caractère est élevée et plus la sélection sur ce caractère sera efficace. Les héritabilités des différentes familles d'AG sont comprises entre 22 % et 27 % et ne sont pas sensiblement différentes entre les 2 races lacaune et manech tête rousse. La teneur en acide palmitique (C16:0) est plus héritable avec une valeur comprise entre 32 et 40 %. Les estimations obtenues reflètent la double origine des AG dans le lait. Les AG saturés sont synthétisés par la mamelle alors que les AG insaturés sont majoritairement d'origine alimentaire. Les variations des AG saturés (comme le C16:0) sont donc plus dépendantes de la génétique.

	Lacaune	Manech tête rousse
AGS	26 %	25 %
AGMI	25 %	22 %
AGPI	27 %	24 %
C16:0	40 %	32 %

Les héritabilités diffèrent peu entre les 2 races et sont proches de celles obtenues pour les bovins et les caprins.

## → CORRÉLATIONS GÉNÉTIQUES DE QUELQUES AG (EXPRIMÉS EN % DE LA MG TOTALE) AVEC LE LAIT ET LE TB EN RACE MANECH TÊTE ROUSSE

	Lait	TB
AGS	-0,13	0,44
AGI	-0,03	-0,41
AGMI	0,03	-0,22
AGPI	-0,15	-0,27

Augmenter la quantité de lait n'a pas de conséquence sur le % d'AG insaturés dans la MG totale. La sélection sur la MG totale du lait augmente la part des AGS dans la MG du lait.

Si les AG sont exprimés en % de la matière grasse, comme dans le tableau ci-dessus, il apparaît que les corrélations génétiques entre le lait et les différents groupes d'AG sont nulles ou faibles. En comparaison, ces mêmes corrélations sont négatives et assez fortes (de l'ordre de -0,30) si les AG sont exprimés en % du lait produit. Cela traduit l'opposition génétique qui existe entre le TB et le lait. Compte tenu des corrélations génétiques, une augmentation du TB conduirait à une légère augmentation de la proportion d'AG saturés dans la matière grasse, alors que celle des AG insaturés serait réduite.

## → DÉTECTION DE QTL

L'étape suivante de l'analyse génétique correspondra à la détection de QTL sur les AG et les protéines. En ovine, les analyses sont en cours. En race lacaune, concernant le TB, un premier travail réalisé dans le cadre du projet ANR « SheepSNPQTL » a permis de mettre en évidence un QTL hautement significatif localisé sur le chromosome 11 portant le gène FASN spécifiant la protéine fatty acid synthase (cf. figure page 15).

Chez les bovins, les premières détections sur les AG (exprimés en % de la MG) mettent en évidence de nombreux QTL qui sont fréquemment localisés au même endroit que ceux de la MG ou du TB. Ainsi, les QTL les plus significatifs se trouvent sur le chromosome 14 qui porte le gène DGAT1 dont l'enzyme spécifiée intervient dans la dernière étape de synthèse des triglycérides du lait. Ce gène a un impact majeur sur la composition fine du lait : l'allèle favorisant le TB impacte également de nombreux AG (C14:0, AGS, AGI, AGMI, C16:0...). Des résultats très significatifs sont également observés sur d'autres chromosomes.

### Sur le terrain, évaluation génomique des animaux en vue d'une évolution des objectifs de sélection

De très nombreux critères (plusieurs dizaines d'AG, rapports d'AG ou taux de désaturation) seront bientôt à la disposition des filières. L'entretien des populations de référence *via* la collecte en routine des données MIR restera néanmoins essentiel. Les orientations et objectifs pour l'utilisation de ces outils mis à disposition des filières et de leurs éleveurs seront à définir.



17 200 BREBIS EN 1<sup>ÈRE</sup> LACTATION, PRÈS DE 60 000 CONTRÔLES AVEC PROFILS EN AG ESTIMÉS

1 660 BREBIS GÉNOTYPÉES SUR LA PUCE 54K SNP ILLUMINA (54 000 MARQUEURS)

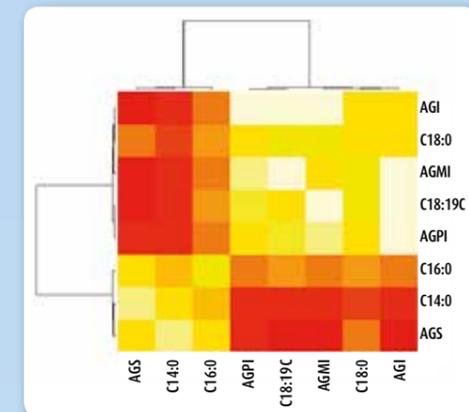
### Quelle unité pour quel caractère ?

Les AG peuvent être exprimés en différentes unités : en % de la matière grasse totale, dans ce cas par exemple les AGI représentent environ 25 g pour 100 g de MG dans le lait ; ou en % de lait total ainsi les AGI représentent environ 1,5 g pour 100 g de lait. Ainsi, ces deux unités pour un même AG renvoient à deux caractères distincts. Des travaux de simulation à partir des données PhénoFinlait ont montré qu'à l'échelle de l'animal les critères de sélection les plus efficaces, pour optimiser le profil en AG des produits laitiers, devaient porter sur la teneur dans la MG.



### CORRÉLATIONS GÉNÉTIQUES ENTRE ACIDES GRAS

Lorsqu'ils sont exprimés en pourcentage de la MG totale, les AGS et AGI s'opposent génétiquement : les AGS se regroupent au sein d'un même bloc (couleur jaune ci-contre) alors que les AGI sont regroupés dans un autre bloc (couleur rouge ci-contre). À l'inverse, lorsqu'ils sont exprimés en pourcentage du lait, les différents AG sont tous génétiquement corrélés de façon positive entre eux. Ainsi, une augmentation du taux d'AGS dans le lait par exemple aura pour conséquence une augmentation du taux d'AGI dans le lait (résultat non montré sur la figure ci-contre).

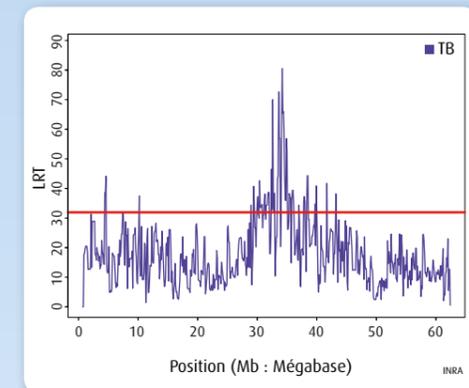


Corrélations génétiques entre acides gras en % de MG en race manech tête rousse



### DÉTECTION DE QTL : QU'EST-CE QUE C'EST ?

Un QTL (pour Quantitative Trait Locus) est une région du génome ayant un effet significatif sur le caractère étudié. Localiser ces différentes zones et estimer leurs effets sur la composition fine du lait est la première étape de la mise en place d'une sélection génomique. La ligne rouge correspond au seuil fixé pour le test LRT (cf. page 18). Lorsque la courbe bleue est au dessus de ce seuil de significativité, la probabilité qu'un ou plusieurs QTL soi(en)t présent(s) à cette localisation est élevée.



Détection de QTL sur le chromosome 11 en race lacaune pour le taux butyreux

## PHÉNOFINLAIT : PERSPECTIVES D'APPLICATIONS POUR AUJOURD'HUI ET POUR DEMAIN

La spectrométrie moyen infrarouge (MIR) offre la possibilité, par une analyse de lait en routine, de faire une estimation de bonne qualité de la teneur d'un lait en une vingtaine d'acides gras, sommes ou ratios d'acides gras ainsi qu'en certaines lactoprotéines. C'est un pas de plus dans la connaissance des produits laitiers : des quantités globales de matières grasses et protéiques vers de nouveaux indicateurs, plus fins, de la composition du lait.

Cette avancée a des applications directes pour les différents maillons de la filière de production de lait. Dans les filières où la valorisation du lait se fait sous forme de fromages, la composition en acides gras conditionne celle du fromage et la composition en lactoprotéines influence le rendement fromager.

### → CONSEILLER LES ÉLEVEURS

La connaissance de la composition fine du lait des élevages (lait individuels et lait de mélange) ouvre de nouvelles perspectives pour conseiller les éleveurs en matière de conduite du troupeau (alimentation, génétique). **En petits ruminants, un travail d'appropriation des résultats doit être mené avant d'intégrer ces nouveaux indicateurs dans la boîte à outils des techniciens.**

Il s'agira, à termes, de définir les outils qui serviront à accompagner chaque éleveur dans la recherche d'une conduite efficiente de son élevage en fonction de ses objectifs, de ses contraintes (techniques, économiques, environnementales,...) et de son système de production.

### → POSER LES BASES D'UNE VALORISATION GÉNOMIQUE SUR LES CARACTÈRES DE COMPOSITION FINE DU LAIT

PhénoFinlait pose les bases d'une valorisation génomique des animaux sur les caractères de composition fine du lait. **Cette valorisation est un préalable à une prise en compte dans les objectifs de sélection de ces nouveaux critères, qui seront à définir par les professionnels au sein des Organismes de Sélection.**

De très nombreux critères sont aujourd'hui disponibles grâce à PhénoFinlait. Cependant, la collecte en routine des données MIR sera à mettre en œuvre et l'utilisation de ces outils par les filières et les éleveurs sera à déterminer en fonction d'orientations et objectifs à définir.

Des éclairages seront apportés par le programme OSIRIS (labellisé CASDAR 2011) animé par l'Institut de l'Élevage, dans le cadre des UMT 3G (Génétique, Génomique et Gestion des populations bovines) et GGPR (gestion Génétique et Génomique des Petits Ruminants), et avec le concours du Cniel pour la filière bovine laitière.



### → SI ON ALLAIT PLUS LOIN ?

#### De nombreux échantillons à valoriser

La collecte de données et d'échantillons biologiques, étape clé du programme, a conduit à la constitution d'une riche lactobanque (cf. pages 4-5). Demain, selon les besoins de la filière, **la lactobanque pourra être utilisée pour une meilleure connaissance d'autres composants du lait : minéraux, lactose ainsi que pour la recherche dans le lait de nouveaux indicateurs de l'état de l'animal.**

#### Un dispositif à entretenir

Les équations développées dans ce programme, pour estimer la composition fine du lait, reposent sur une population de référence, à un instant donné. Dans le cadre d'un dispositif de déploiement de ces équations dans les laboratoires, ces équations devront reposer sur une population de référence adéquate. **Afin de garantir leur robustesse, il est donc nécessaire qu'elles évoluent au cours du temps grâce à l'apport de nouvelles données.** Au fur et à mesure de ces apports, elles vont s'enrichir (nouveaux critères), gagner en précision et rester adaptées aux laits de la ferme France.

#### Le spectre MIR : une donnée d'avenir

PhénoFinlait a été le premier programme français à travailler sur les spectres MIR et à tracer les modalités de leur exploitation. Depuis les spectres sont apparus comme une donnée utile dans de nombreux domaines : phénotypage, recherche d'indicateurs physiologiques comme par exemple en bovin dans le cadre du programme européen OptiMIR,...

#### Étudier les effets de l'alimentation et de la génétique sur les fractions protéiques

L'alimentation a un effet modéré, au regard de celui de la génétique, sur la part de caséines par rapport aux protéines, élément du rendement fromager. Comme cela a été fait pour la composition fine en acides gras, la base de données PhénoFinlait sera l'occasion de voir s'il existe, dans les rations distribuées par les éleveurs français, des facteurs de modifications des teneurs en protéines et de leur rapport dans la composition du lait. De même, un conseil pourra être formulé à l'éleveur en fonction des conditions de production de son exploitation.

#### Les interactions Génotype-Milieu : y a-t-il des animaux plus adaptés à tel ou tel système d'élevage ?

L'étude de ces interactions permettrait de considérer les différentes composantes de la variabilité des performances comme un ensemble sur lequel agir pour moduler la composition fine du lait plutôt que comme des facteurs indépendants.

## POUR EN SAVOIR PLUS...

### → QU'EST-CE QU'UN ACIDE GRAS ?

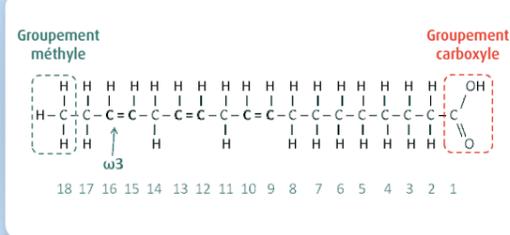
L'acide gras (AG) est l'unité de base de la matière grasse (MG). Plus de 400 AG sont présents dans le lait. Constitués d'une chaîne hydrocarbonée [-CH<sub>2</sub> ou -CH=] terminée par un groupement carboxyle -COOH d'une part et un groupement méthyle -CH<sub>3</sub> d'autre part, ils diffèrent par :

- la longueur de leur chaîne (4 à 24 atomes de carbone) ;
- le degré de saturation (nombre de doubles liaisons appelées insaturations) : aucune chez les AG saturés (AGS), une chez les AG monoinsaturés (AGMI) et deux ou plus chez les AG polyinsaturés (AGPI) ;
- le positionnement sur la chaîne et la configuration spatiale « *cis* » ou « *trans* » de leur(s) double(s) liaison(s).

Ainsi, l'acide palmitique C16:0 est un AGS (sans double liaison) à 16 atomes de carbone, l'acide oléique C18:1 *cis*9 est un AGMI à 18 atomes de carbone et une double liaison positionnée en configuration « *cis* » sur le 9<sup>ème</sup> carbone, et l'acide linoléique C18:3 *cis*9 *cis*12 *cis*15 est un AGPI à 18 atomes de carbone et trois doubles liaisons positionnées en configuration « *cis* » sur les 9<sup>ème</sup>, 12<sup>ème</sup> et 15<sup>ème</sup> atomes de carbone.

#### Le saviez-vous ?

Contrairement à la nomenclature biochimique qui indique la position des doubles liaisons à partir du groupement carboxyle, les nutritionnistes positionnent la première double liaison à partir du groupement méthyle et l'appellent « oméga ». Ainsi, l'acide linoléique est appelé C18:3 ω3 ou C18:3 n-3.



Formule développée de l'acide linoléique C18:3 n-3

### → COMMENT LOCALISE-T-ON UN QTL ?

La détection de QTL repose sur la recherche d'une association entre la transmission d'un allèle d'un marqueur et un QTL qui agit sur le niveau de performance. Par exemple, si tous les animaux ayant de fort taux d'AG saturés sont porteurs de l'allèle A d'un marqueur donné, la probabilité de détecter un QTL lié à ce marqueur sera élevée.

Plus cette association entre le niveau de performance et l'allèle donné d'un marqueur est forte, plus le test statistique utilisé (LRT pour Likelihood Ratio Test) donnera des valeurs élevées.

Pour discriminer les valeurs LRT significatives ou non, une valeur seuil est fixée, d'autant plus grande que le risque de détecter à tort un QTL est grand.

Ce test est réalisé sur l'ensemble des marqueurs disponibles (ici sur environ 30 000 marqueurs).

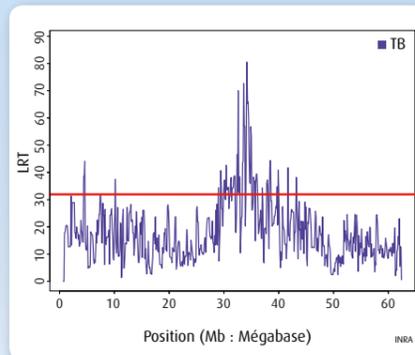
Ainsi, si l'on représente les LRT obtenus à chaque position du génome, les fortes valeurs de LRT seront représentées par des « pics » et interprétés comme des QTL potentiels.

#### Définitions :

**Allèles :** différentes formes d'un même gène.

**Marqueur :** position connue du génome.

**QTL** (Quantitative Trait Locus) : région du génome ayant un effet significatif sur le caractère étudié.



Détection de QTL sur le chromosome 11 en race lacaune pour le taux butyreux

### → QU'EST-CE QU'UNE PROTÉINE ?

Les protéines sont des macromolécules composées d'une ou plusieurs chaînes d'acides aminés (AA) liés entre eux par des liaisons peptidiques. Leur structure est complexe et détermine leur fonction : cytosquelette, enzymes, facteurs de transcription, etc.

La valeur nutritionnelle des protéines laitières est comparable à celle des autres protéines animales (viande, poisson et œuf) mais est supérieure à celle des protéines végétales en raison de leur forte digestibilité et leur richesse en AA indispensables qui ne sont pas synthétisés par l'organisme. Le lait contient des centaines de protéines, parmi lesquelles :

**Les caséines (α1, α2, β et κ)** représentent de 86 à 93 % de la fraction protéique du lait de brebis. Elles se présentent sous la forme d'une suspension colloïdale de particules sphériques appelées micelles, responsables de la couleur blanche du lait. Leur rôle dans la fabrication de fromages et de yaourts est essentiel : elles coagulent sous l'action conjointe de la présure et de l'acidification par les bactéries lactiques pour former le caillé.

**Les protéines du lactosérum**, également appelées protéines solubles, représentent environ de 7 à 14 % des lactoprotéines ovines. Les principales sont l'α-lactalbumine et le β-lactoglobuline et, à un degré moindre, la lactoferrine et la serum albumine. Elles sont riches en AA soufrés (cystéine et méthionine), en lysine et tryptophane.

#### Les 6 lactoprotéines majeures :

Les 4 caséines (α1, α2, β et κ), l'α-lactalbumine et le β-lactoglobuline représentent près de 95 % de la fraction protéique du lait



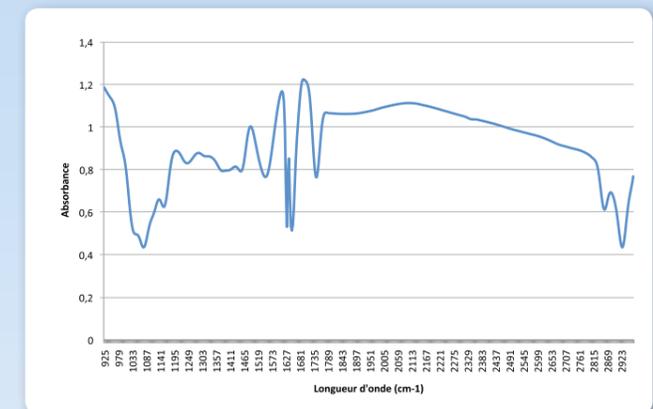
### → COMMENT FONCTIONNE LA SPECTROMÉTRIE MIR ?

La spectrométrie moyen infrarouge (MIR) est utilisée dans les laboratoires d'analyse pour doser divers composants du lait (TB, TP...) dont certains sont utilisés pour le paiement du lait. Les molécules du lait absorbent la lumière infrarouge à différentes longueurs d'onde qui leur sont spécifiques. Le spectre MIR reflète donc la composition biochimique du lait.

La spectrométrie proche infrarouge (PIR) est une autre technique analytique basée sur le principe d'absorption des rayons infrarouges. Elle est surtout utilisée pour analyser les solides.

#### Zoom sur... Le recalage

Un appareil de mesure peut se décaler dans le temps. D'autre part, deux appareils différents génèrent des différences de mesures. Un recalage est possible, à l'aide de laits témoins analysés régulièrement par les différents appareils, comparativement à une base.



Exemple de spectre MIR extrait par le laboratoire Lilano

# PhénoFinlait

→ POUR ALLER PLUS LOIN...



**Découvrez les résultats du programme dans les filières laitières bovine et caprine !**

Retrouvez également l'ensemble des résultats ainsi que les différentes publications du programme sur notre site web :

[www.phenofinlait.fr](http://www.phenofinlait.fr)

→ POUR PLUS D'INFORMATION...



sur les acides gras du lait :  
**Les acides gras du lait de vache : composition et maîtrise par l'alimentation.**  
Disponible auprès de l'Institut de l'Élevage

sur la spectrométrie MIR :  
**New applications of mid infrared spectrometry for the analysis of milk and milk products.**  
Disponible auprès de la Fédération Internationale du Lait (FIL France)

## CONTACT

[phenofinlait@idele.fr](mailto:phenofinlait@idele.fr)

pour + de résultats sur vos races  
[www.phenofinlait.fr](http://www.phenofinlait.fr)