

# L'indexation sur les contrôles élémentaires : démarches et principes de la méthode



[www.lavache.com](http://www.lavache.com)

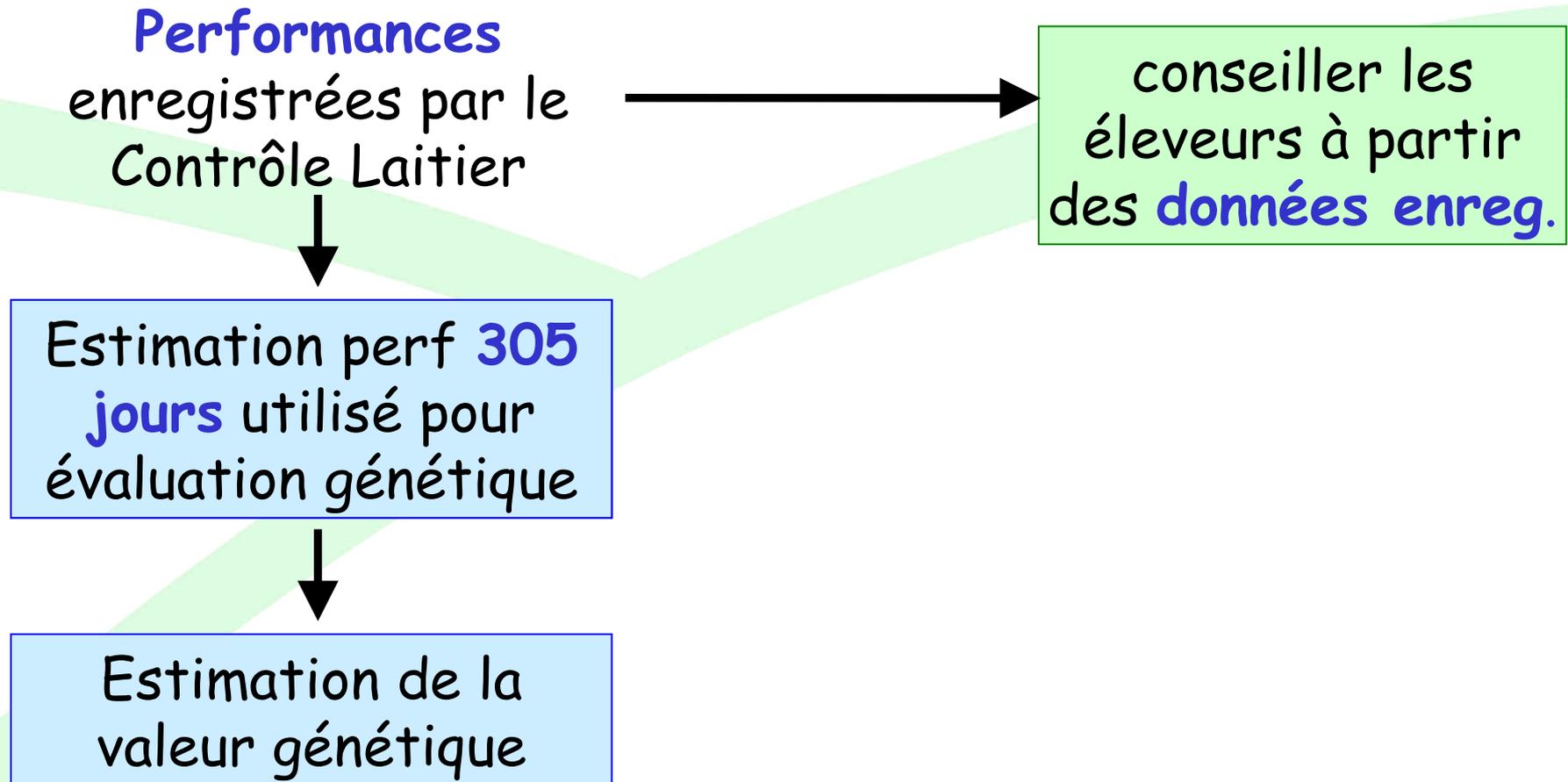


**Hélène Leclerc (Institut de l'Élevage)**

# Le contexte



# Des données lactation au contrôles élémentaires



# Des données lactation au contrôles élémentaires

Performances  
enregistrées par le  
Contrôle Laitier

Conseiller les  
éleveurs à partir  
des données **enreg.**  
+ données **enrichies**

utilise **direct perfs**  
**enreg.** → évaluation **G** sur  
contrôles **élémentaires**

Estimation **plus précise**  
de la valeur **génétique**

**Objectifs = valoriser pleinement  
toutes les infos dispos  
pour le conseil en élevage**

# La méthodologie



# Données longitudinales

On dit de données qu'elles sont « longitudinales » quand ces données sont des mesures sur un **même** individu **répétées** dans le temps

En élevage, c'est le cas de nombreux caractères =

- Croissance d'un animal (mesurée de façon régulière)
- Sa production (lait, œuf, laine)
- L'ingestion journalière

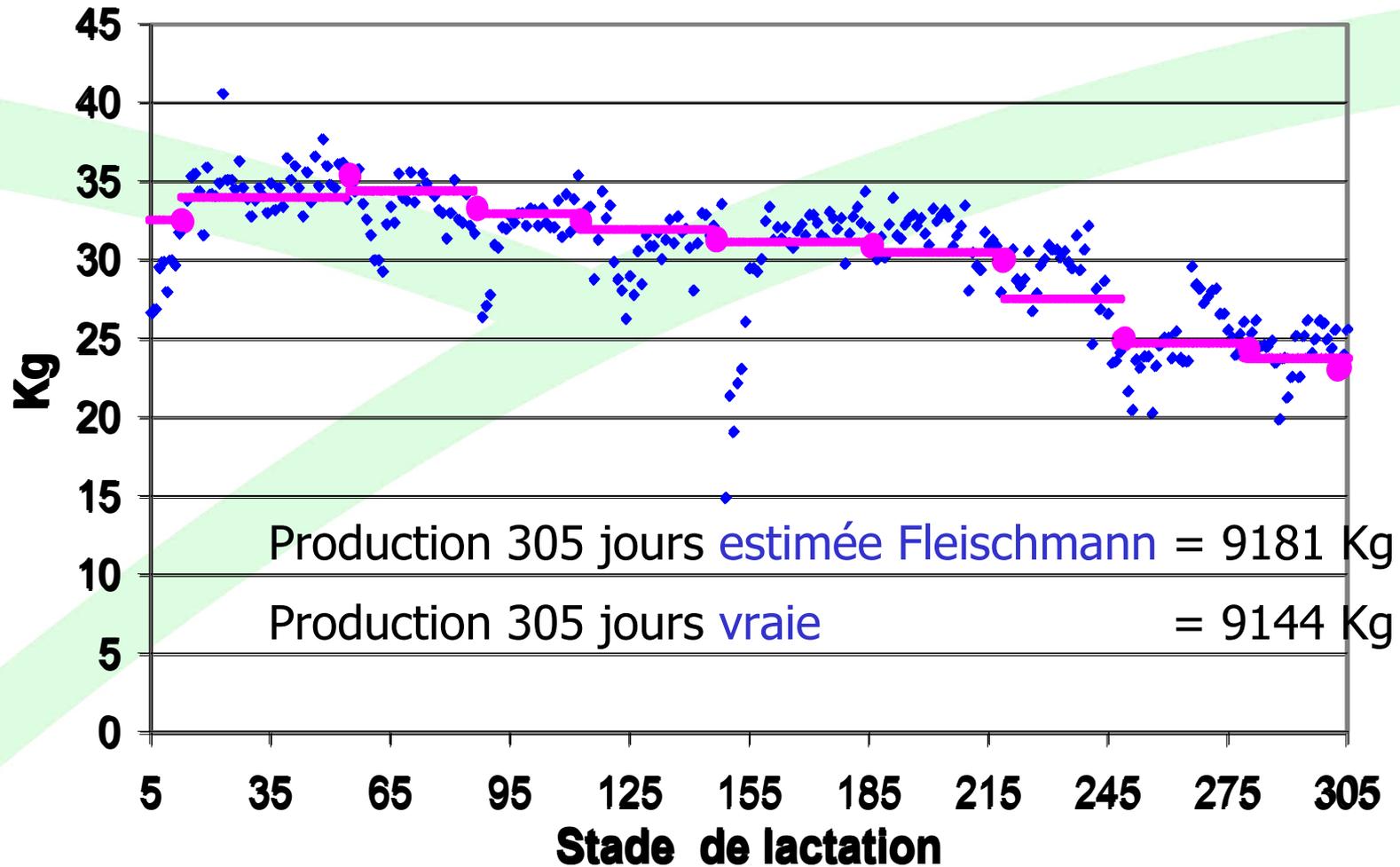
# Les modèles de contrôles élémentaires

Données = mesures répétées imposent de tenir compte de la **répétabilité** des mesures

Deux approches possibles :

- **modèle multicaractère** = les différentes mesures correspondent à **des caractères différents** mais génétiquement corrélés (ex : croissance en bovins allaitant)
- **modèle contrôles élémentaires** (TDM) = les différentes mesures correspondent à **un même caractère** mais dont la structure des covariances évolue au cours du temps. (Régression Aléatoire ou Fonction de covariance)

# Production journalière de lait



# Du modèle « lactation » aux « contrôles élémentaires »

## Lactation

Evaluation génétique à partir de la **production cumulée sur 305 jours** (Lait, MG, MP, TB, TP)



Exemple :  
la vache précédente qui a produit **9181 kg de Lait**

## Contrôles élémentaires

Evaluation génétique à partir des productions journalière de Lait, MG, MP, taux de **chacun des contrôles** (1 lactation  $\approx$  10 données)

Stade (j)	Lait (Kg)	Stade (j)	Lait (Kg)
13	32.5	186	30.9
55	35.4	219	30.0
87	33.3	249	25.0
113	32.5	280	24.3
147	31.3	305	25.6

# Modélisation de la production

## Modèle contrôles élémentaires

= 2 séries de régressions sur le stade de lactation

### Régression fixe

+

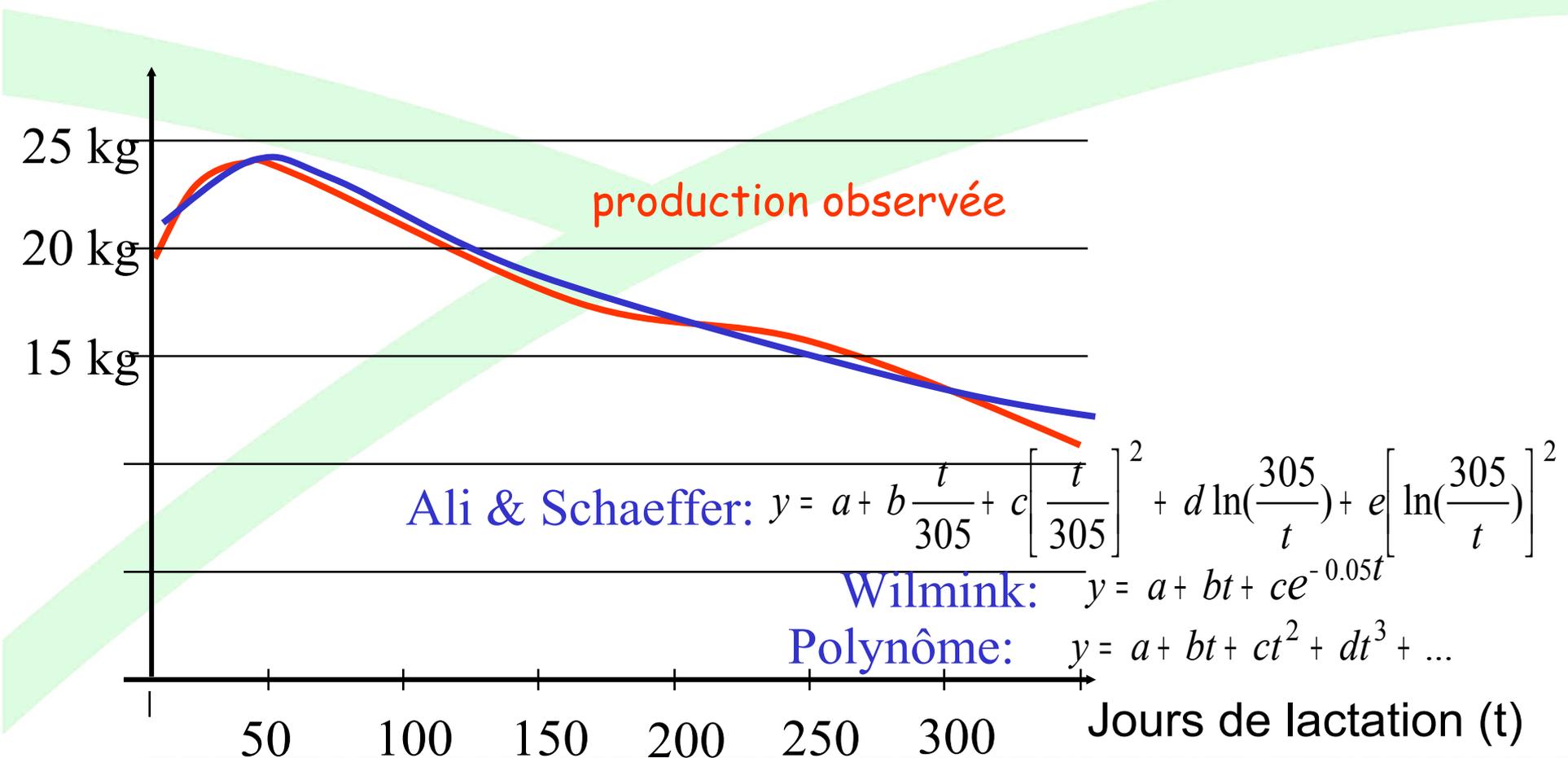
### Régression aléatoire

Décrit la forme générale de la courbe de lactation en fonction d'un groupe de référence (région de production, âge et mois de vêlage...)

Décrit la déviation par rapport à la courbe de référence (variable suivant le stade de lactation) spécifique à l'animal (effet génétique et environnement permanent)

# Différents types de modélisation

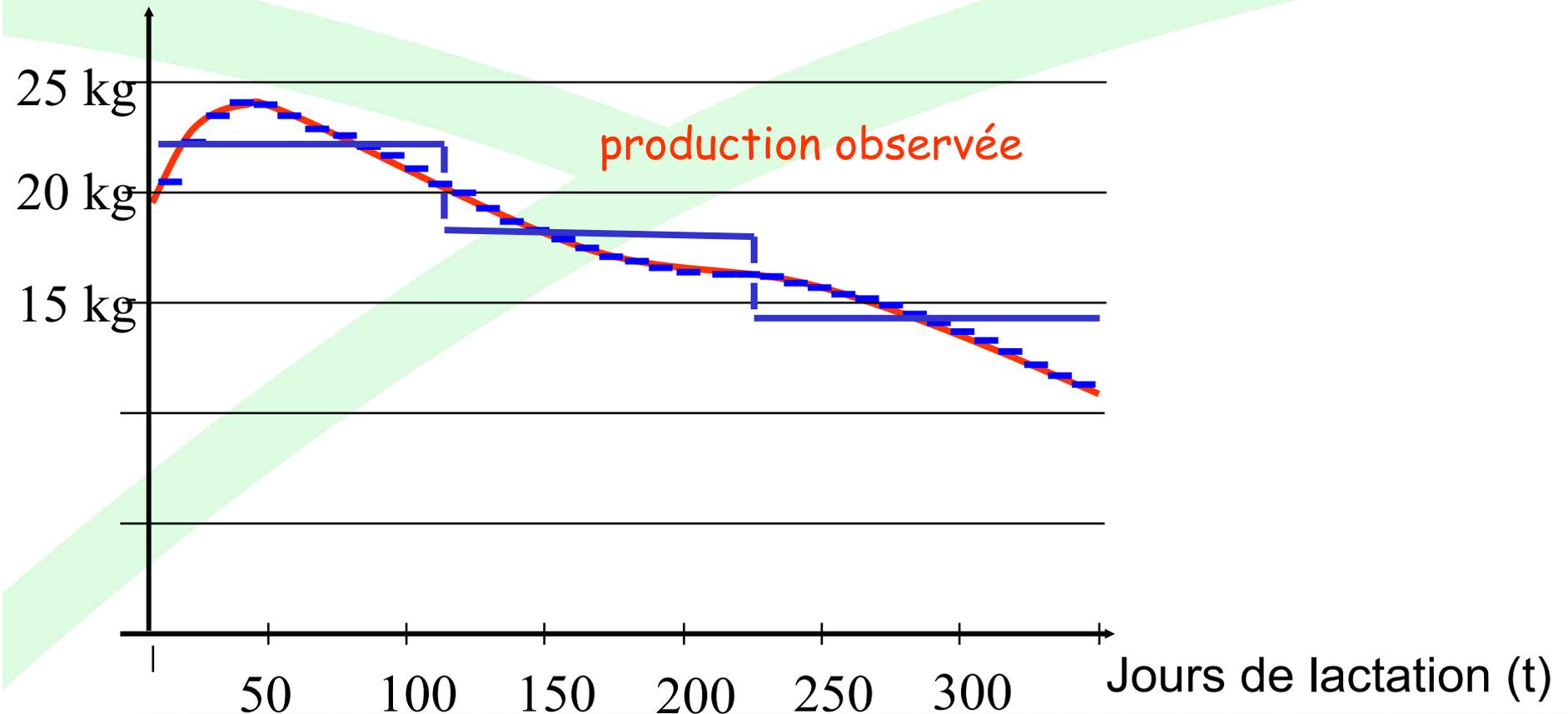
## Courbes paramétriques



# Modélisation de la production

Courbes paramétriques

Courbes non paramétriques



# Modélisation de la production

Courbes paramétriques → Régression aléatoire

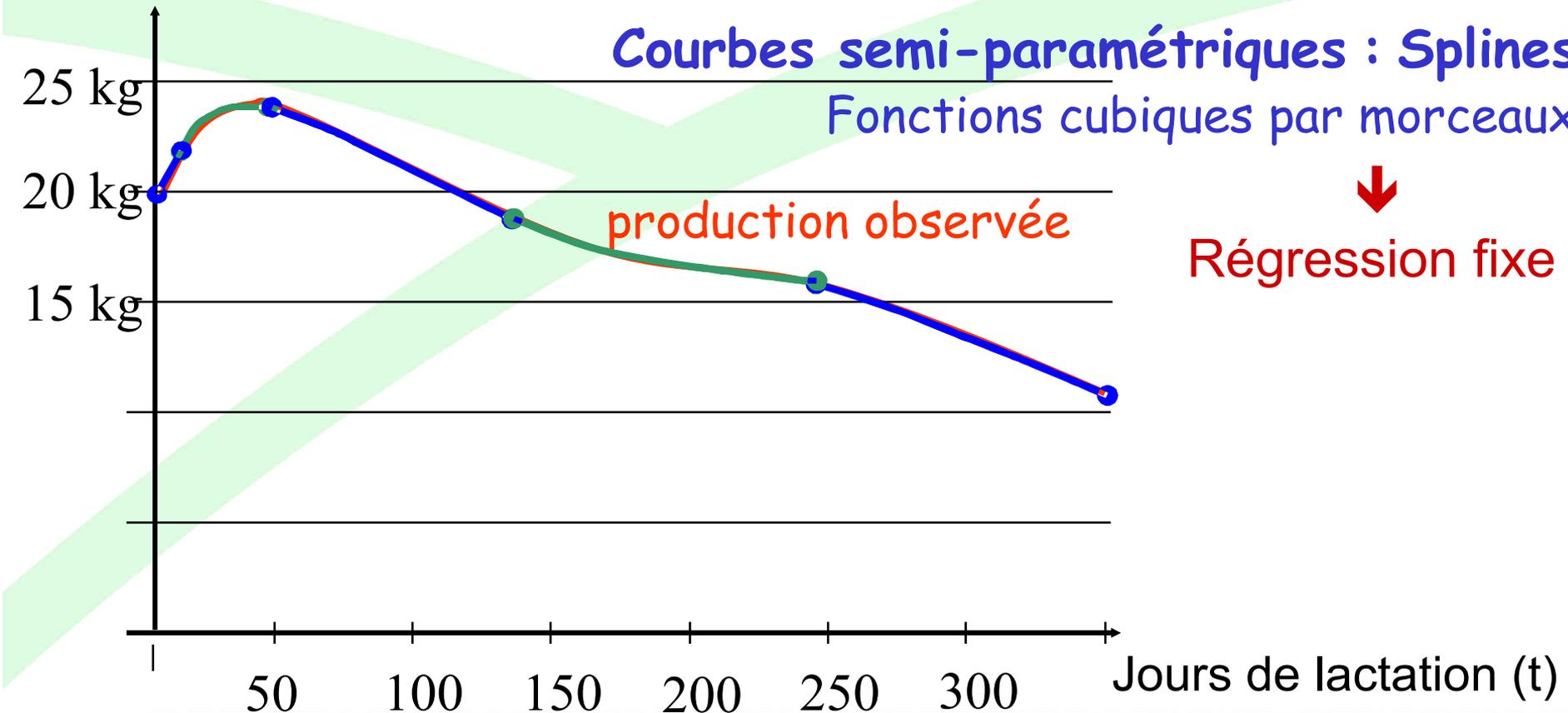
Courbes non paramétriques

Courbes semi-paramétriques : Splines

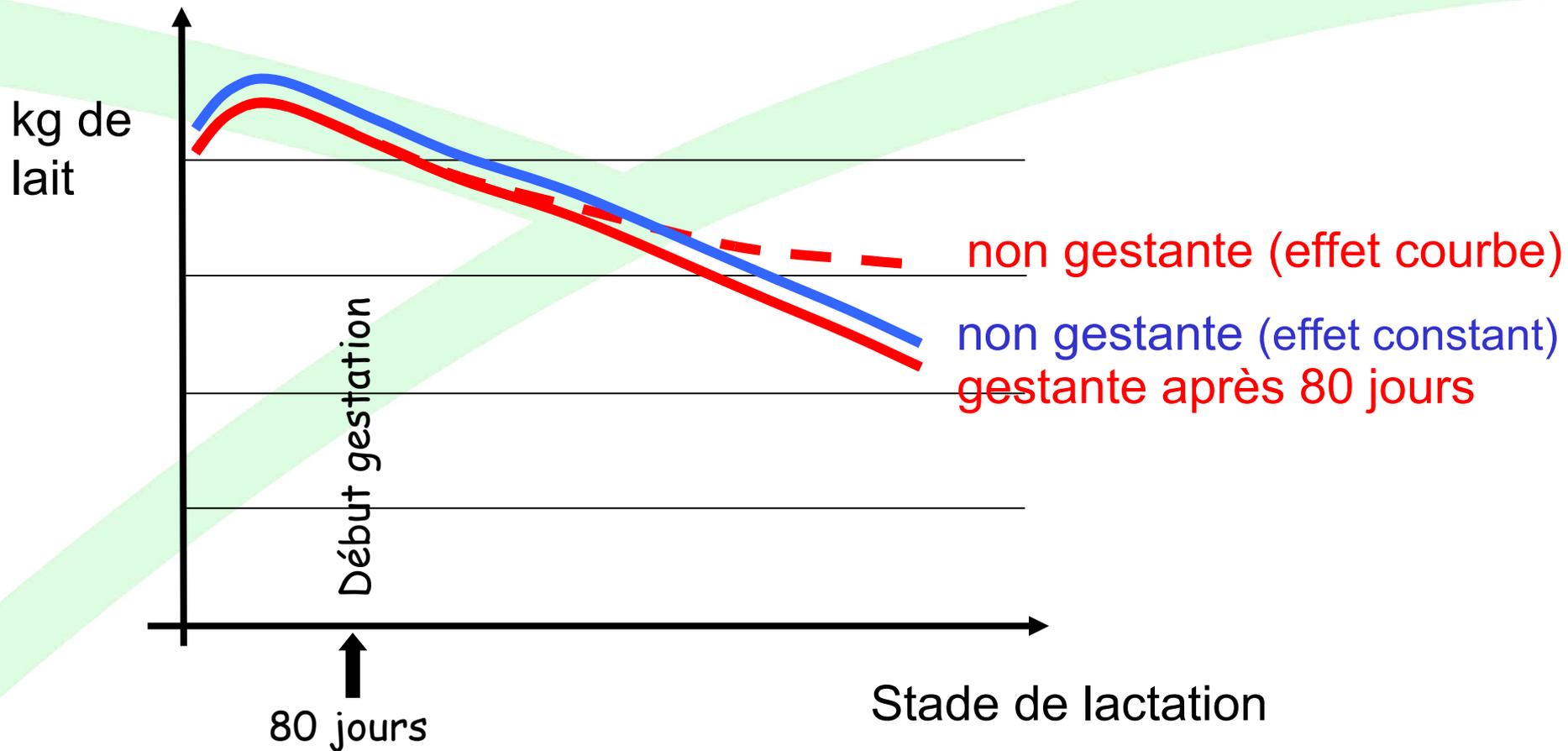
Fonctions cubiques par morceaux



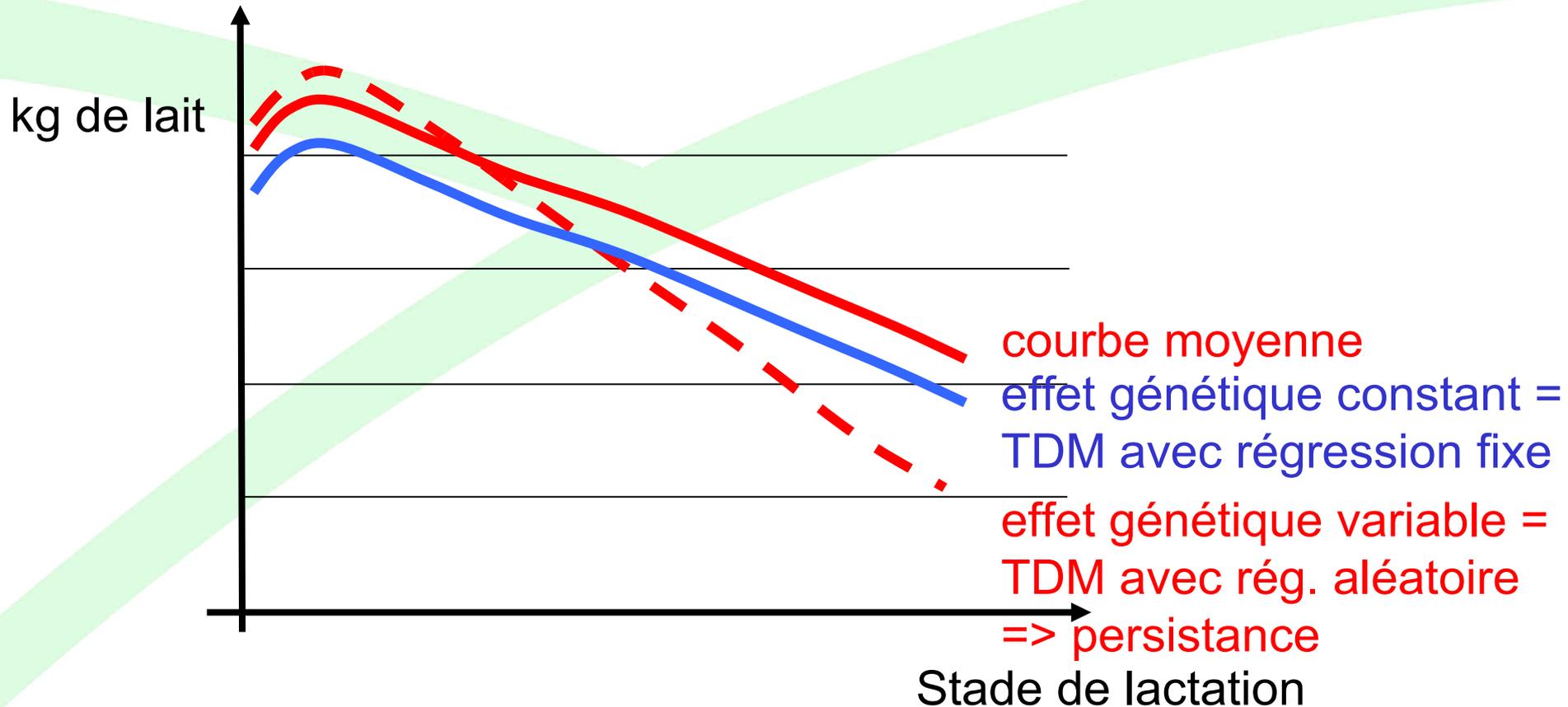
Régression fixe



# Intérêt d'une modélisation sous forme de courbes = Plus de souplesse...



# Plus de souplesse...



# Le modèle d'évaluation génétique français

**Production** mesurée lors d'un contrôle =

EFFETS FIXES

- Effet troupeau x jour de contrôle (TJC)
- Courbe (splines) région x rang de lactation x
  - classe d'âge au vêlage
  - classe de mois de vêlage
  - classe de durée de tarissement
  - effet gestation
- Constante région x année x rang de lactation x effets

ALEATOIRES

- *Courbe génétique*
- *Courbe effet environnement permanent*
- *Courbe troupeau x année*
- *Résiduelle avec variance hétérogène*

# Le modèle d'évaluation génétique français

**Production** mesurée lors d'un contrôle =

EFFETS FIXES

- Effet troupeau x jour de contrôle (TJC)
- Courbe (splines) région x rang de lactation x
  - classe d'âge au vêlage
  - classe de mois de vêlage
  - classe de durée de tarissement
  - effet gestation
- Constante région x année x rang de lactation x effets

ALEATOIRES

- Courbe **génétique** (niveau production + persistance par lact.)  
1<sup>ère</sup> vs 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> lactation
- Courbe effet **environnement permanent**
- Courbe **troupeau x année**
- **Résiduelle** avec variance hétérogène

# Le modèle d'évaluation génétique des comptages leucocytaires

**Comptage** mesuré lors d'un contrôle =

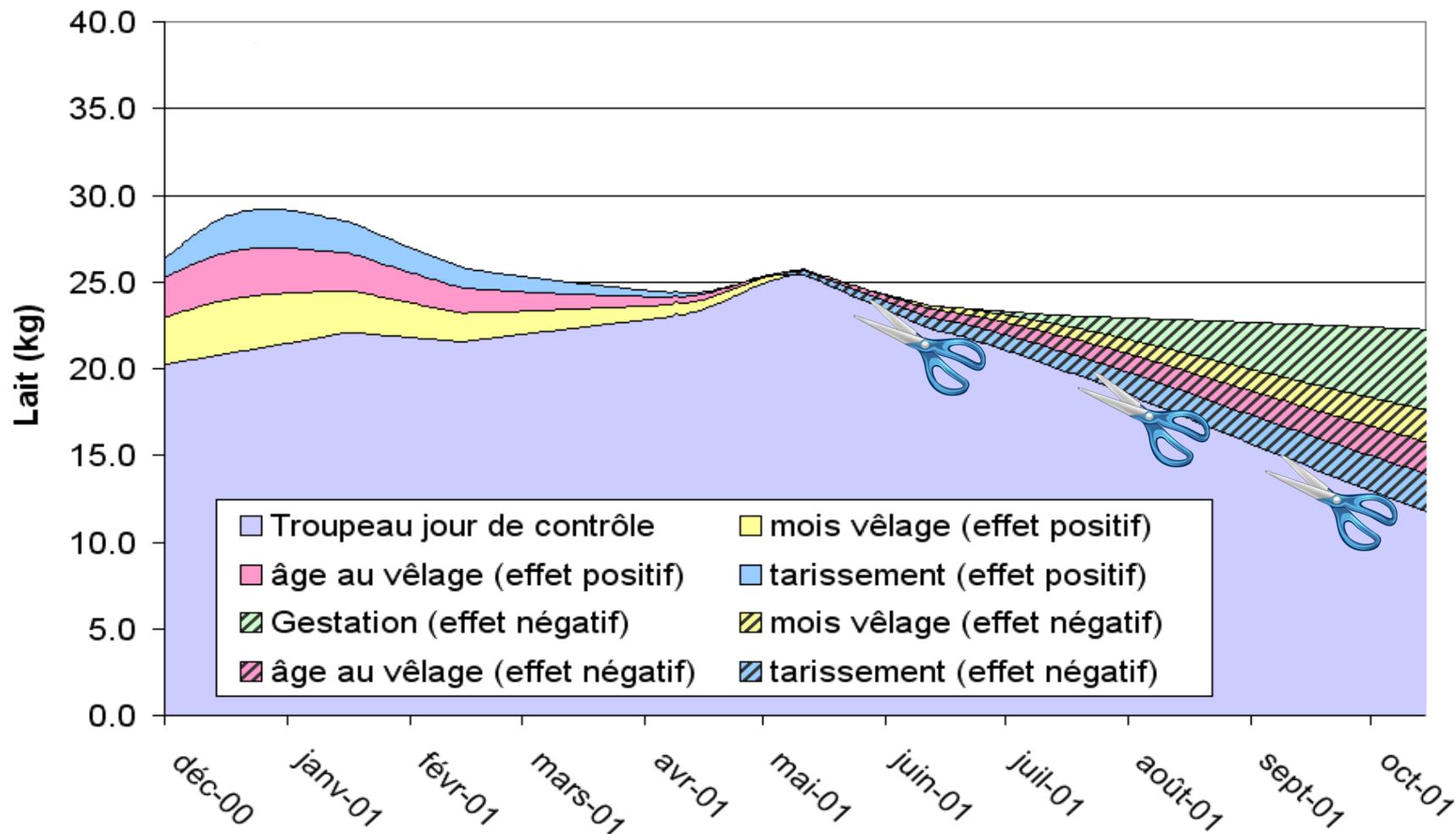
EFFETS FIXES

- Effet troupeau x jour de contrôle (TJC)
- Courbe (splines) région x rang de lactation x
  - classe de mois de vêlage
  - effet gestation
- Constante région x année x rang de lactation x effets (âge au vêlage, mois de vêlage et durée de tarissement)

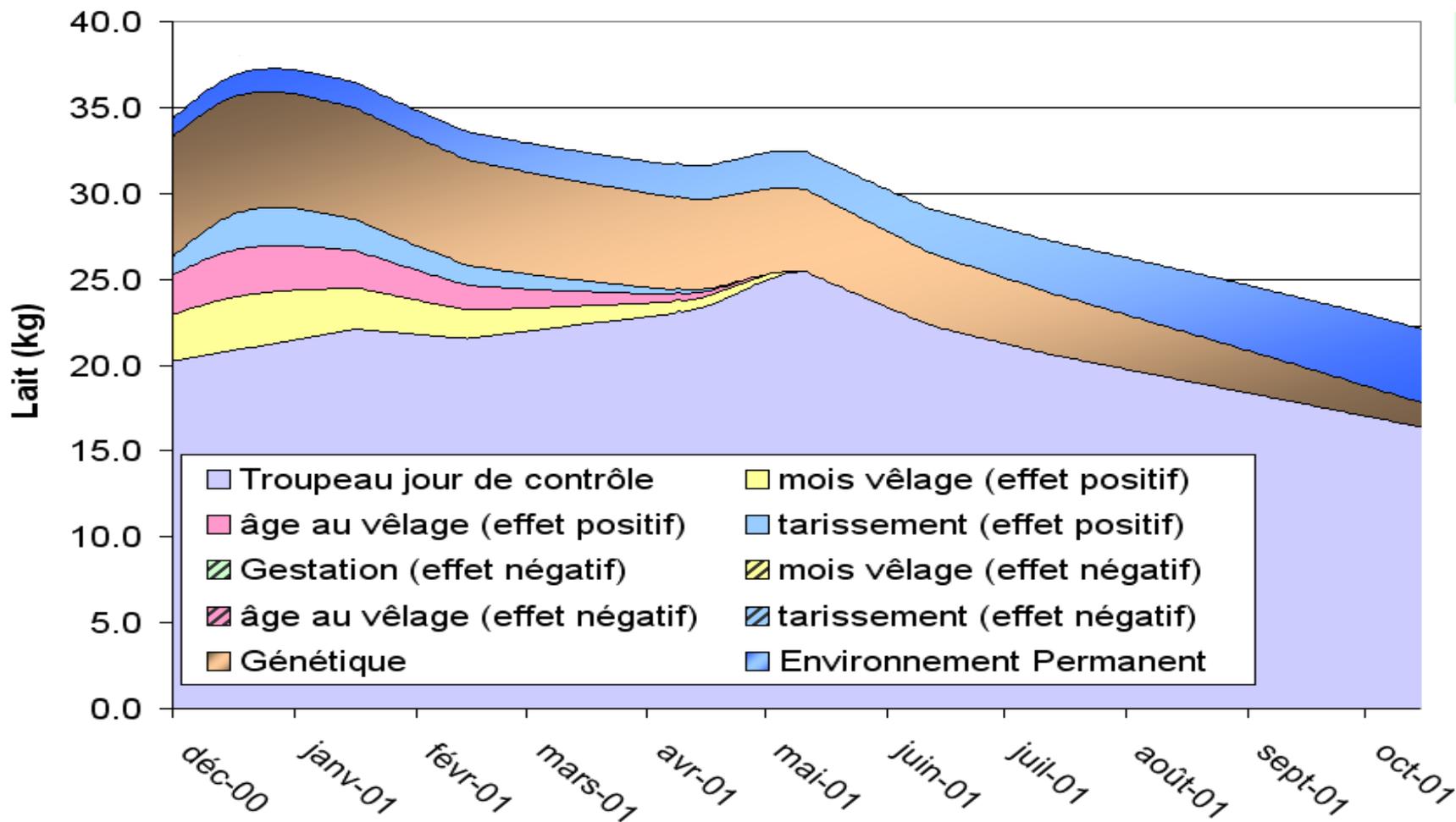
ALEATOIRES

- Courbe génétique
- Courbe effet environnement permanent
- Résiduelle avec variance hétérogène

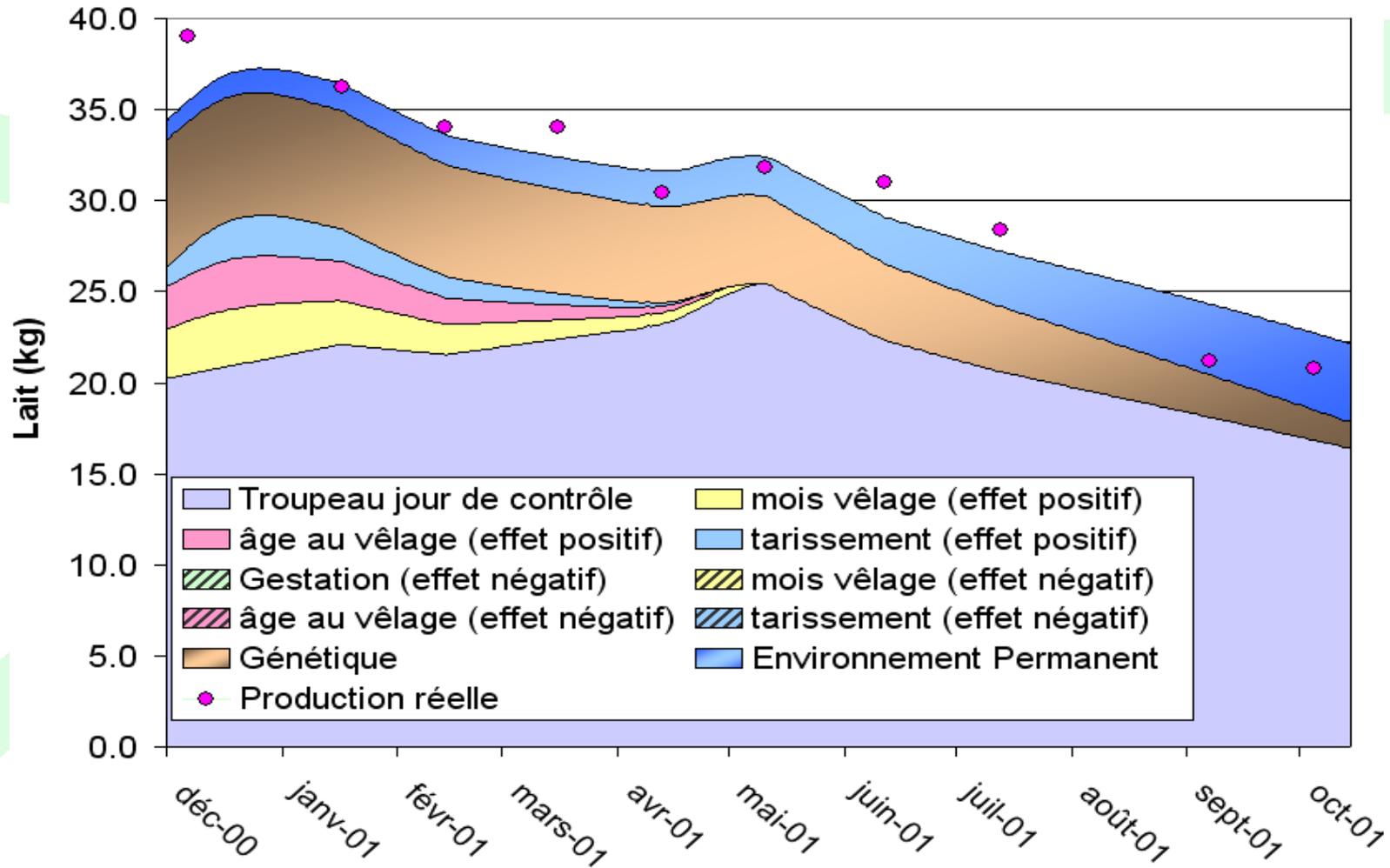
# Reconstruction de la courbe de production (2<sup>ème</sup> lact. Montbél.) à partir des effets du modèle



# Reconstruction de la courbe de production (2ème lact. Montbél.) à partir des effets du modèle



# Reconstruction de la courbe de production (2<sup>ème</sup> lact. Montbél.) à partir des effets du modèle



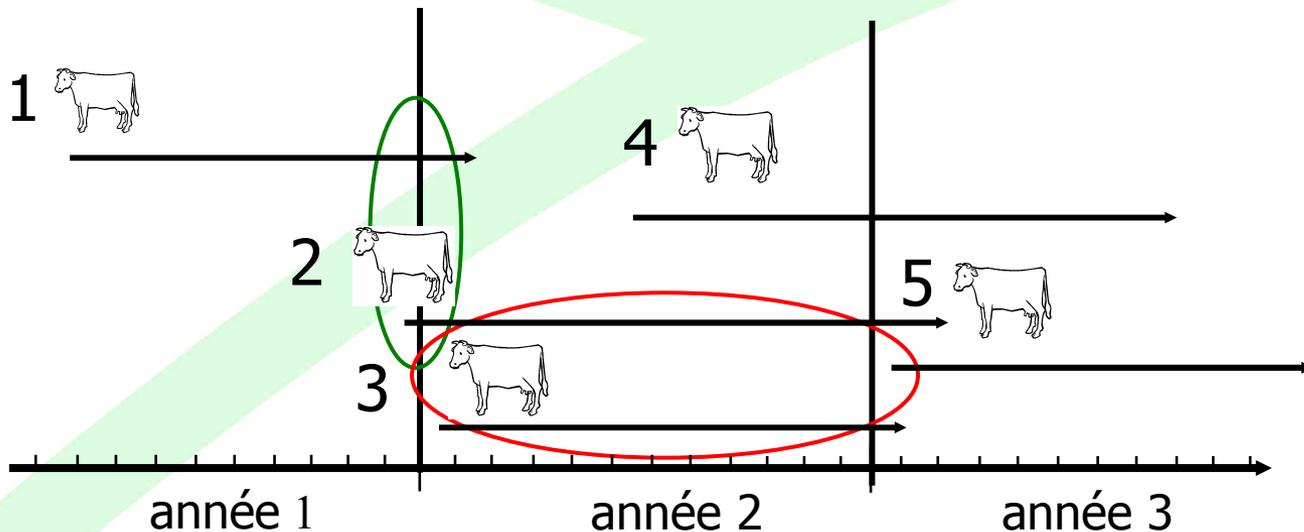
# Les intérêts



# Une meilleure prise en compte des effets

**Principe** : chaque effet influence individuellement chaque contrôle au lieu de la lactation complète, par exemple :

## 1) L'effet troupeau x année

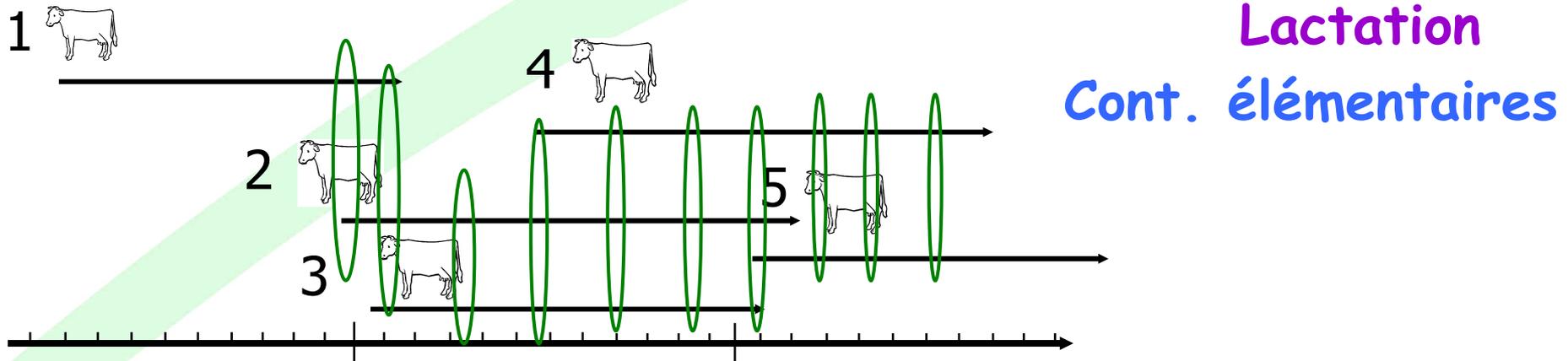


Lactation

# Une meilleure prise en compte des effets

**Principe** : chaque effet influence individuellement chaque contrôle au lieu de la lactation complète, par exemple :

1) L'effet **troupeau x année** → troupeau x jour de contrôle (TJC)



# Une meilleure prise en compte des effets

**Principe** : chaque effet influence individuellement chaque contrôle au lieu de la lactation complète, par exemple :

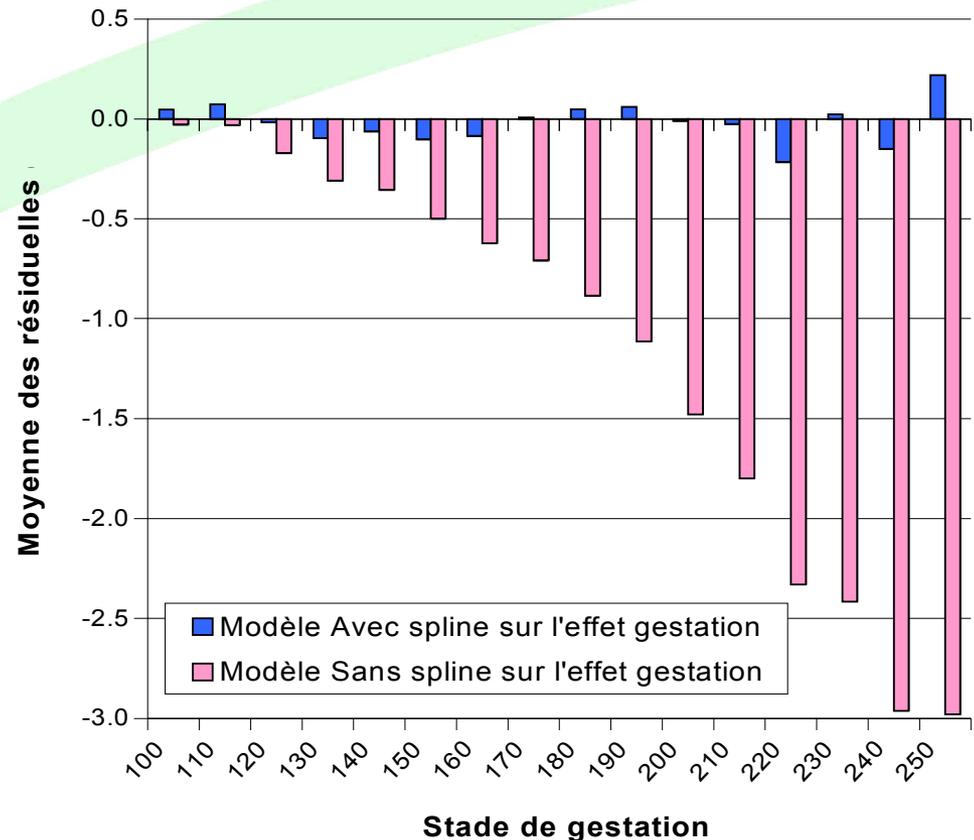
- 1) L'effet **troupeau x année** → **troupeau x jour de contrôle**
- 2) Les effets fixes :
  - classe d'âge au vêlage
  - classe mois de vêlage
  - classe tarissement } **constante**  
↓  
Modélisation sous forme de **courbes**
- 3) L'effet d'une éventuelle gestation ne s'applique que sur **les contrôles impactés par la gestation**

# Exemple : impact de l'effet gestation

Compare **Modèle incluant une courbe** vs **Modèle sans courbe** sur la gestation

Analyse des résiduelles par classe classe de stade de gestation

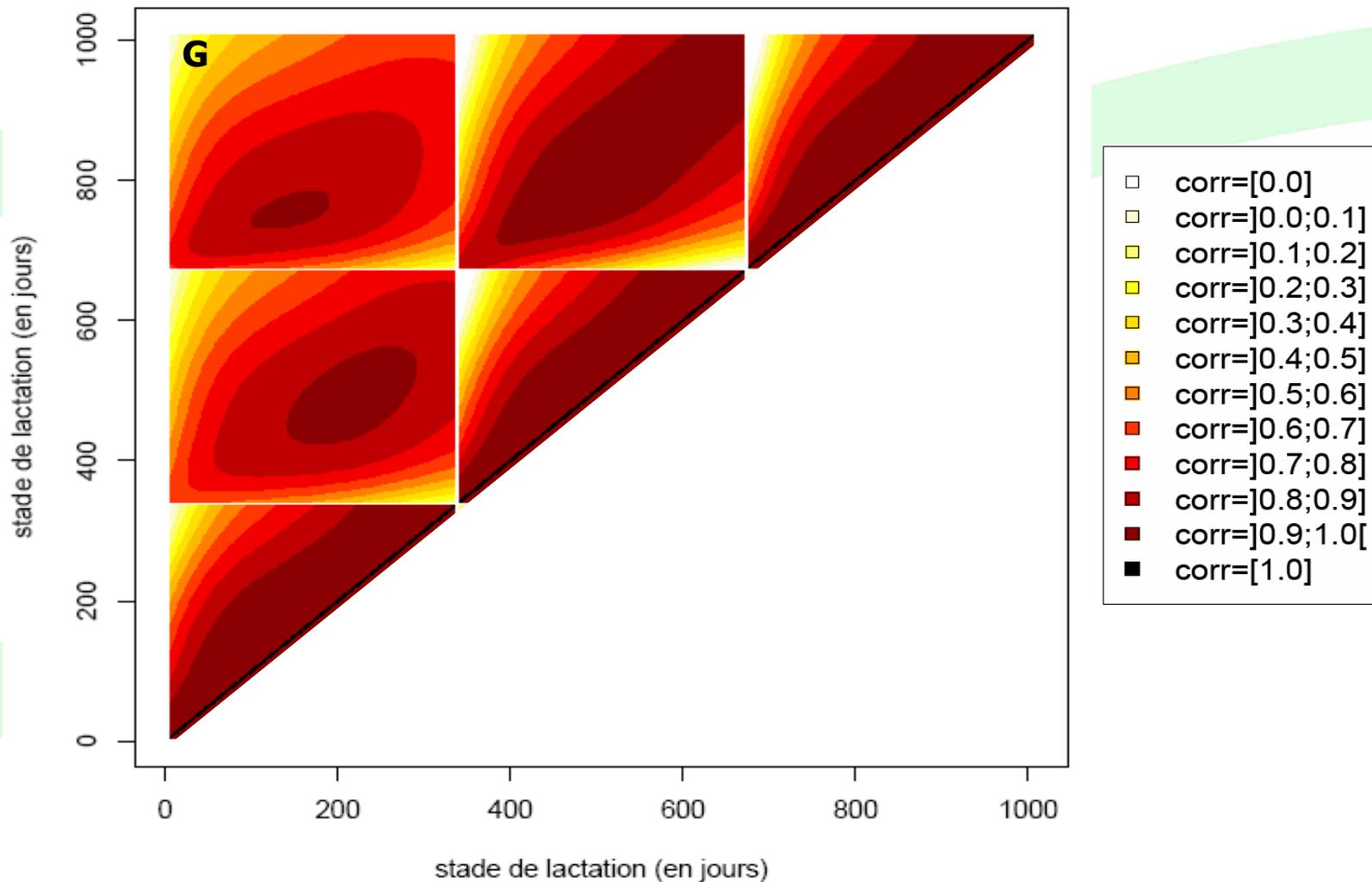
⇒ La gestation doit être modélisée sous forme de courbe dans le modèle TDM



# Intérêt d'une modélisation de la production sous forme de courbes

- Évaluation de la **persistance** et de la **maturité**
- **effets fixés variables au cours de la lactation** (stade de lactation, gestation, âge, saison)
- prendre en compte différentes **formes de courbes de lactation entre troupeaux** (nutrition, etc.)
- Prise en compte automatique des **corrélations et de l'intervalle entre contrôles** ⇒ (A terme) devrait offrir plus de souplesse vis-à-vis protocole CL

# Corrélation entre les différents stades de lactation (Génétique)





# Intérêts de l'évaluation basée sur les contrôles élémentaires

## Point de vue génétique

- ✓ Flexibilité (diversité protocoles de collectes données CL)
- ✓ ~~Extrapolation des lactations en cours / courtes~~  
~~Correction des lactation longues~~
- ✓ Corrige les données pour les effets d'environ<sup>t</sup> du jour du contrôle (stade de lactation, gestation...)
- ✓ Prise en compte de la persistance et de la maturité

## Point de vue technique

- ✓ Etudier impact sur la production de facteurs (rang lactation, âge au vêlage, saison, stade de lactation lors de la fécondation, intervalle entre vêlage) à travers les courbes de lactation
- ✓ Développer outils de gestion technique (individuel/troupeau)

# En pratique

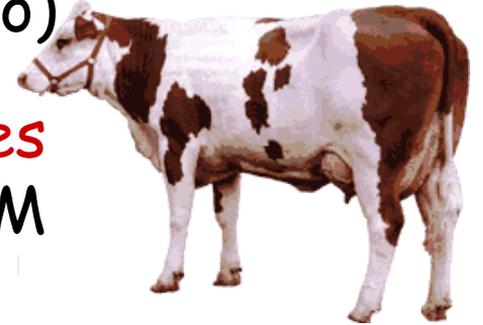


# Les données prises en compte dans le modèle

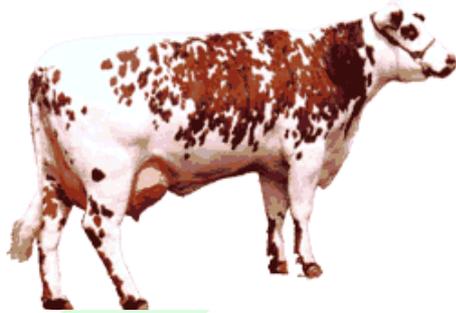
- 3 races dans un 1<sup>er</sup> temps évaluées race par race



161 Millions de données journalières  
(61,9% des 261 M dispo)



27 Millions de données  
(67,5% des 40 M dispo)



24 Millions de données journalières  
(62,9 % des 37 M dispo)

- Contrôles entre 7 et 335 jours (7,7% / 4,0% / 4,8%)
- 1<sup>ère</sup>-3<sup>ème</sup> lact avec 1<sup>ère</sup> lact oblig (0,6% / 0,7% / 0,5%)
- Lait, MG, MP, ~~TB~~, ~~TP~~ et SCS

# Les données prises en compte dans le modèle

- VL dont le **père est connu** (8,5% / 9,7% / 9,6%)
- VL avec **date naiss + vêlage connues** (0,12% / 0,22% / 0,03%)
- VL nées depuis **1<sup>er</sup> janv 1988** (19,3% / 14,0% / 17,4%)
- **Contraintes d'effectifs minimum** (1,0% / 2,6% / 3,9%)
  - 3 VL** d'une race donnée dans le troupeau **par contrôle** répondant à l'ensemble des critères (stade 7 - 335 jours, lact 1 à 3 ...) → définir **l'effet TJC**
  - 30 performances** d'une race donnée dans le troupeau **par campagne** (soit en moyenne 3 VL sur chacun des 10 contrôles)

# Une évaluation génétique plus riche

**Info disponibles** pour chaque caractère,

- Un index **niveau de production** pour chacune des lact 1 à 3
- Un index **persistance** pour chacune des lact 1 à 3
- Un index **maturité** (différence entre L1 et lactation adulte)

**Info diffusées** pour chaque caractère

- Un index **global niveau de prod** ( $0,5 L1 + 0,3 L2 + 0,2 L3$ )  
**Attention** risque variation index à l'arrivée des L2

**Info diffusées** pour la **Quantité de Lait**

- Un index **persistance** de la **L1**
- Un index **maturité** ?

# Les perspectives de valorisation du modèle contrôles élémentaires



# Des perspectives nombreuses

- **Mise en œuvre** officielle de l'évaluation génétique = **mi-2010** avec pour pré-requis la validation du progrès génétique (éval Internationale)
- **Développements d'outils d'appui technique**
  - au niveau de l'animal, du troupeau, d'une région...
  - à l'échelle du prochain contrôle, de la lactation...

# Valorisation à travers des outils d'appui technique

Exploitation laitière en **profonde évolution** :

- baisse du nombre et augmentation taille
- disparition programmée des quotas
- volatilité des prix
- nouvelles exigences sociétales (environ<sup>t</sup>, bien-être)

⇒ Propose d'améliorer et développer de nouveaux **indicateurs techniques précis et systématiques** pour repérer rapidement les problèmes alimentaires, sanitaires...

**Prédire la production** =  pour l'appui technique

# Appui technique au niveau du troupeau = Analyse de l'effet TJC

**Production** mesurée lors d'un contrôle =

EFFETS FIXES

- Effet troupeau x jour de contrôle (TJC)
- Courbe (splines) région x rang de lactation x
  - classe d'âge au vêlage
  - classe de mois de vêlage
  - classe de durée de tarissement
  - effet gestation
- Constante région x année x rang de lactation x effets

ALEATOIRES

- *Courbe génétique*
- *Courbe effet environnement permanent*
- *Courbe troupeau x année*
- *Résiduelle avec variance hétérogène*

# Analyse des effets troupeau x jour de contrôle

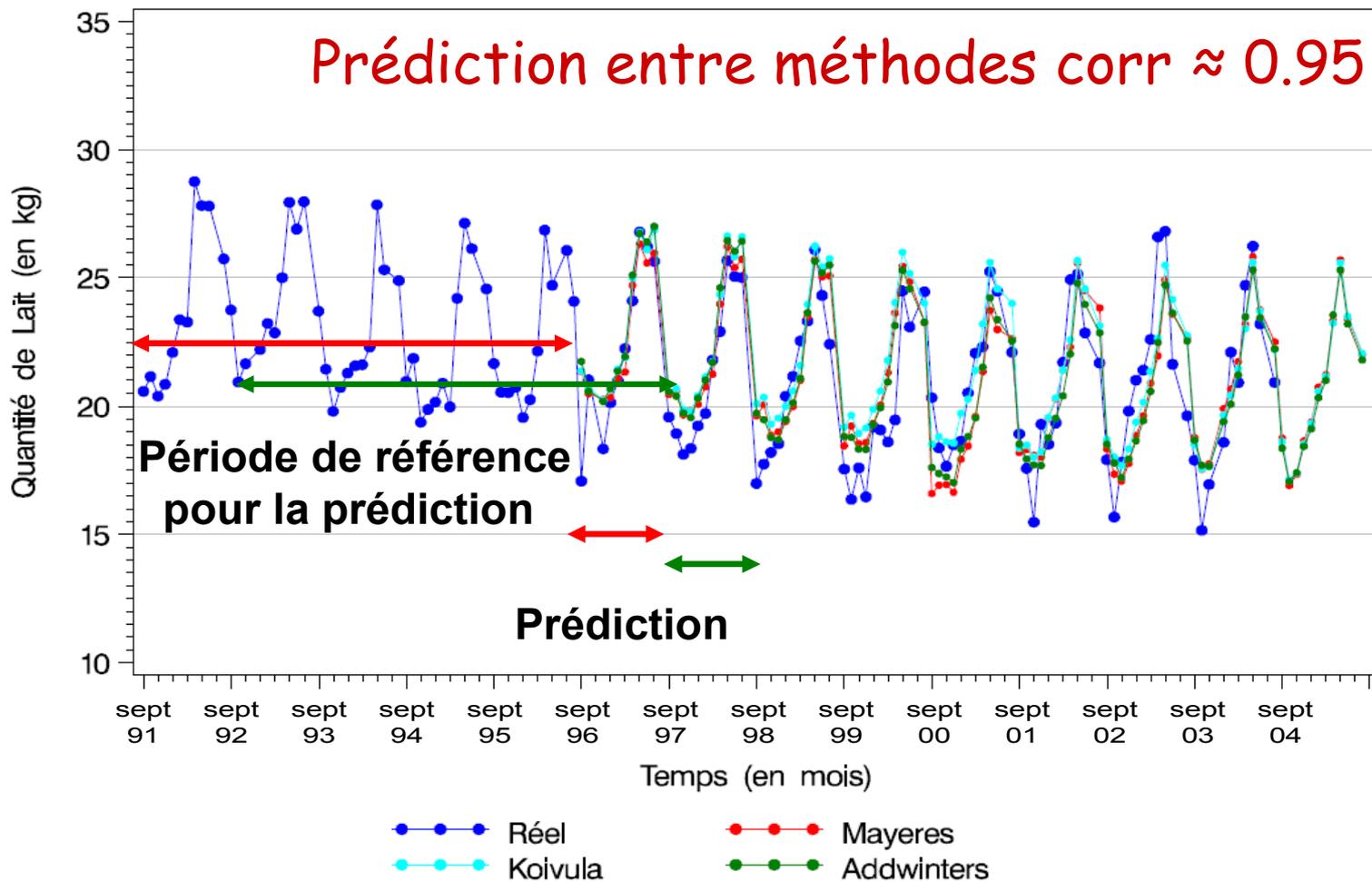
L'effet **troupeau x jour de contrôle** (TJC) caractérise finement les effets d'environnement à court terme comme l'alimentation, la météorologie, l'état de santé du troupeau...

⇒ **Bon indicateur** de la conduite du troupeau

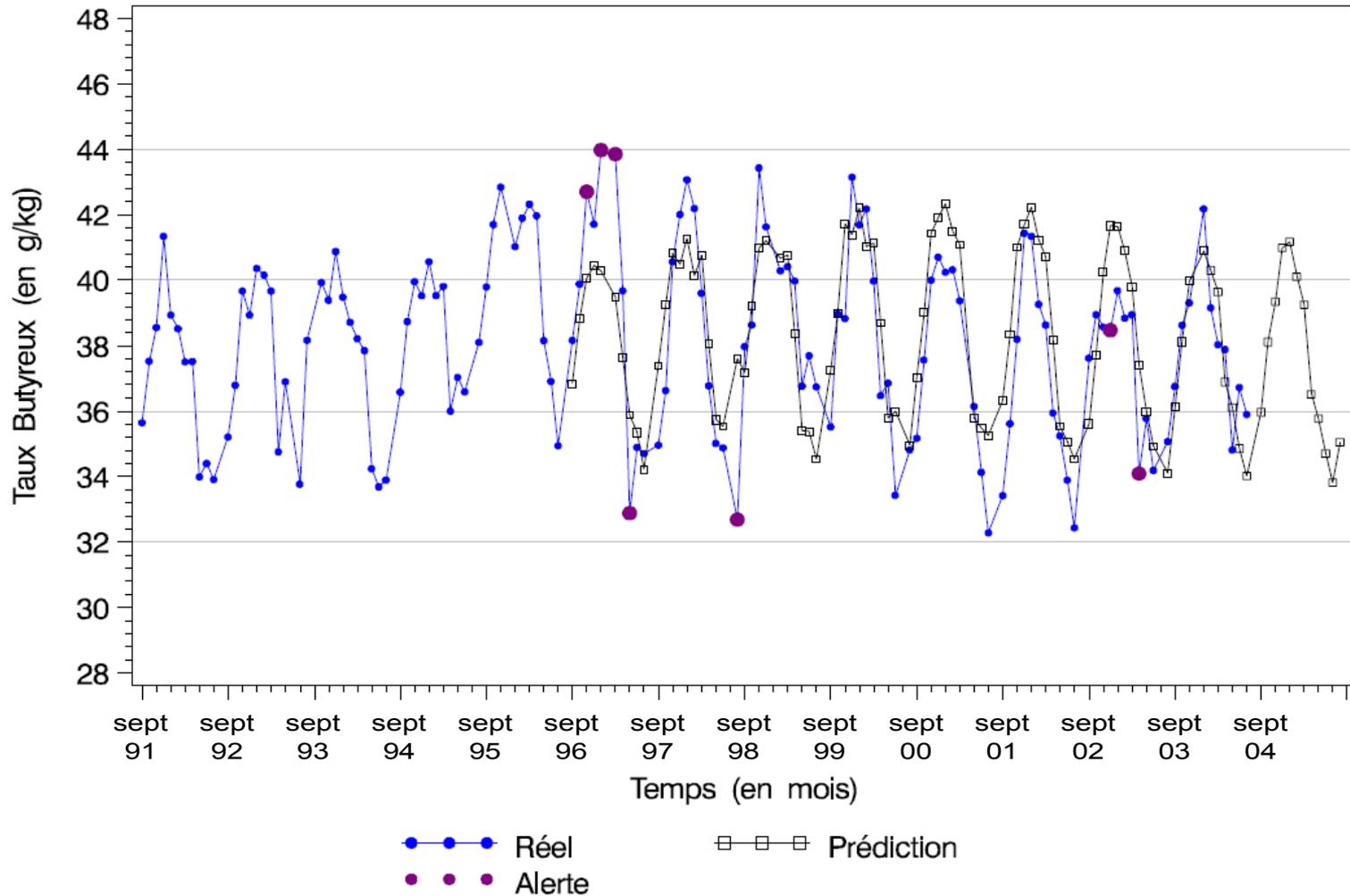
## OBJECTIFS

- ✓ **Prédire** l'effet TJC pour les mois futurs comme élément essentiel de prédiction de la production
- ✓ Éléments de **suivi technique** afin de **détecter** d'éventuels problèmes en comparant la valeur TJC **prédite** et la valeur TJC **réalisée**

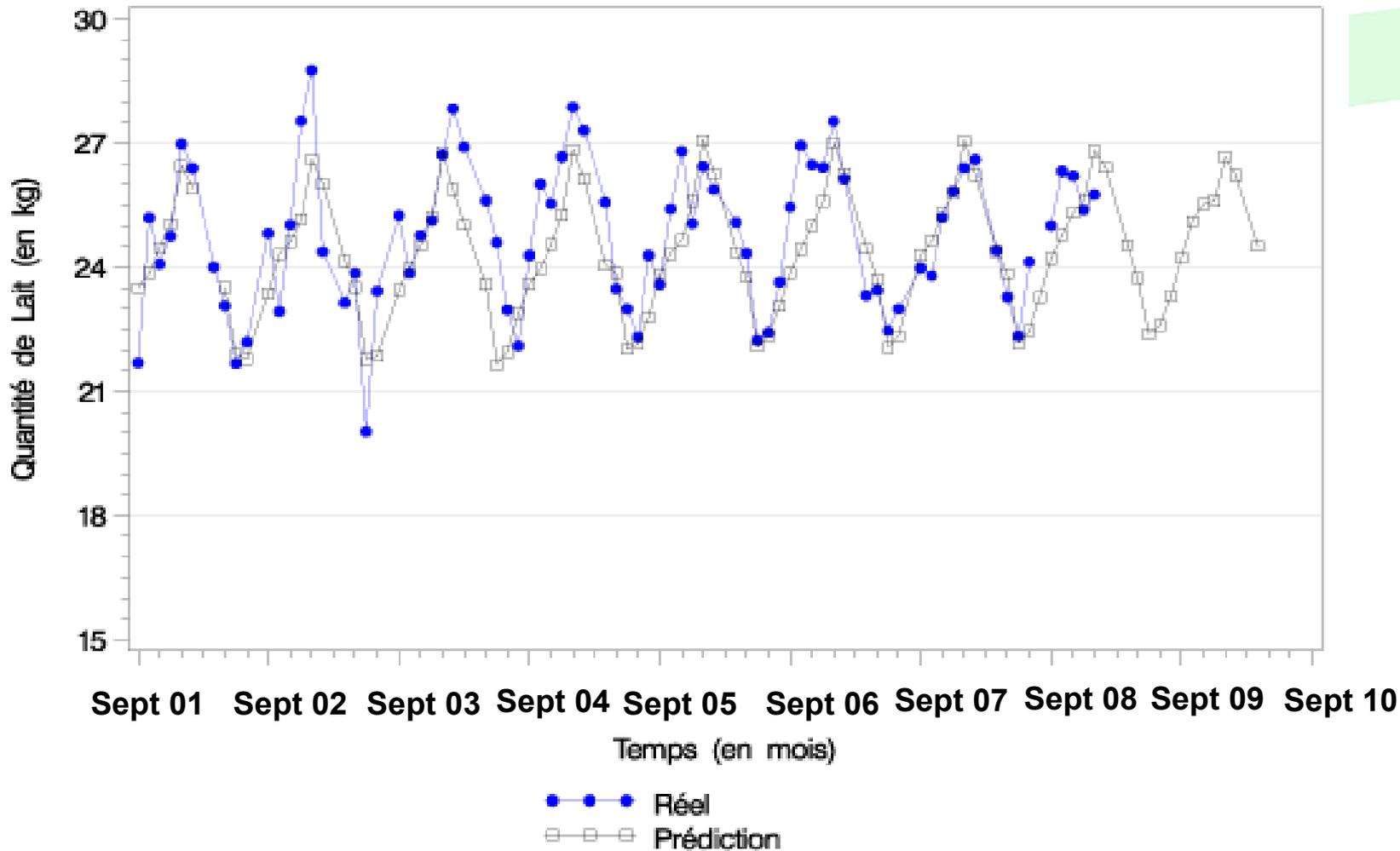
# Modélisation TJC Lait et prédiction de l'effet futur



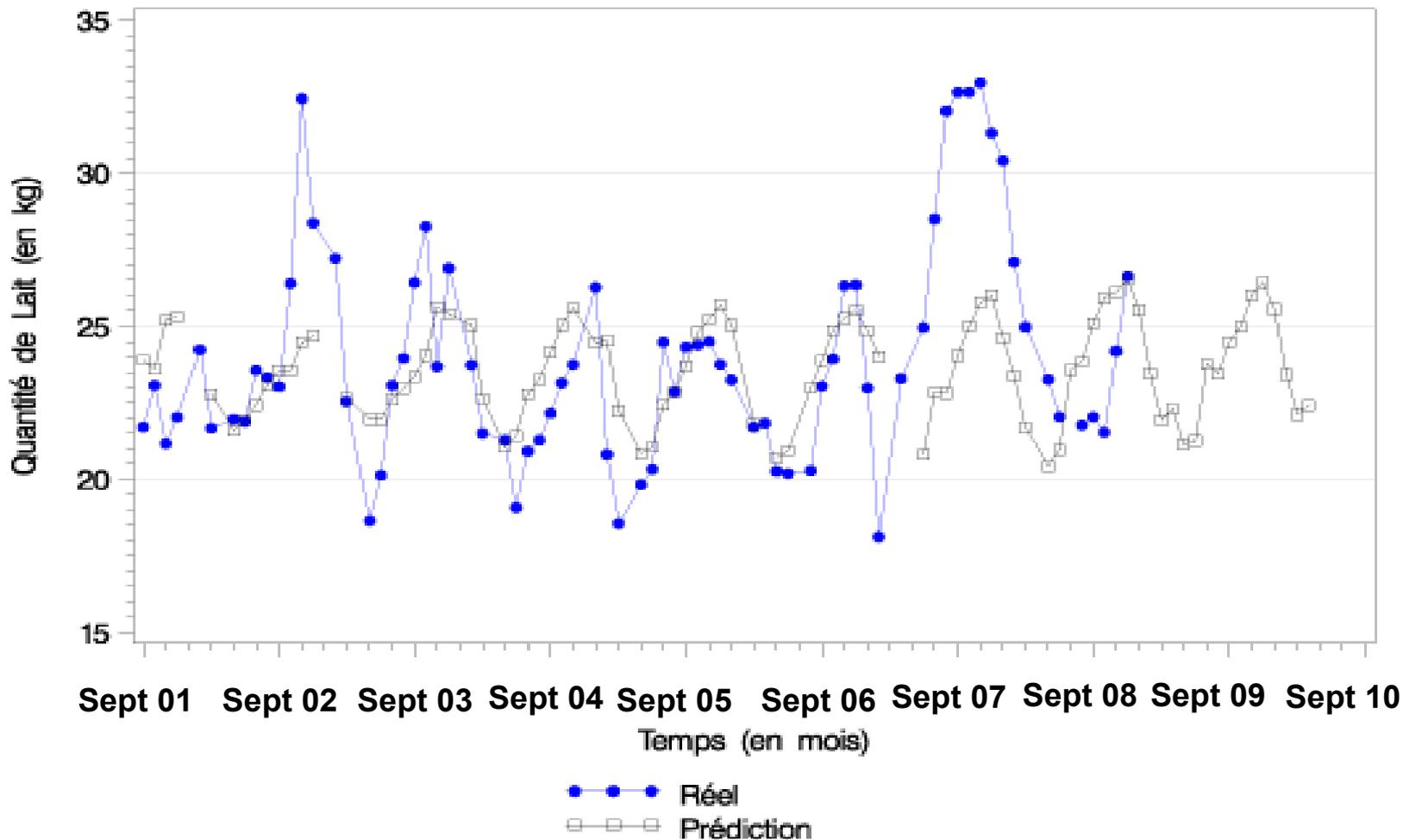
# Modélisation TJC TB et prédiction de l'effet futur



# Modélisation TJC Lait et prédiction de l'effet futur



# Modélisation TJC Lait et prédiction de l'effet futur



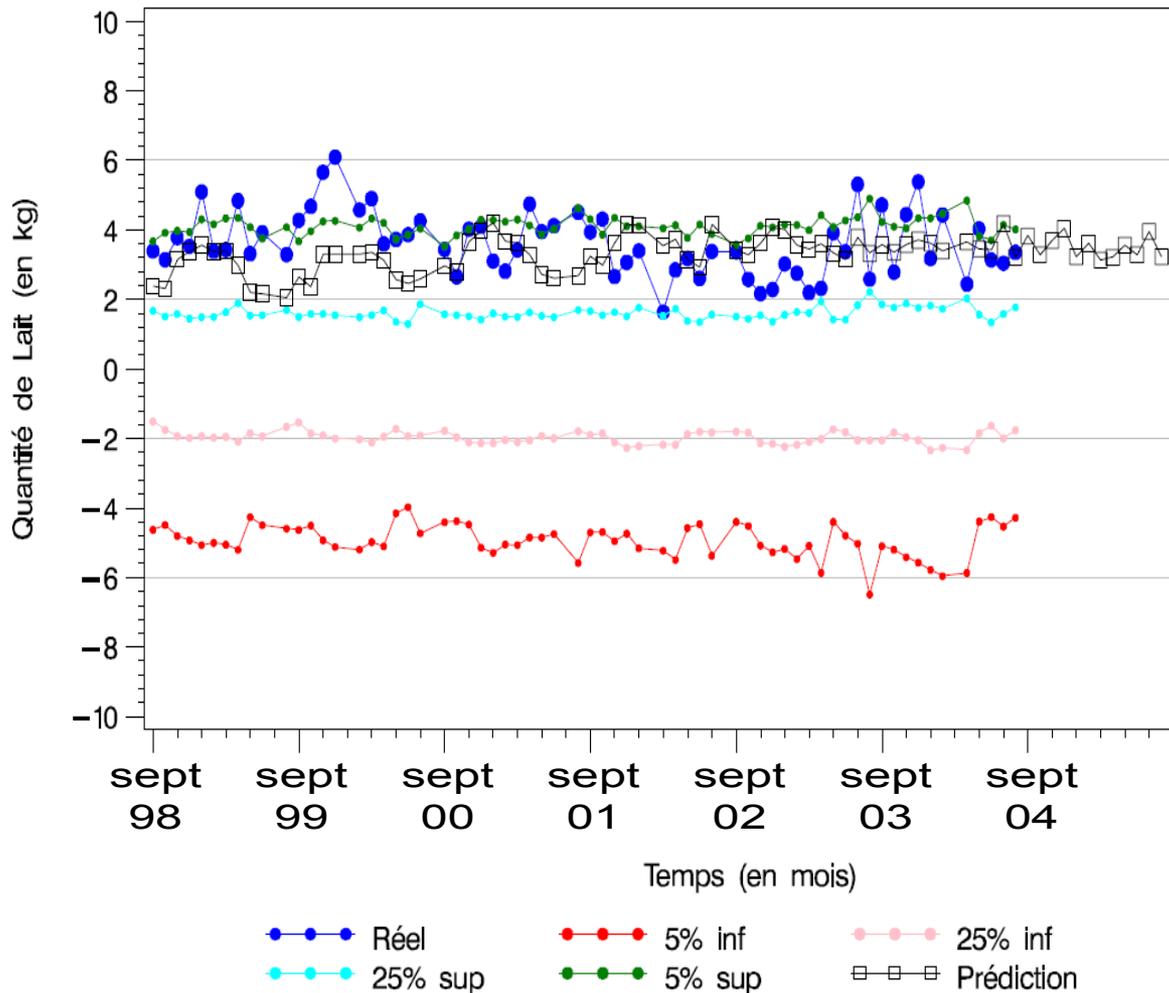
# Un suivi technique dynamique

L'évolution de l'effet TJC est le **reflet** de l'évolution des conditions de production.

Pour faciliter l'interprétation, il est possible d'exprimer l'effet TJC en écart à la moyenne d'un **groupe de référence** (département, groupe typologique...)

- **tendance générale = moyenne nulle**
- ⇒ Mise en évidence des **forces et faiblesses** du troupeau

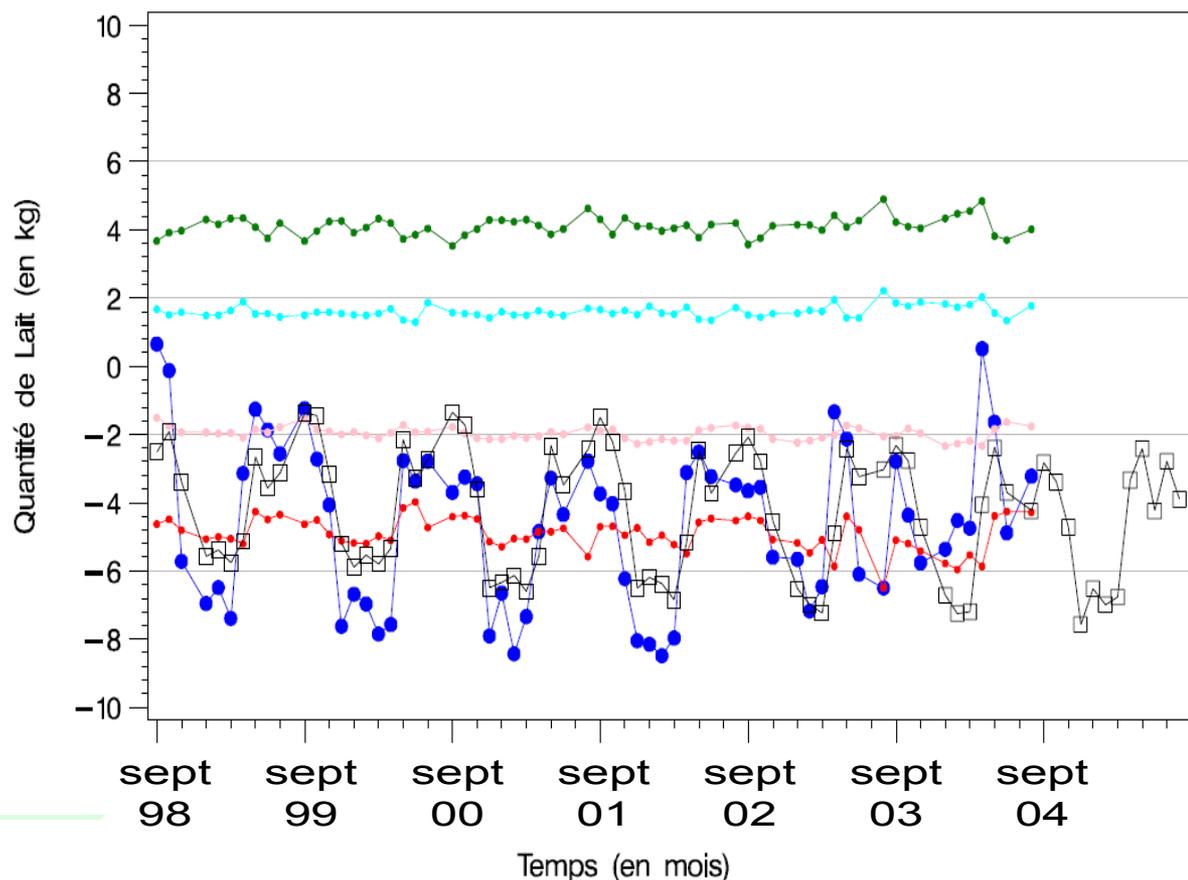
# Effet TJC LAIT en écart à la moyenne départ.



Conduite stable,  
suit les variations  
saisonnères  
moyennes

Entre 25% et 5%  
meilleurs troupeaux  
⇒ + 4 kg de lait par  
rapport à la  
moyenne départem.

# Effet TJC LAIT en écart à la moyenne départ.

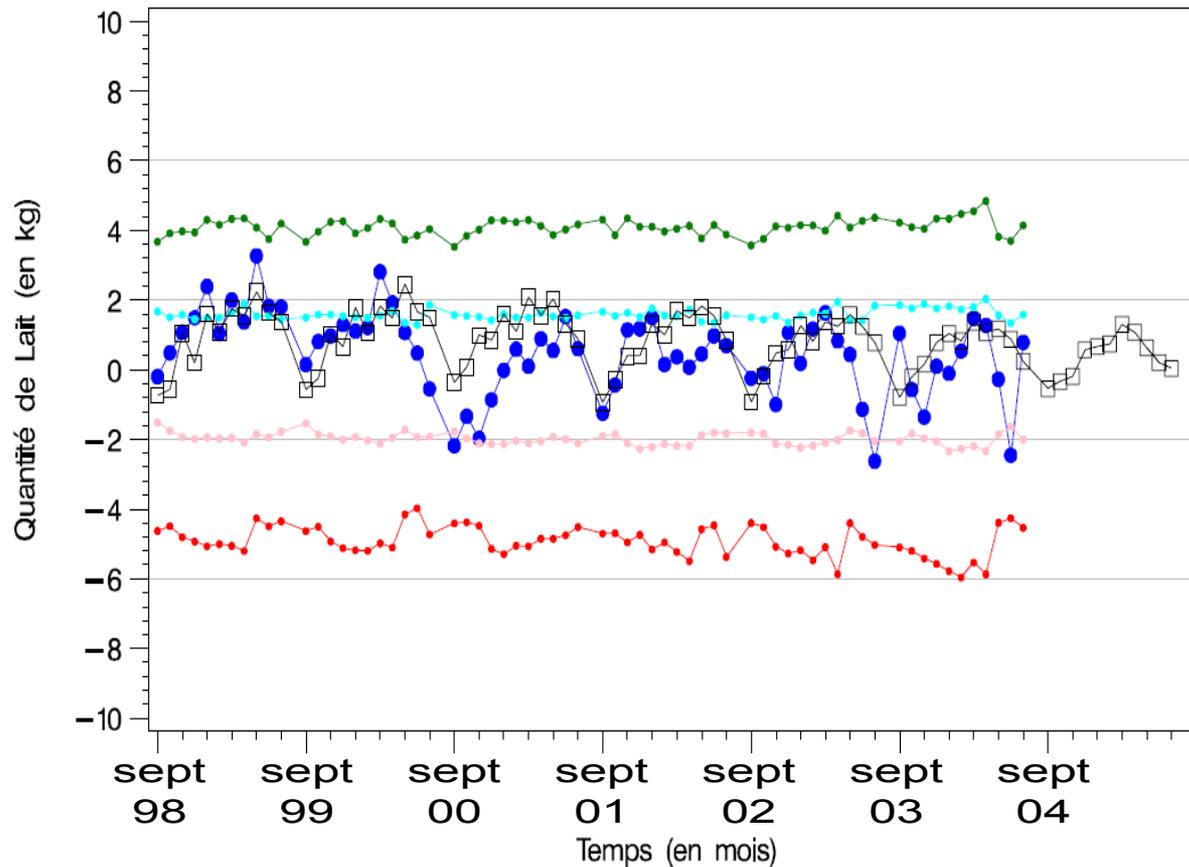


●●● Réel      ●●● 5% inf      ●●● 25% inf  
●●● 25% sup      ●●● 5% sup      □□□ Prédiction

Niveau faible,  
conduite hivernale  
très pénalisante  
(-6 à -8 kg)

Conduite estivale  
meilleure (-2kg)

# Effet TJC LAIT en écart à la moyenne départ.

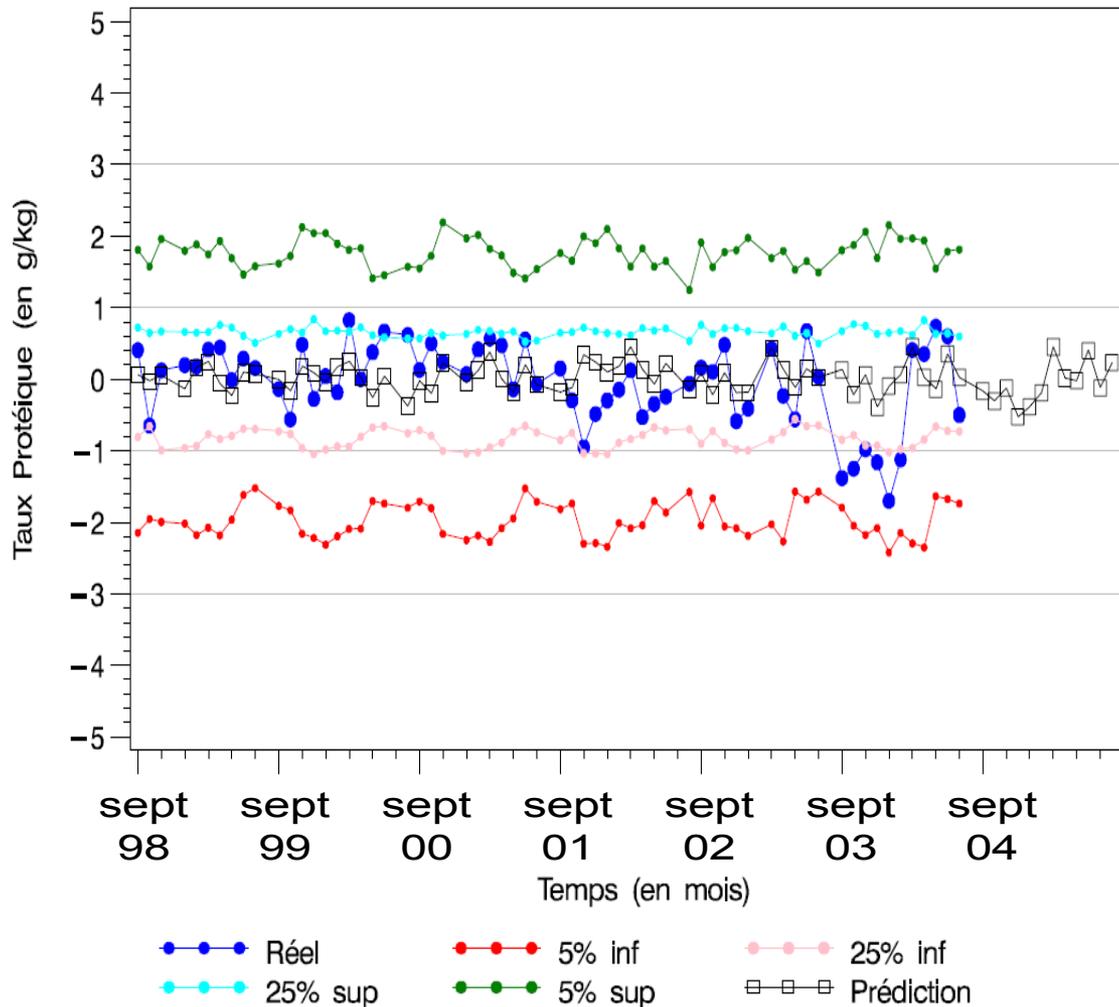


●—● Réel      ●—● 5% inf      ●—● 25% inf  
●—● 25% sup      ●—● 5% sup      □—□ Prédiction

25% meilleurs pour conduite hivernale, mais moins bon pendant l'été

⇒ Visualise clairement les marges de progrès techniques

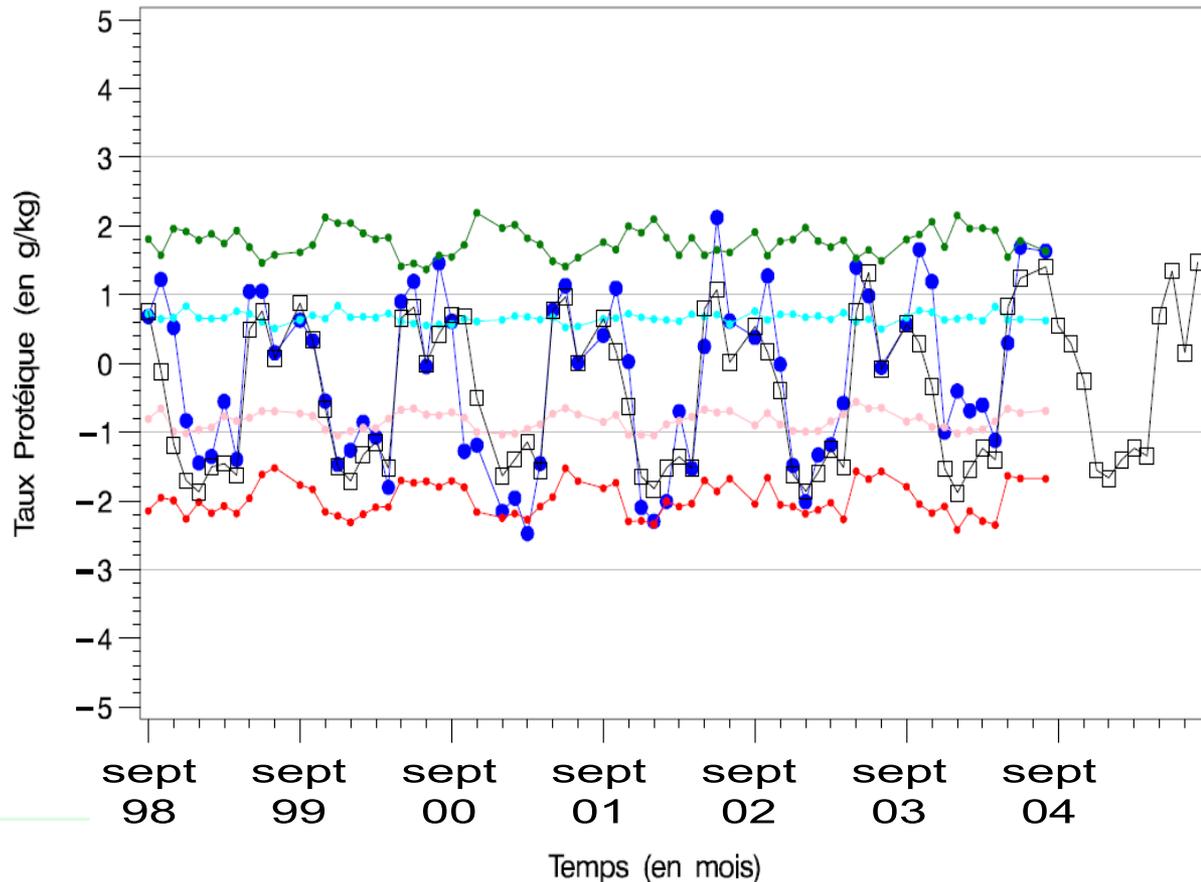
# Effet TJC TP en écart à la moyenne départ.



Conduite suit les variations saisonnières SAUF entre septembre 2003 et février 2004

Conséquence de la canicule ?

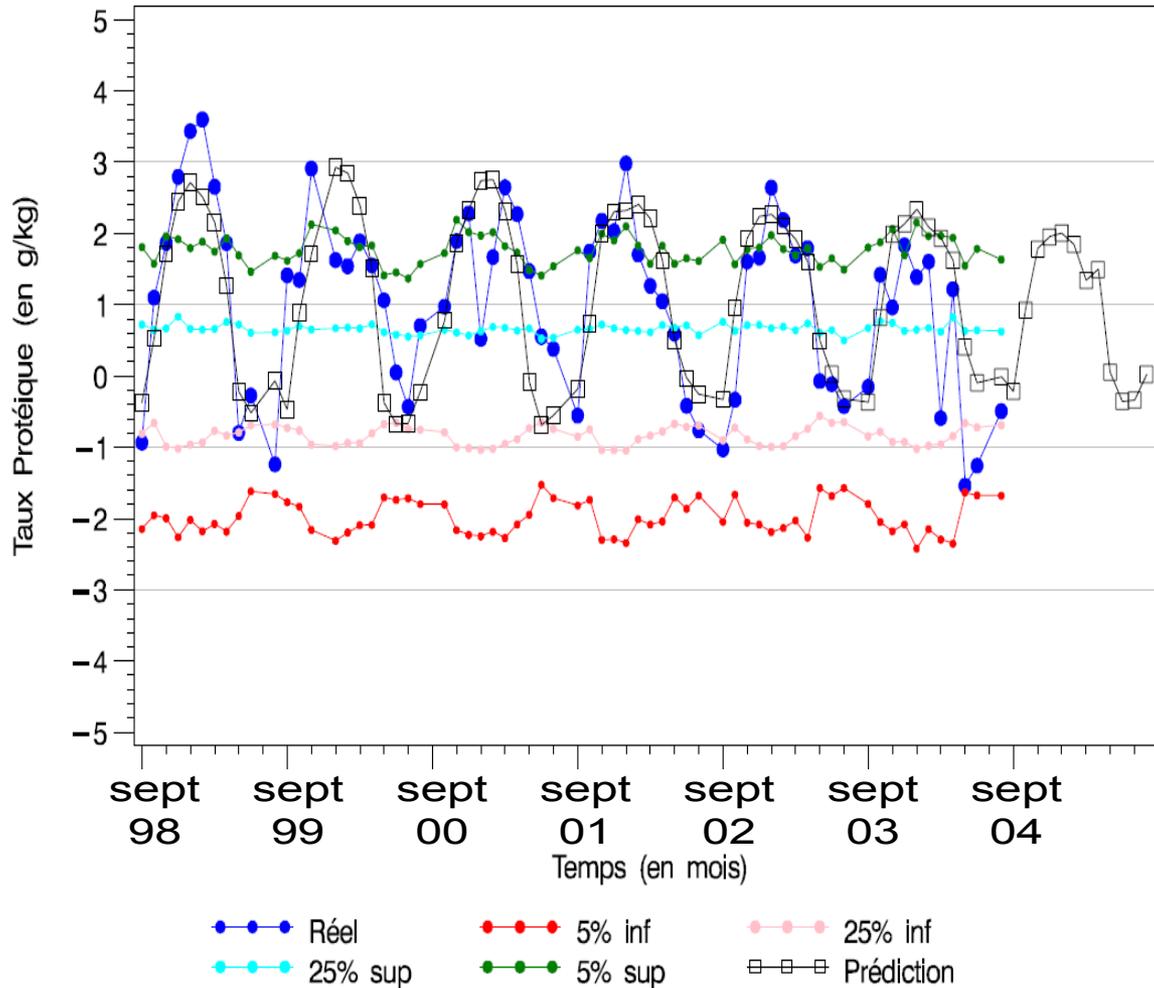
# Effet TJC TP en écart à la moyenne départ.



●●● Réel      ●●● 5% inf      ●●● 25% inf  
●●● 25% sup      ●●● 5% sup      □□□ Prédiction

Niveau TP hiver  
faible (-1,5 g/kg)  
mais bon l'été  
(+ 1,0 g/kg)

# Effet TJC TP en écart à la moyenne départ.



Niveau TP hiver excellent (dans les 5% meilleurs) mais plus faible l'été (dans les 25% moins bon)

# Analyse des effets influençant les courbes de lactation

**Production** mesurée lors d'un contrôle =

EFFETS FIXES

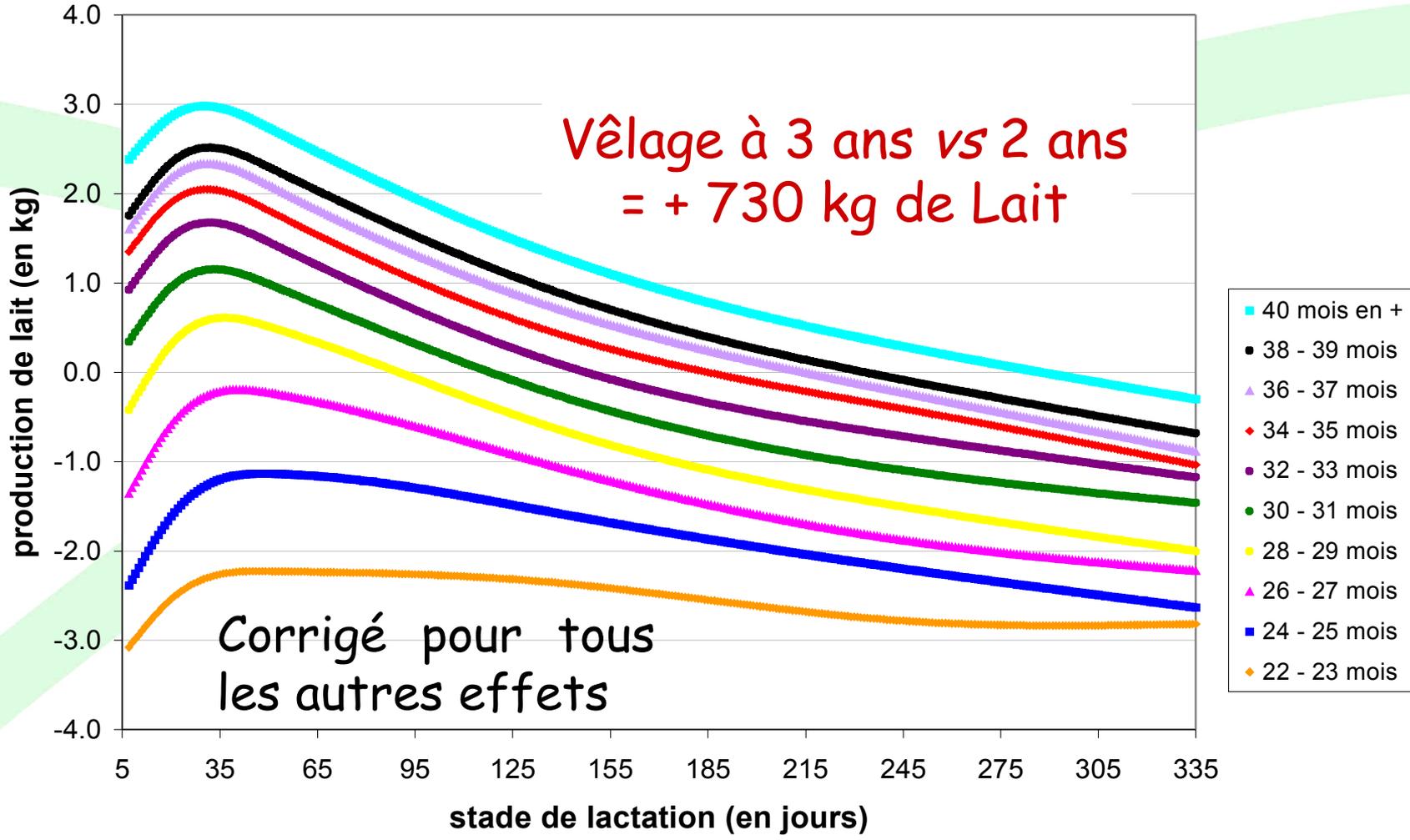
- Effet troupeau x jour de contrôle (TJC)
- Courbe (splines) région x rang de lactation x
  - classe d'âge au vêlage
  - classe de mois de vêlage
  - classe de durée de tarissement
  - effet gestation
- Constante région x année x rang de lactation x effets

Mine de renseignements régulièrement mis à jour pour tous les caractères spécifique pour chaque combinaison race x région

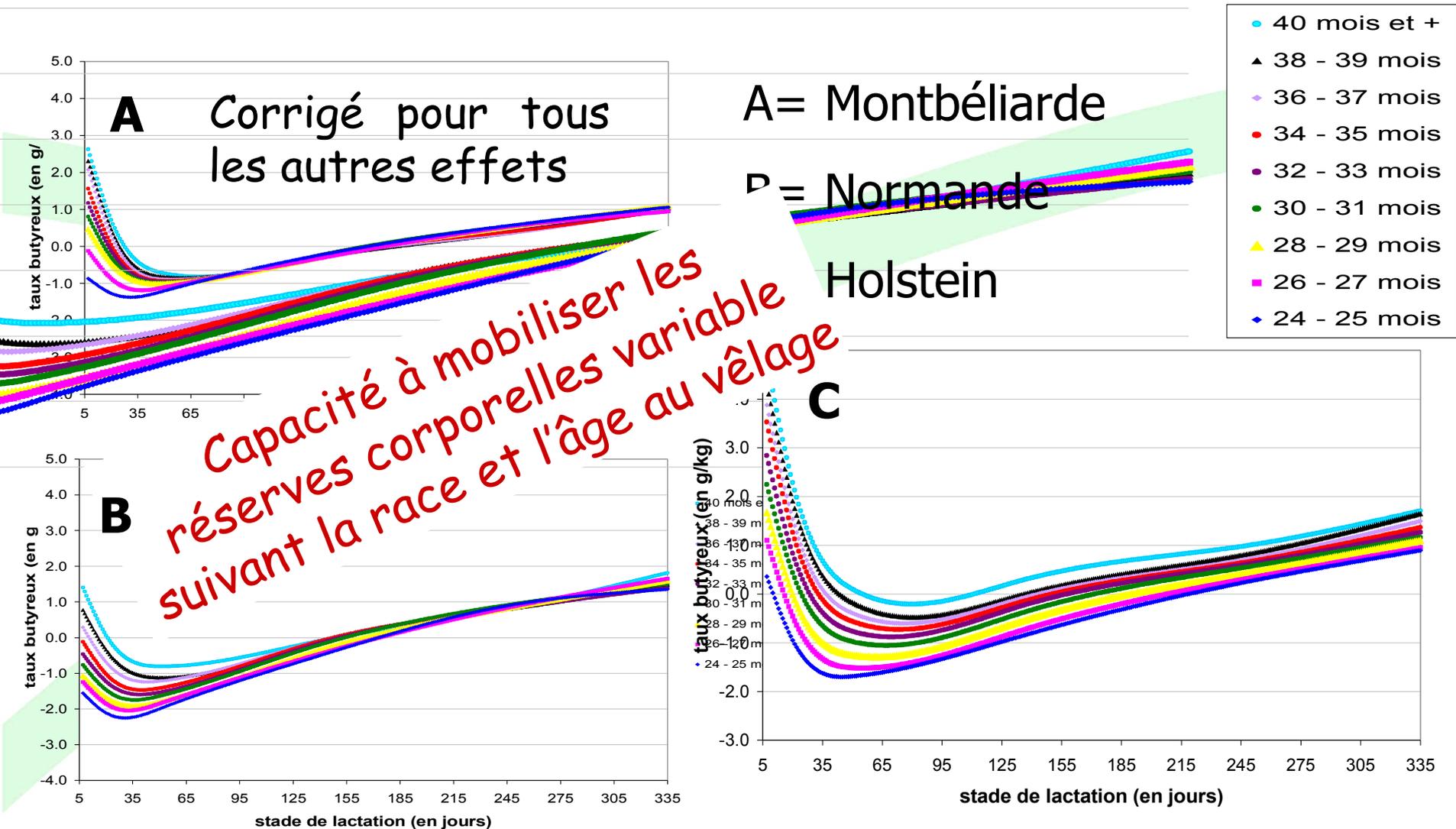
ALEATOIRES

- Courbe génétique
- Courbe effet environnement permanent
- Courbe troupeau x année
- Résiduelle avec variance hétérogène

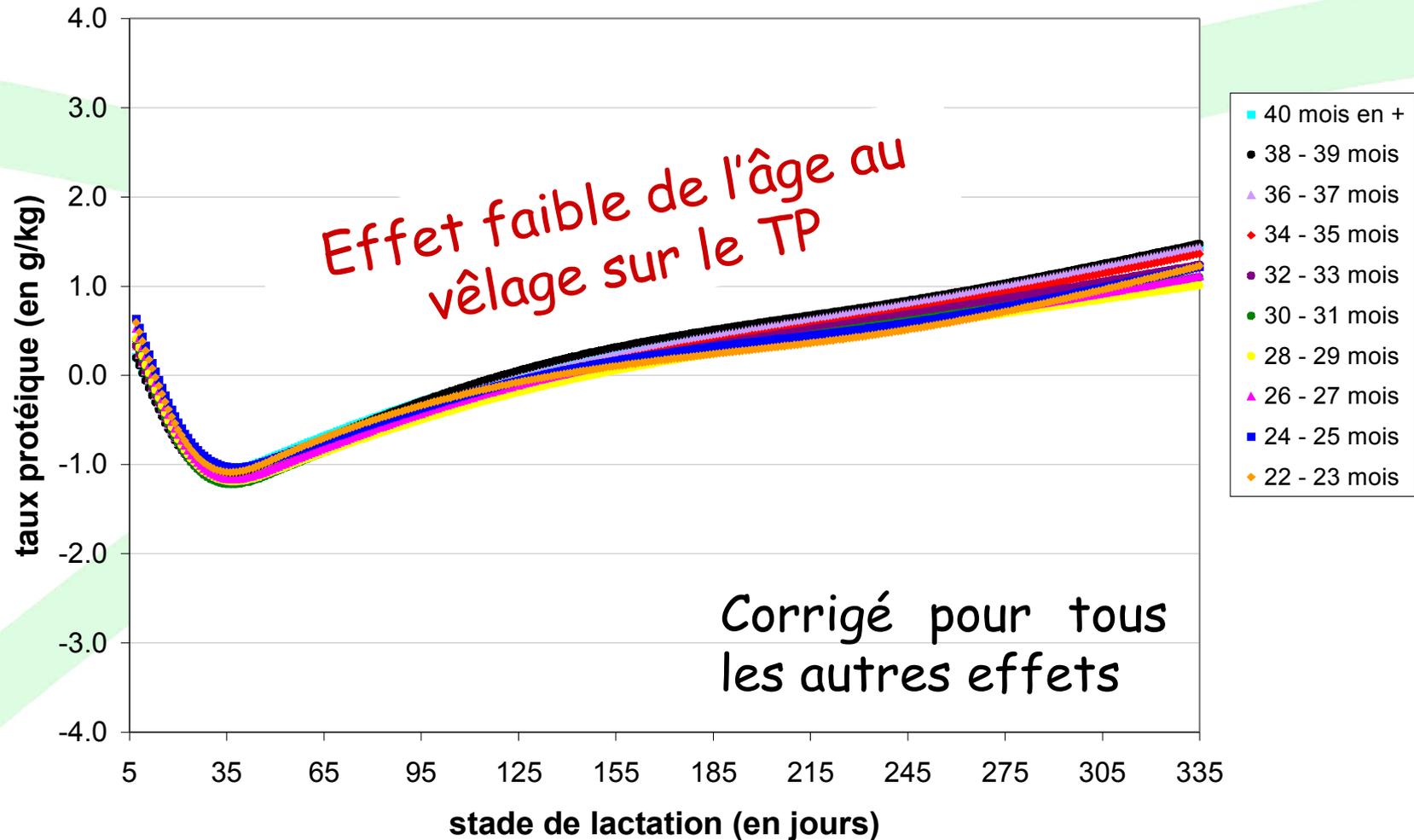
# Effet de l'âge au vêlage (1<sup>ère</sup> lact - Lait - Montb)



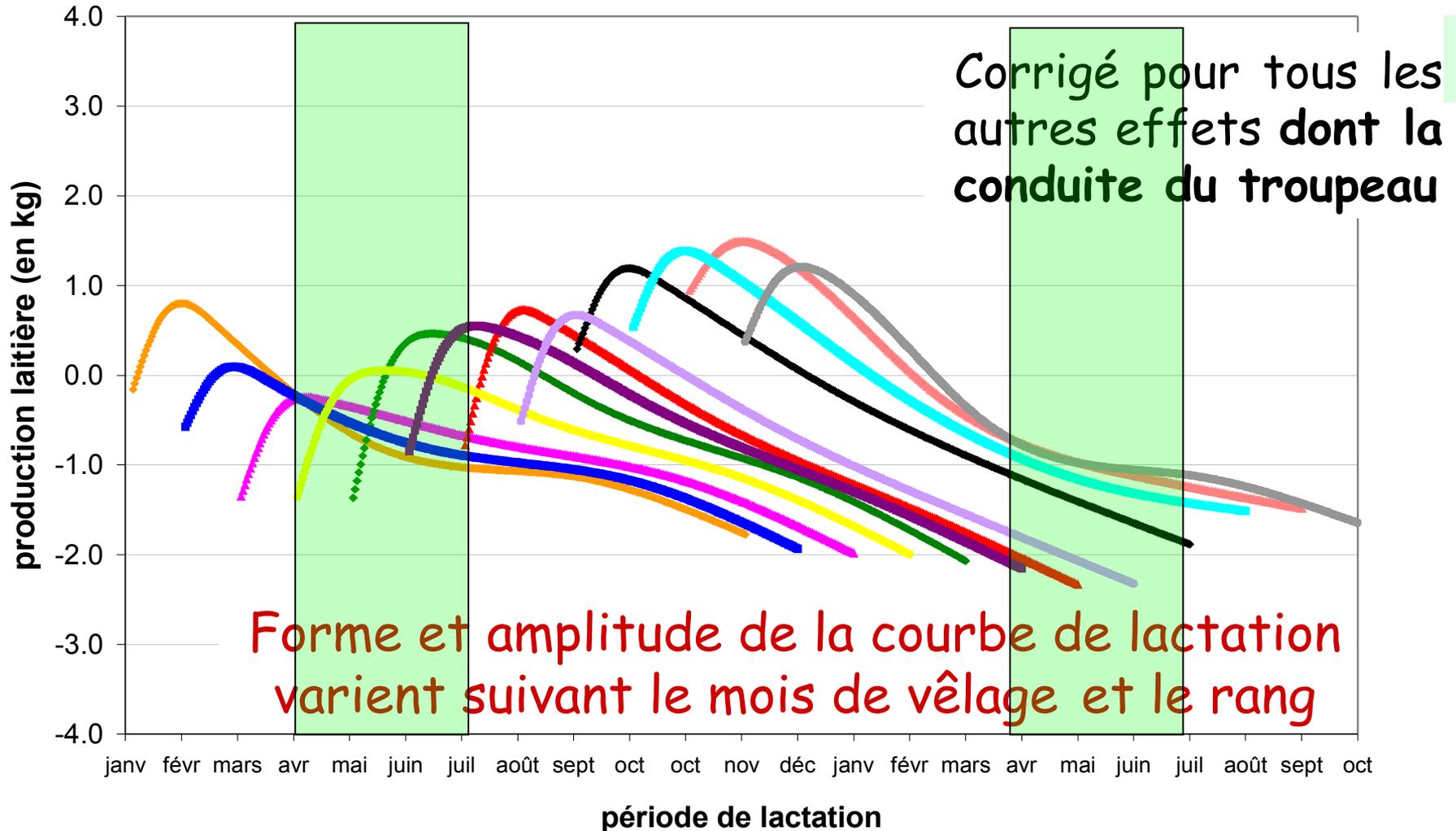
# Effet de l'âge au vêlage (1<sup>ère</sup> lact - TB)



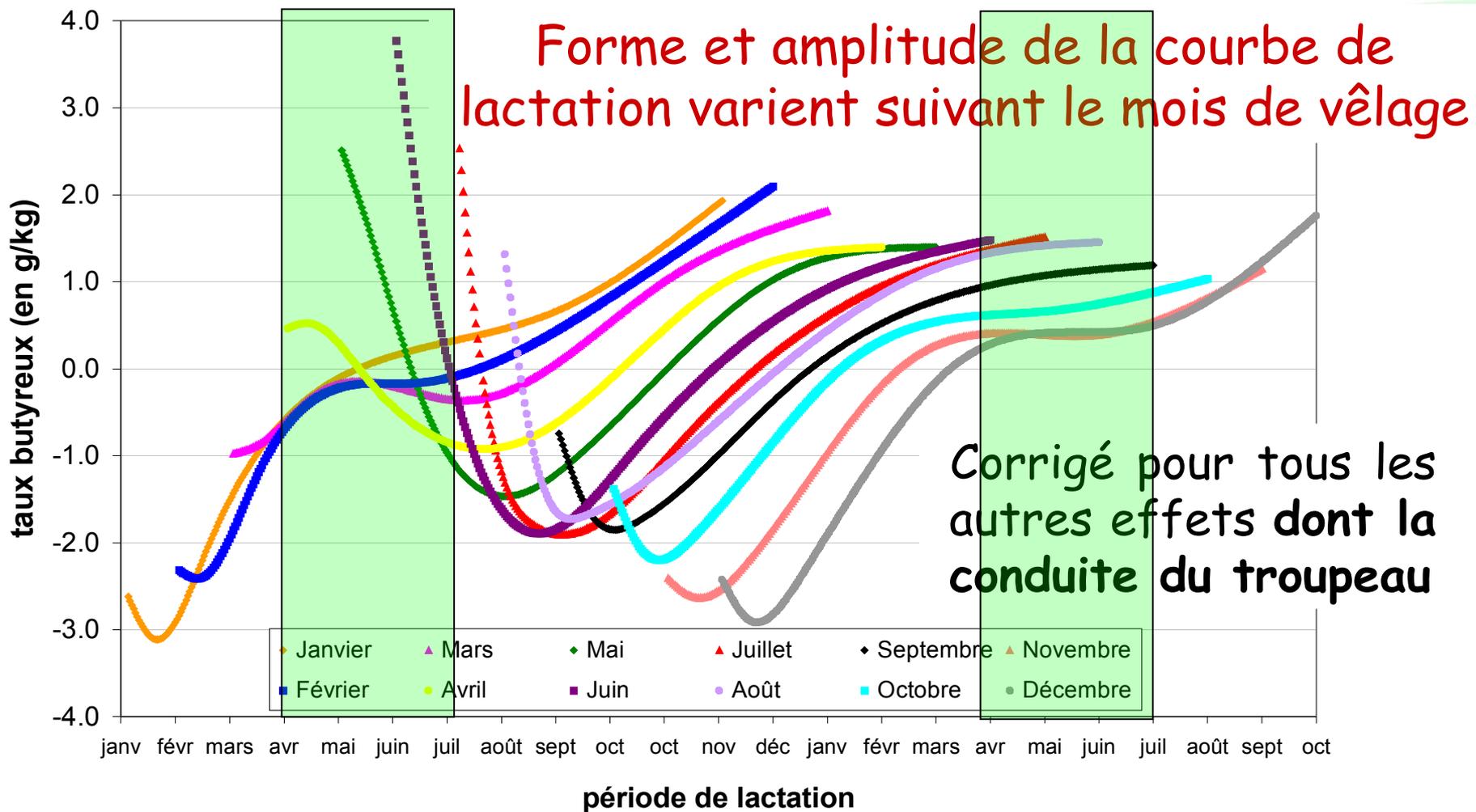
# Effet de l'âge au vêlage (1<sup>ère</sup> lact - TP - Montb)



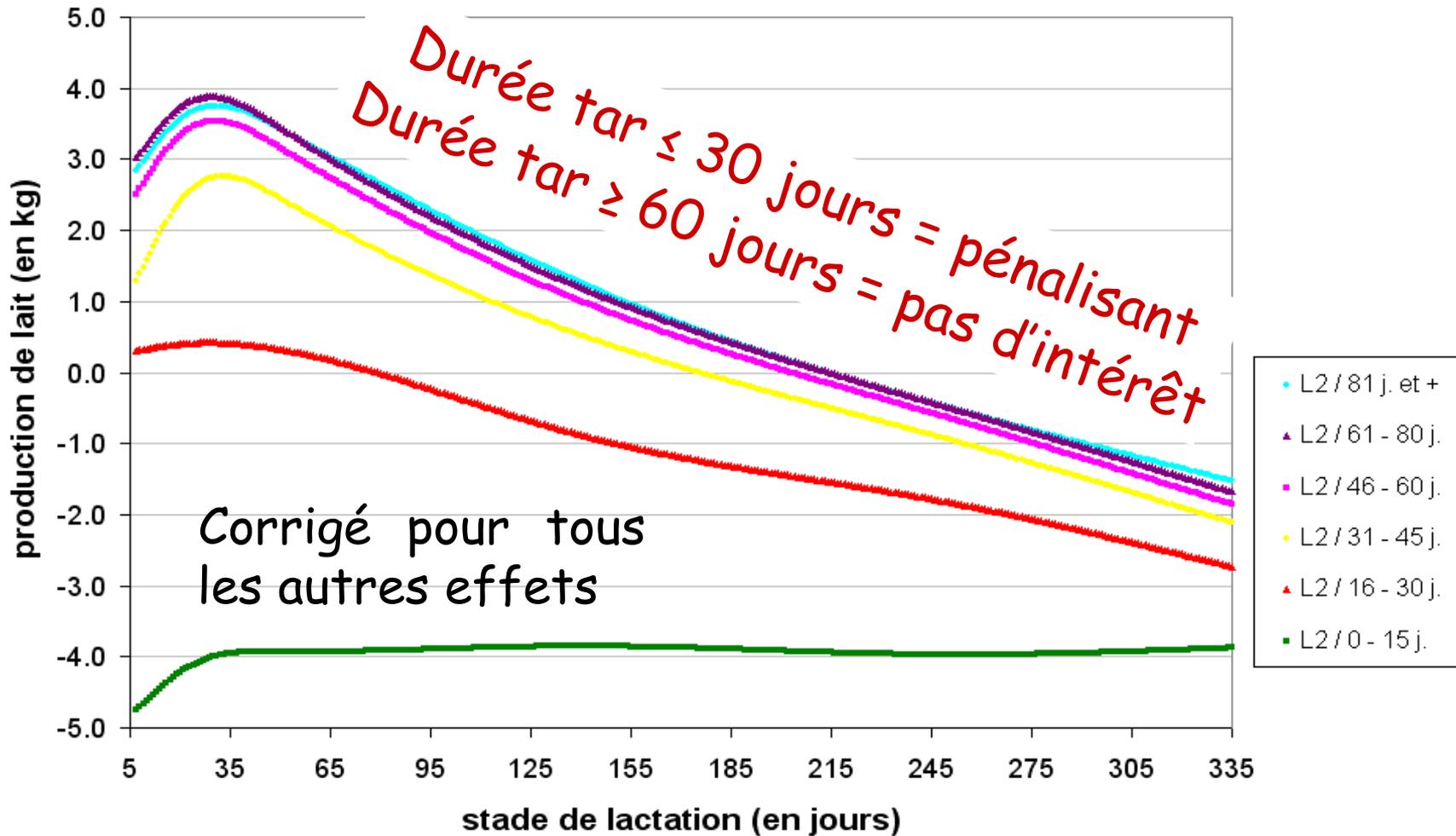
# Effet du mois de vêlage (1<sup>ère</sup> lact - Lait – Holst.)



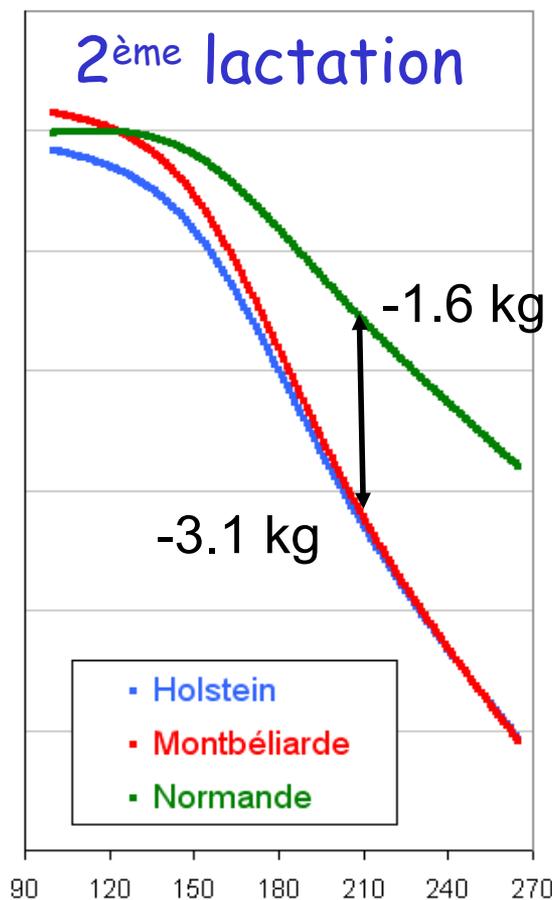
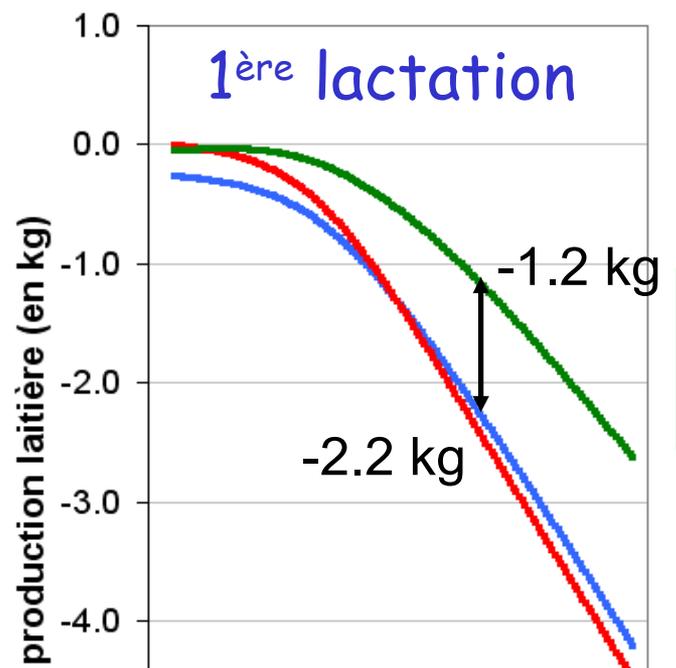
# Effet du mois de vêlage (1<sup>ère</sup> lact - TB - Normande)



# Durée de tarissement préc. (2<sup>ème</sup> lact - Lait - Holst)



# Effet de la gestation sur la lactation (Lait)



Normande vs  
Montbéliarde - Holstein

-6.0

90 120 150 180 210 240 270

90 120 150 180 210 240 270

stade de gestation (en jours)

90 120 150 180 210 240 270

# Les différents éléments nécessaires à la prédiction

**Production** journalière =

EFFETS FIXES

- Effet troupeau x jour de contrôle
- Courbes région x rang lactation x
  - classe d'âge au vêlage
  - classe de mois de vêlage
  - classe de durée de tarissement
  - effet gestation
- Constantes (x année)

Prédit à partir d'une des méthodes testées

Effets estimés lors de la précédente évaluation

ALEATOIRES

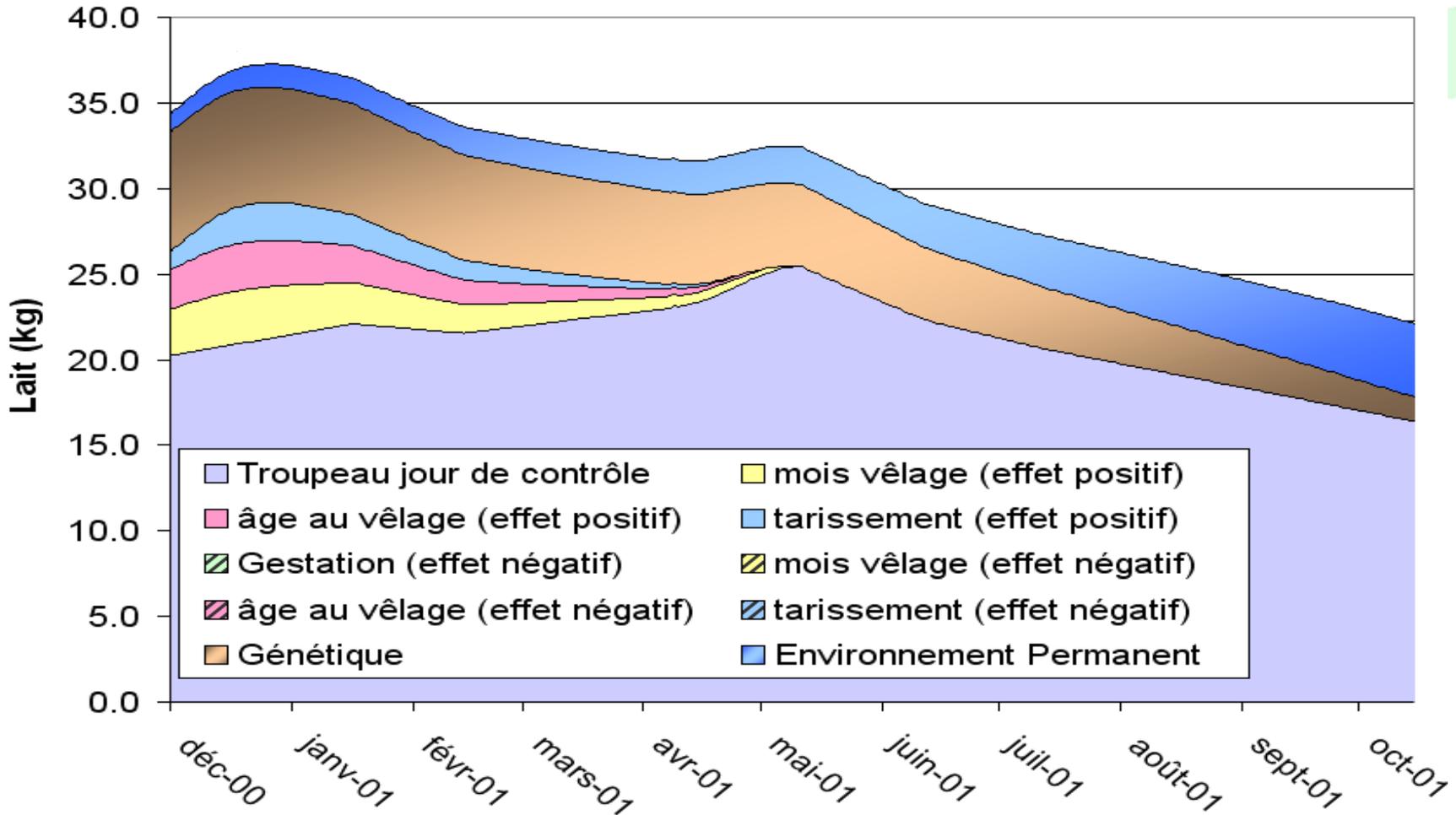
- Courbe génétique
- Courbe environ<sup>t</sup> permanent
- Courbe troupeau x année
- Résiduelle

Estim. préc ou ascendance

Estim. préc ou « 0 »

« 0 »

# Prédiction de la courbe de production en cumulant les effets prévus du modèle



# Valorisation des prédictions

- ✓ Aspect **prospectif** qui permet de prédire la production d'un animal en fonction de ses caractéristiques (âge et mois de vêlage, durée de tarissement...) et d'étudier, au niveau du troupeau, l'impact de changement dans la conduite (% de primipare, la période de vêlage, la durée de tarissement...)
  - Maximiser la marge brute sur l'atelier laitier
- ✓ Aspect **analytique** qui permet de **diagnostiquer** la détection dynamique des problèmes + identification des causes

# Conclusion

La modélisation des performances est très fine, parfois très (trop) sophistiquée... ⇒ **contraintes informatiques très importantes** (des fichiers très gros 20Go par caractère en Holstein / beaucoup de mémoire 128Go)

Mais grâce à la modélisation fine, nous pouvons mettre à disposition de la **communauté scientifique et des acteurs du développement agricole** des données et des outils, qui couplés à d'autres informations peuvent permettre d'intégrer l'**aspect multifactoriel** de la production laitière.

⇒ **Les contrôles élémentaires : Pas seulement une finalité « génétique »**

# Merci de votre attention



[www.lavache.com](http://www.lavache.com)

