

# Recherches en Wallonie sur la spectrométrie infrarouge dans le lait

Hélène Soyeurt

Zootéchnie – Gembloux Agro-BioTech (GxABT) - ULg  
Chargé de recherche FNRS

[hsoyeurt@ulg.ac.be](mailto:hsoyeurt@ulg.ac.be)



# Pourquoi MIR?

- Les échantillons de lait collectés dans le cadre du **paiement du lait** ou du **contrôle laitier** sont analysés par la **spectrométrie MIR**
- Extension aisée des approches théoriques développées vers d'autres technologies (par ex. le proche infrarouge)

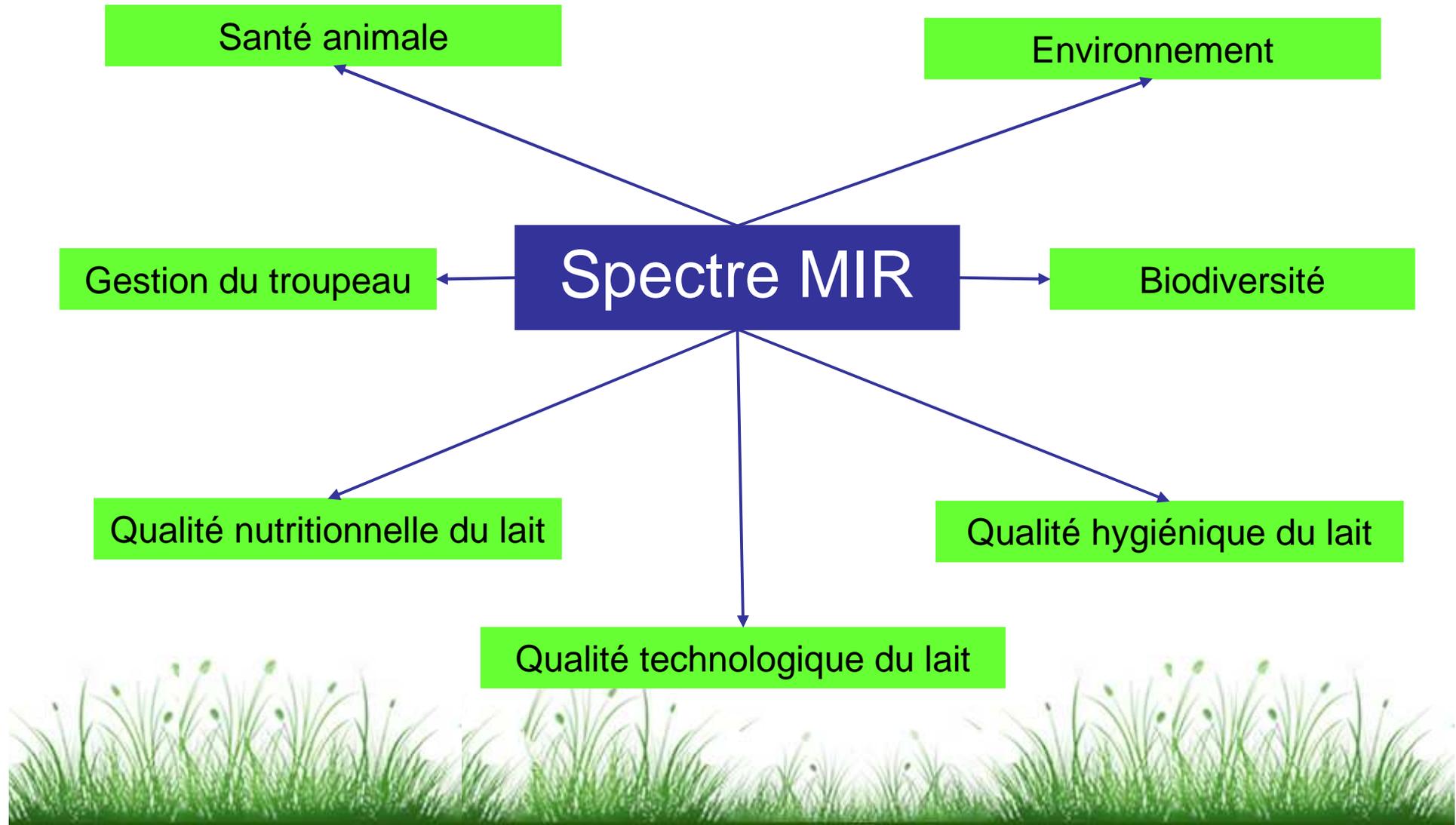


# Objectif des recherches

- **Objectif général:** Développer des **outils de management et de sélection** à destination de la filière laitière
- **Comment ?**
  - **Utilisation directe** des prédictions infrarouges obtenues à partir de calibrages spécifiques dosant certains constituants organiques du lait
  - Intégrer ces prédictions infrarouges dans des **modélisations** spécifiques afin d'étendre les valorisations possibles



# Thèmes de recherche



# Objectif des recherches

- **Objectif général:** Développer des outils de management et de sélection à destination de la filière laitière
- **Comment ?**
  - **Utilisation directe** des prédictions infrarouges obtenues à partir de calibrages spécifiques dosant certains constituants organiques du lait
  - Intégrer ces prédictions infrarouges dans des **modélisations** spécifiques afin d'étendre les valorisations possibles



# Caractères déjà disponibles

- Matières grasses
- Protéines
- Urée
- Lactose
- Les acides gras libres

➔ Investigations pour augmenter le nombre de composés du lait dosés par MIR



# Principe

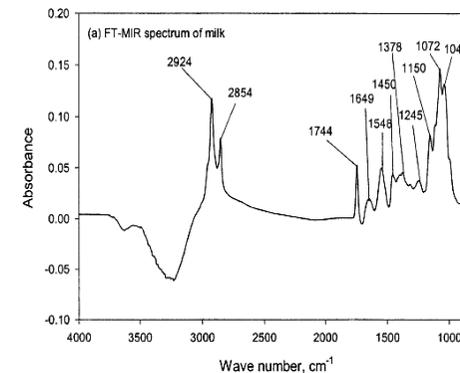
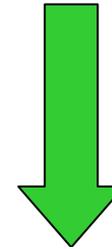


**Collecte d'échantillons de lait**  
(laiterie, contrôle laitier)



(Foss, 2008)

**Spectromètre infrarouge**



**Données brutes = Spectre**

**Equations de calibration**



**Dosage:**

- Matières grasses
- Protéines
- Lactose
- ...



# Principe



**Collecte d'échantillons de lait**  
(laiterie, contrôle laitier)

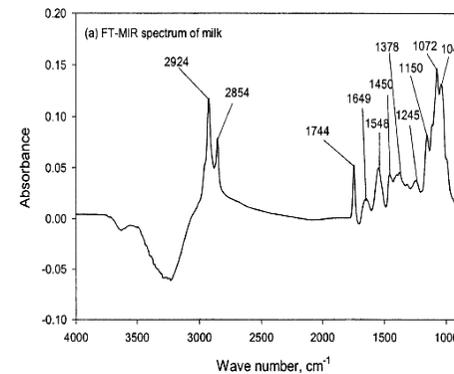


(Foss, 2008)

*Spectromètre infrarouge*

Développement de  
nouvelles équations de  
calibrage

**Equations de calibrage**



**Données brutes = Spectre**

**Dosage:**

- Matières grasses
- Protéines
- Lactose
- ...



# Acides gras

- Les acides gras (AG) ?
  - Unité de base de la matière grasse
  - 3 classes :
    - *Saturés* (70 %)
    - Insaturés (30 %) :
      - *Mono-insaturés* (25 %) : ex. : Oméga-9
      - *Poly-insaturés* (5 %) : ex. : Oméga-3, Oméga-6, CLA



# Acides gras

- Intérêts scientifiques:
  - **Qualité nutritionnelle**: Effets potentiels sur la santé humaine
  - **Santé animale**: Certains acides gras proviennent du déstockage lipidique → indicateur de l'état sanitaire de l'animal
  - **Environnement**: Selon la littérature, il pourrait être un indicateur des émissions de méthane par la vache
  - **Gestion du troupeau**: les teneurs en acides gras insaturés du lait commencent à présenter un intérêt économique



# Acides gras

- Analyse chimique de référence :
  - Onéreuse
  - Demande du temps
- Recours à la spectrométrie MIR :
  - Développement des équations



Collecte d'échantillons en Wallonie

Analyse infrarouge  
(MilkoScan FT6000)

Exportation des spectres

Sélection des échantillons sur base de leur variabilité spectrale

Analyses chromatographiques

Spectre MIR

SET DE CALIBRAGE (N=239)

Création des équations de calibration

Validation interne

Validation externe



Collecte d'échantillons en Wallonie

Analyse infrarouge  
(MilkoScan FT6000)

Exportation des spectres

Sélection des échantillons sur base de leur variabilité spectrale

Analyses chromatographiques

Spectre MIR

SET DE CALIBRAGE (N=239)

Création des équations de calibration

**362 nouveaux échantillons** (projet RobustMilk):

- Collecte en Wallonie, Irlande et Ecosse
- Entre avril 2008 et août 2009
- Différentes vaches, races et systèmes de production

Validation externe

# Les meilleurs résultats

g/dl de lait	N	Moyenne	Ecart-type	SECV	R <sup>2</sup> cv
C4:0	517	0.10	0.03	0.01	0.89
C6:0	517	0.07	0.02	0.01	0.94
C8:0	517	0.04	0.02	0.00	0.93
C10:0	517	0.10	0.04	0.01	0.92
C12:0	517	0.12	0.05	0.01	0.92
C14:0	517	0.40	0.13	0.03	0.95
C16:0	517	1.05	0.39	0.10	0.93
C18:0	517	0.38	0.18	0.06	0.88
C18:1 cis-9	517	0.74	0.29	0.06	0.95
C18:1 cis	517	0.80	0.31	0.07	0.95
Saturés	517	2.42	0.82	0.08	0.99
Monoinsaturés	517	1.06	0.37	0.06	0.97
Insaturés	517	1.23	0.41	0.07	0.97
C4-C10	517	0.32	0.11	0.02	0.95
C12-C16	517	1.80	0.62	0.12	0.96
C17-C22	517	1.53	0.57	0.12	0.96

N= nombre d'échantillons; SECV = erreur standard de cross-validation; R<sup>2</sup>cv = coefficient de détermination obtenu après la cross-validation (projet RobustMilk, [www.robustmilk.eu](http://www.robustmilk.eu))

# Analyse des acides gras

- Analyse chimique de référence :
  - Onéreuse
  - Demande du temps
- Recours à la spectrométrie MIR :
  - Développement des équations
  - Implémentée en routine au Comité du Lait depuis Janvier 2008
    - Base de la prime payée par Campina
    - 72 éleveurs participent à ce service (50 % chez Campina)



# Minéraux

- 5 minéraux majeurs dans le lait sont:
  - Calcium (**Ca**): 1300 mg/kg de lait
  - Potassium (**K**): 1300 mg/kg de lait
  - Phosphore (**P**): 1090 mg/kg de lait
  - Sodium (**Na**): 415 mg/kg de lait
  - Magnésium (**Mg**): 110 mg/kg de lait
- Le lait est la principale source de Ca



# Minéraux

- Intérêts scientifiques:
  - **Qualité nutritionnelle**: effets des minéraux sur la santé humaine:
    - Ca: ostéoporose
  - **Santé animale**:
    - Ca: fièvre de lait
    - Na: fièvre de lait, alcalose, indicateur de mammites
- Recours au MIR



# Minéraux

mg/l de lait	N	Moyenne	Ecart-type	SECV	R <sup>2</sup> cv
Na	57	431,39	102,10	57,31	0,69
Ca	57	1251,58	157,44	66,98	<b>0,82</b>
P	57	1071,02	107,03	51,87	<b>0,77</b>

- Résultats préliminaires encourageants
- Nécessité d'augmenter les données
- Extension dans le projet NovaUdderHealth



# Lactoferrine

- Glycoprotéine présente naturellement dans le lait
- Participe aux défenses du système immunitaire
- Intérêts scientifiques:
  - **Qualité nutritionnelle**: la lactoferrine est extraite du lait et administrée à des patients effectuant de longs séjours à l'hôpital → maintien du système immunitaire
  - **Santé animale**: détection des mammites
  - **Qualité hygiénique**: Détection de lait mammiteux



# Lactoferrine

mg/l de lait	N	Moyenne	Ecart-type	SECV	R <sup>2</sup> cv
Lactoferrine	57	253	206	86	0,75

- Résultats préliminaires
- Extension dans le cadre du projet RobustMilk ([www.robustmilk.eu](http://www.robustmilk.eu))



# Nouveaux caractères à l'étude

- Qualité technologique:
  - Aptitude fromagère du lait (projet BlueSel)
- Santé animale:
  - Indicateur(s) d'acétonémie
  - Indicateur(s) de mammite (projet NovaUdderHealth)
  - Indicateur(s) de la balance énergétique de l'animal (projet RobustMilk)



# Objectif des recherches

- **Objectif général:** Développer des outils de management et de sélection à destination de la filière laitière
- **Comment ?**
  - **Utilisation directe** des prédictions infrarouges obtenues à partir de calibrages spécifiques dosant certains constituants organiques du lait
  - Intégrer ces prédictions infrarouges dans des **modélisations** spécifiques afin d'étendre les valorisations possibles



# Données

- Le **contrôle laitier** prélève des échantillons sur chaque vache individuellement dans chaque troupeau participant et ceci en général toutes les 4 semaines
- Les échantillons sont analysés par **moyen infrarouge**
- Création d'une **base de données spectrales** reliées aux données zootechniques et environnementales de l'animal
  - Wallonie : plus de 800 000 spectres à ce jour
  - Luxembourg : plus de 600 000 spectres à ce jour



# Recours à la modélisation

- Pourquoi?
  - Les valeurs « brutes » générées à partir de l'équation de calibrage peuvent varier naturellement en fonction des aspects zootechniques et environnementaux de la vache considérée:
    - Numéro de lactation, stade de lactation, race, vache...
  - Détection de désordres métaboliques ou de maladies ainsi que la comparaison de bovins nécessitent de **corriger pour ses variations naturelles**



# Modélisation ?

$$Y = X\beta + Zu + e$$

Vecteur des observations (quantité de lait, matière grasse, protéines, acides gras...)

- Addition d'effets aléatoires → Modèle mixte



# Modélisation ?

$$Y = X\beta + Zu + e$$

Vecteur des effets fixes qui structurent la moyenne (troupeau x date de test, race, numéro de lactation x jour en lactation...)



# Modélisation ?

$$Y = X\beta + Zu + e$$

Vecteur des effets aléatoires qui structurent la variance (génétique, environnement permanent...)



# Modélisation ?

$$Y = X\beta + Zu + e$$



Les résidus du modèle



# Modélisation ?

$$Y = X\beta + Zu + e$$

- Le modèle va expliquer la valeur de la prédiction infrarouge à partir de tous les paramètres zootechniques et d'environnement connus pour la vache étudiée
- Plusieurs applications...



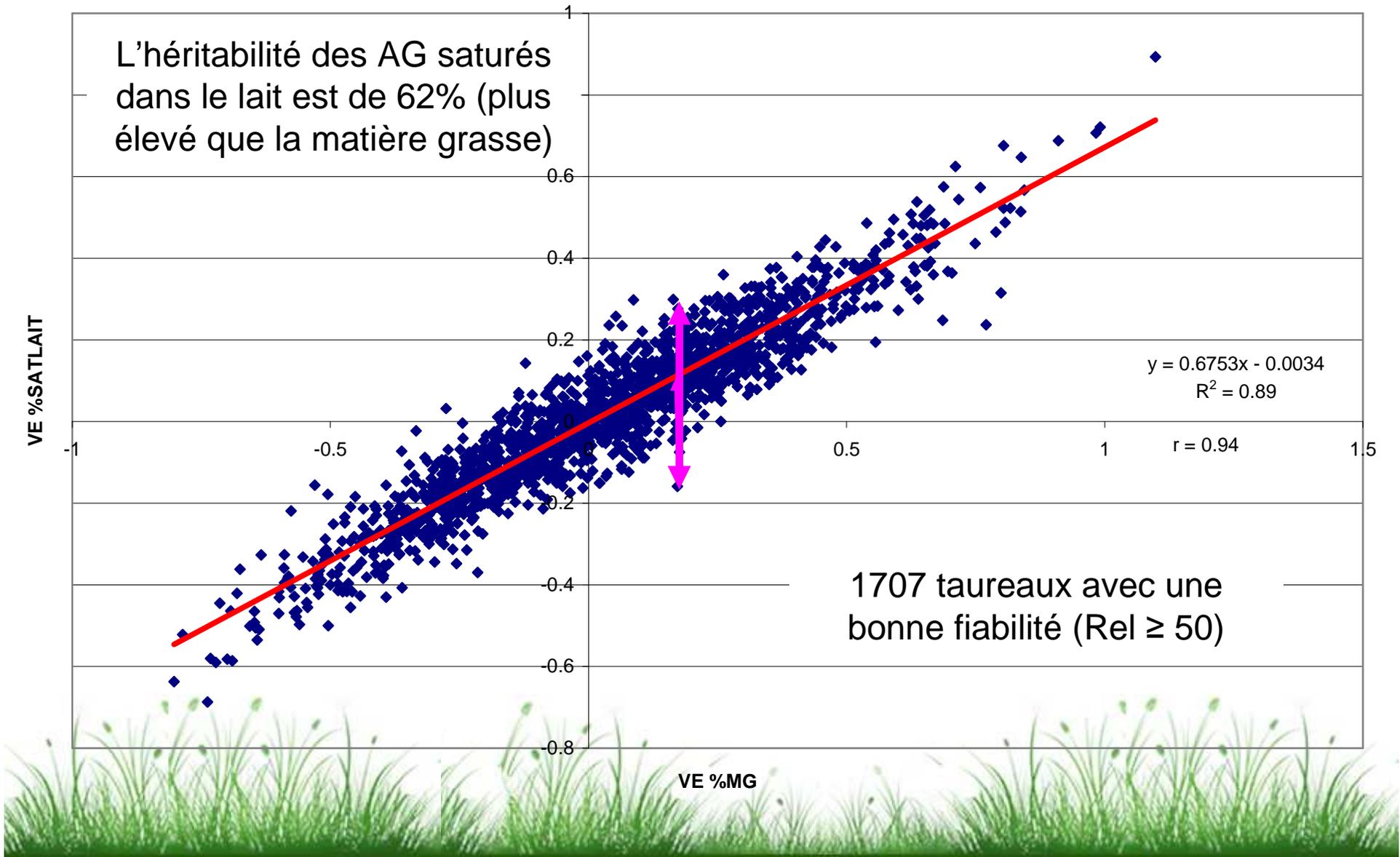
# Variabilité génétique

$$Y = X\beta + Zu + e$$

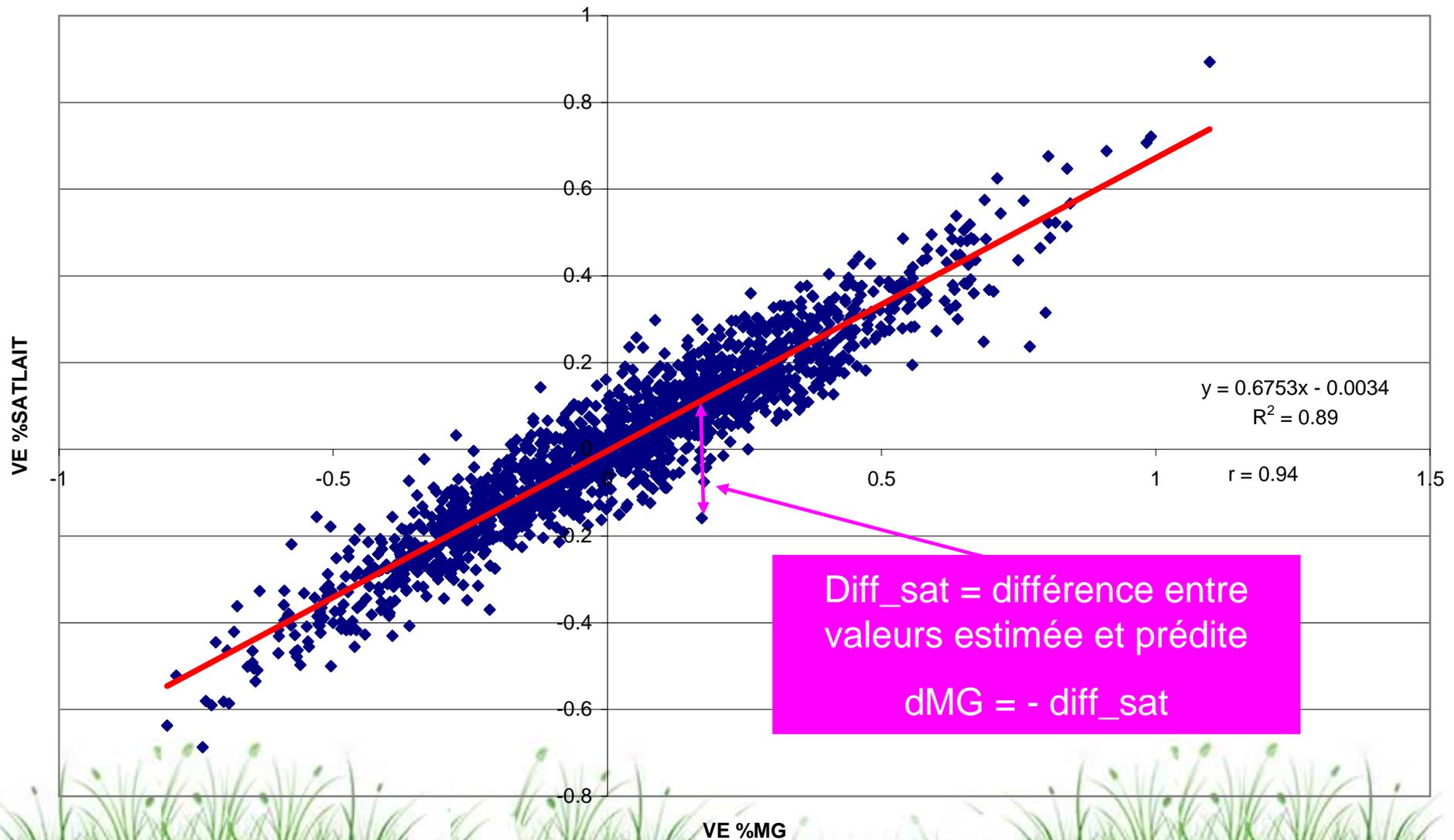
- L'application la plus connue
- Isoler la partie génétique → estimer toutes les composantes de **u**
- L'estimation de la variabilité individuelle d'un animal s'appelle **valeur d'élevage**
- Exemple, les acides gras...



# Variabilité génétique - AG



# Variabilité génétique - AG



# Variabilité génétique

- Ce type d'étude est réalisé pour tous les composés du lait prédits par MIR qui sont disponibles:
  - Matières grasses, protéines, lactose, minéraux, lactoferrine...
- Intérêts:
  - Tous les thèmes présentés



# Outil de gestion

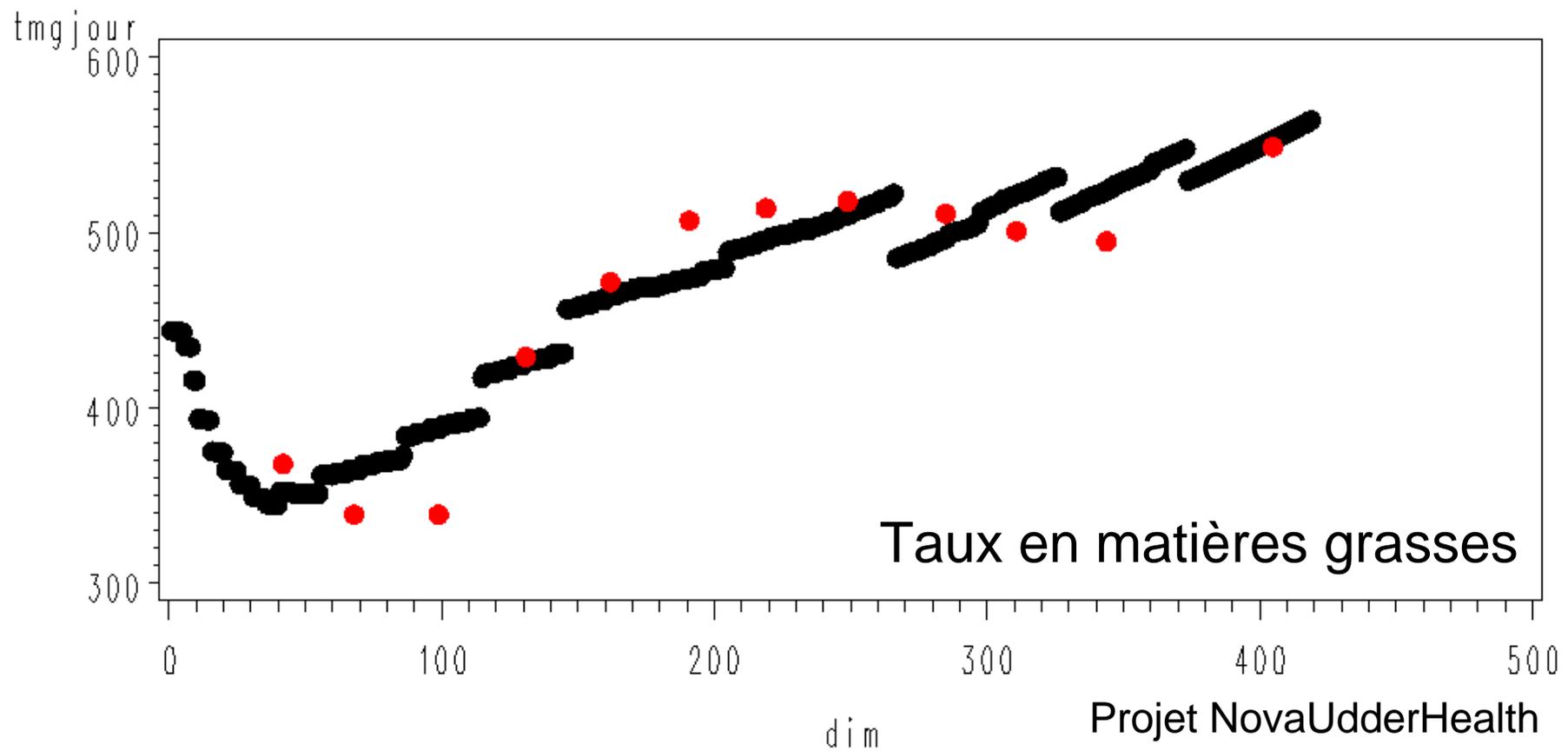
$$Y = X\beta + Zu + e$$

- A partir des solutions du modèle, modéliser la courbe de lactation
- La comparaison entre la courbe théorique et la courbe observée est informative
- Plus détaillé dans la présentation suivante
- Exemple, la matière grasse



# Gestion de troupeaux

ninterne=13724923 lact=1



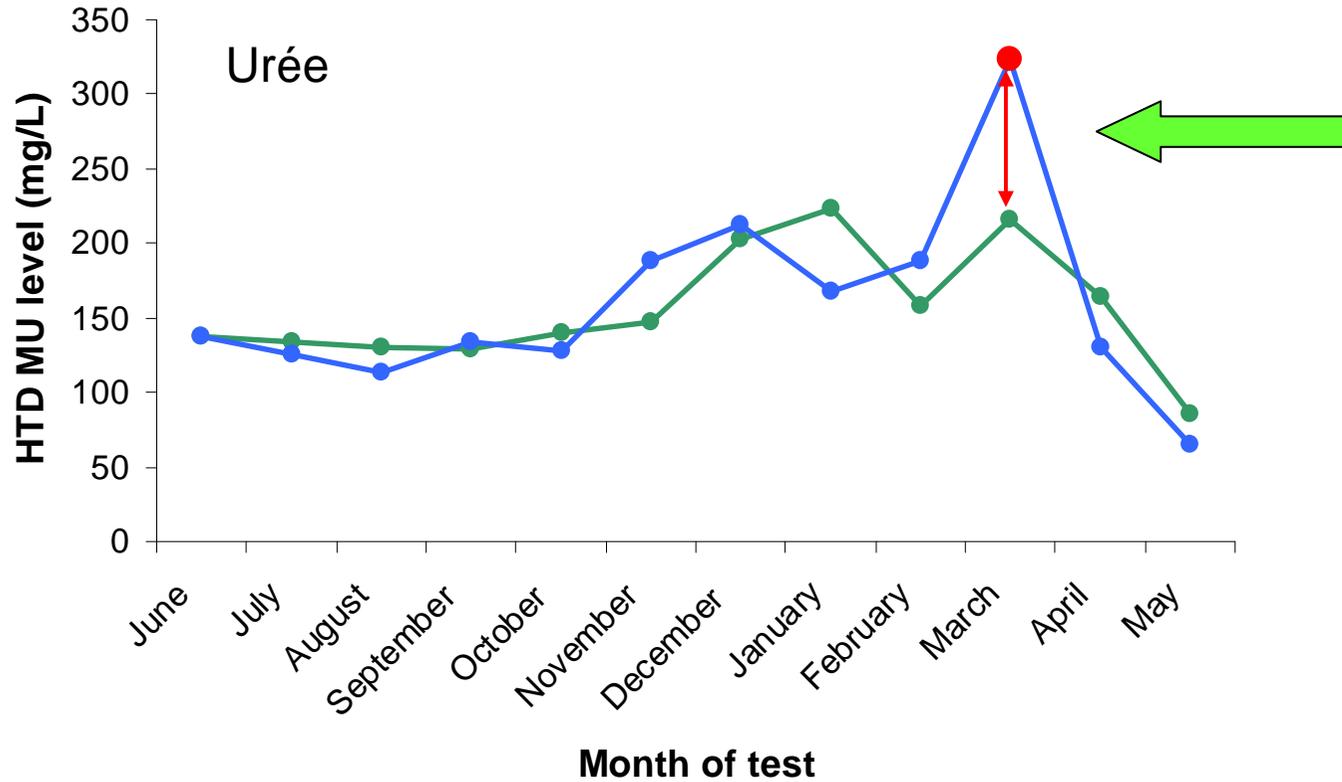
# Outil de gestion

$$Y = X\beta + Zu + e$$

- A partir des solutions du modèle, modéliser l'évolution d'un troupeau
- La comparaison entre la courbe théorique et la courbe observée est informative
- Plus détaillé dans la présentation suivante
- Exemple, l'urée



# Gestion de troupeaux



Expected HTD MU level Observed HTD MU level

Projet OptiVal



# Biodiversité

$$Y = X\beta + Zu + e$$

- En corrigeant pour les variations naturelles, le modèle permet de comparer des animaux entre eux
- Comparaison de races locales pour déterminer leurs spécificités



# Biodiversité

- Spécificité de **races locales** à partir de la composition du lait estimée par MIR

	Matières grasses (g/100g lait)		Protéines (g/100G lait)		Lactose (g/100g lait)	
	Moyenne	CV	Moyenne	CV	Moyenne	CV
Blanc Bleu de type mixte	3.58	18.90	3.32	12.14	4.62	6.96
Holstein	4.09	17.72	3.43	12.01	4.62	5.68
Jersey	5.30	19.78	3.87	12.19	4.59	5.51
Brown Swiss	4.28	16.51	3.60	11.15	4.69	5.67
Montbéliarde	4.01	16.33	3.51	10.95	4.65	5.89
Normande	4.31	16.48	3.62	11.86	4.66	5.81

- Blanc-Bleu de type mixte produit plus d'acides gras insaturés



# Conclusions

- MIR est actuellement sous-utilisée en pratique
- Intérêt incontesté du MIR pour la filière laitière dans sa globalité en utilisant:
  - Directement les prédictions MIR
  - Des modèles offrant des valorisations spécifiques pour le fermier, l'industrie laitière ou encore les associations d'élevage



# Collaborateurs

- **GxABT :**

- Nicolas Gengler - Valérie Arnould – Catherine Bastin
- Frédéric Colinet - Alain Gillon - Sylvie Vanderick

- **CRA-W :**

- Frédéric Dehareng - Pierre Dardenne



- **Comité du Lait :**

- Didier Veselko – Emile Piraux



- **AWE :**

- Carlo Bertozzi – Laurent Laloux – Xavier Massart



# Merci pour votre attention

Spectromètre MIR

