



# Etude de l'adaptabilité et du déterminisme génétique de la réponse à la monotraite chez la vache laitière croisée Holstein x Normande

Lydie Heuveline

## ► To cite this version:

| Lydie Heuveline. Etude de l'adaptabilité et du déterminisme génétique de la réponse à la monotraite chez la vache laitière croisée Holstein x Normande. Sciences du Vivant [q-bio]. 2011. hal-02809475

HAL Id: hal-02809475

<https://hal.inrae.fr/hal-02809475v1>

Submitted on 6 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**AGROCAMPUS-OUEST**  
65, rue de Saint Brieuc  
C.S. 84215  
35 042 RENNES Cedex

**ONIRIS**  
Site de la Chantrerie  
B.P. 40706  
44307 NANTES cedex 3

**UNIVERSITE RENNES 1**  
Campus de Beaulieu  
263, avenue du Général Leclerc  
C.S. 74205  
35042 RENNES Cedex

**INRA**  
Station d'Amélioration Génétique des Animaux  
24, chemin de Borde Rouge - Auzeville  
B.P. 52627  
31326 CASTANET TOLOSAN Cedex

# Mémoire de fin d'études :

**MASTER professionnel : Biologie, Agronomie, Santé :**

**Spécialité : Biologie Appliquée aux Productions et à la Santé Animale (BAPSA)**

Année universitaire : 2011-2012

## Etude de l'adaptabilité et du déterminisme génétique de la réponse à la monotraite chez la vache laitière croisée Holstein & Normande

Par : Lydie HEUVELINE

Soutenu à Rennes,  
le : 17 Septembre 2012.

*Devant le jury :*

Sous la présidence de : Maryline KOUBA (Agrocampus Ouest) ;  
Thierry BAILHACHE (Université Rennes 1)

Examinateur : Vanessa LOLLIVIER (UMR PEGASE / Agrocampus Ouest)

Rapporteur : Frédéric LECERF (UMR PEGASE / Agrocampus Ouest)

Maîtres de stage : Hélène LARROQUE (INRA SAGA) ;  
Jocelyne FLAMENT (UMR PEGASE / Agrocampus Ouest)

--	--	--

**Fiche de diffusion du mémoire**

A remplir par l'auteur<sup>(1)</sup> avec le maître de stage.

Aucune confidentialité ne sera prise en compte si la durée n'en est pas précisée.

**Préciser les limites de la confidentialité<sup>(2)</sup> :**

➤ Confidentialité absolue :

oui       non

(ni consultation, ni prêt)

↳ Si oui

1 an       5 ans       10 ans

➤ A l'issue de la période de confidentialité ou si le mémoire n'est pas confidentiel,  
merci de renseigner les éléments suivants :

Référence bibliographique diffusable<sup>(3)</sup> :

oui       non

Résumé diffusable :

oui       non

Mémoire consultable sur place :

oui       non

Reproduction autorisée du mémoire :

oui       non

Prêt autorisé du mémoire :

oui       non

Diffusion de la version numérique :

oui       non

↳ Si oui, l'auteur<sup>(1)</sup> complète l'autorisation suivante :

Je soussigné(e) \_\_\_\_\_, propriétaire des droits de reproduction dudit résumé, autorise toutes les sources bibliographiques à le signaler et le publier.

Date :

Signature :

Rennes/Angers, le 27/09/12

Le maître de stage<sup>(4)</sup>,

L'auteur<sup>(1)</sup>,

L. Heuveline

L'enseignant référent,

(1) auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(2) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(3) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé.

(4) Signature et cachet de l'organisme.

## Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier très sincèrement et très vivement, Hélène LARROQUE, pour sa disponibilité et son appui tout au long de cette étude. Merci de m'avoir accompagnée lors de mes 1<sup>ers</sup> pas sous Unix® et SAS®...

Merci à Christelle ROBERT-GRANIE- D.U. Station d'Amélioration Génétique des Animaux - pour m'avoir accueillie au sein de l'unité.

Merci à Yves GALLARD - D.U. Domaine Expérimentale du Pin - et Sarah BARBEY - Responsable Pôle Lait - pour avoir pris le temps de répondre à nos sollicitations concernant les données de monotraite.

Merci à Jocelyne GUINARD-FLAMENT ainsi qu'à Vanessa LOLLEVIER pour leurs suivis réguliers et leurs encadrements au titre d'Agrocampus Ouest.

Merci à Carine - documentaliste à la SAGA - pour ses bons et précieux conseils concernant la recherche et la synthèse bibliographiques.

Merci à Guillaume, Carole, Andres, Jean-Michel pour leurs appuis concernant le logiciel QTLmap®.

Merci à Benjamin et Christelle (équipe palmipèdes gras) - voisins de bureau - qui ont répondu à mes interrogations concernant SAS® et merci, plus largement, à l'ensemble du personnel de la station (Céline, Guillaume, Chloé, Charlotte, ...) pour leur accueil et leur bonne humeur, contribuant au fait que ce stage se déroule dans les conditions les plus agréables possibles...

Merci aux animaliers du Domaine Expérimental du Pin pour avoir générée les données monotraite.

Merci aux différents intervenants et éleveurs rencontrés pendant ces 6 mois faisant que cette période soit une réelle ouverture.

Petite pensée à ma chère colocataire toulousaine : Diane !

Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué de près comme de loin au bon déroulement de cette expérience... !

## Table des matières

Remerciements.....	3
Table des matières.....	3
Liste des sigles & abréviations.....	6
Lexique.....	7
Listes des figures & tableaux .....	10
Figures : .....	
Tableaux :.....	
Introduction.....	11
Partie 1 : Présentation de la problématique .....	14

1.1. Conséquences zootechniques : les effets du passage de 2 à 1 traite par jour.....	15
1.1.1. La monutraite affecte la production laitière de façon variable entre les individus .....	15
1.1.2. La monutraite influence également la composition du lait : effet de concentration des taux de matières utiles .....	15
1.1.3. La monutraite dégrade la qualité leucocytaire du lait .....	15
1.2. L'impact de la monutraite dépend des conditions de son application .....	15
1.3. Les animaux ne recouvrent pas leur niveau de production initial au retour à la traite biquotidienne .....	16
1.4. La monutraite semble avoir un impact positif sur l'état corporel de l'animal.....	16
1.5. Indicateurs permettant d'anticiper la réponse à la monutraite chez la vache .....	16
1.6. La génétique semble influencer la réponse des animaux à la monutraite.....	17
1.6.1. Les schémas de sélection génétique néozélandais intègrent l'aptitude à la monutraite	
17	
<b>Partie 2 : Matériel &amp; Méthodes.....</b>	<b>19</b>
2.1. Les animaux .....	20
Le protocole «monutraite» s'inscrit dans le dispositif plus large de détection de QTL de l'INRA du Pin basé sur le croisement des races HxNo .....	20
2.2. Les paramètres analysés.....	20
2.2.1. Phénotypage.....	20
2.2.2. Génotypage .....	20
2.3. Construction des fichiers de données .....	21
2.3. Les analyses .....	21
2.4.1. Description des données .....	21
2.4.2. Analyses statistiques.....	21
2.4.3. Analyse génétiques.....	23
<b>Partie 3 : Résultats &amp; Discussion .....</b>	<b>24</b>
3.1. Caractéristiques des animaux expérimentaux .....	25
3.2. Impacts de la monutraite .....	25
3.2.1. La production laitière (PL) .....	25
3.2.2. Les taux.....	25
3.2.3. Les numérations cellulaires .....	26
3.2.4. 2 <sup>nd</sup> passage en monutraite .....	26
3.3. Le retour 2 T/j .....	26
3.3.1. Le 1 <sup>er</sup> passage en monutraite .....	26
3.3.2. 2 <sup>nd</sup> passage en monutraite .....	26

3.4. Relation entre passage à 1T/j et le retour à 2T/j.....	27
3.5. Prédicteurs phénotypiques de la perte et de la récupération de production.....	27
3.5.1. La 1 <sup>ère</sup> lactation (L1).....	27
3.5.2. Le Taux Butyreux (TB) .....	27
3.5.3. Le Taux protéique (TP).....	27
3.5.4. Le Lactose sanguin (LS) .....	28
3.5.5. Moins d'indicateurs phénotypiques pertinents au 2 <sup>nd</sup> passage .....	28
3.6. Typologie de réponses à la monotraite .....	28
3.7. Relations entre variables du 1 <sup>er</sup> et du 2 <sup>nd</sup> passage en monotraite .....	29
3.8. Détermination de l'influence des effets environnementaux .....	29
3.9. Estimation des paramètres génétiques lors du 1 <sup>er</sup> passage en monotraite.....	29
3.9. Détection de QTL.....	30
Partie 4 : Discussion & Perspectives .....	32
4.1. Principaux résultats de l'étude .....	33
4.1.1. Des variations de performances laitières conformes à la littérature .....	33
4.1.2. Des indicateurs phénotypiques existent mais leur capacité prédictive est faible .....	33
4.1.3. L'existence d'un déterminisme génétique qui pourrait être important dans les races françaises.....	33
4.2. Discussion, limites de l'étude .....	34
4.2.1. Limite du protocole de mesure : homogénéité du protocole dans le temps.....	34
4.2.2. Calcul des variations et persistance.....	34
4.2.3. Alimentation des animaux.....	34
4.2.4. Limite de la détection des QTL .....	34
4.2.5. Limite du croisement.....	34
4.3. Perspectives.....	34
4.3.1. Dépouillement à finaliser : des phénotypes prédicteurs qui restent à identifier sur les variations de lait et de composition .....	34
4.3.2. Des variations de lait et de composition à maîtriser sans nuire aux autres fonctions de l'animal .....	35
4.3.3. Effectif limité .....	36
4.3.4. Volet technico-économique : application de la monotraite aux élevages commerciaux ...	36
Conclusion .....	36
Références bibliographiques .....	38
Articles scientifiques.....	38

Sites Internet .....	40
Conférences & congrès.....	43
Rapports de stages .....	43
Partie : ANNEXE .....	44
Annexe I : Conséquences physiologiques : la réponse à la monotraite fait intervenir une multitude de mécanismes en interaction. .....	45
Annexe II : Un dispositif expérimental basé sur le croisement entre race Holstein X Normande.....	46
1. Le dispositif expérimental de l'INRA du Pin.....	46
Annexe III : Conduite des animaux expérimentaux.....	47
1. Conduite de la naissance à la mise à l'herbe : pas de différence jusqu'à l'entrée au pâturage	47
2. Conduite des génisses destinées à un vêlage 24 mois : objectif de croissance élevée.....	47
3. Conduite des génisses destinées à un vêlage 30-36 mois : vers des croissances plus modérées	
48	
4. Conduite des vaches en production : un rationnement ajusté en fonction des performances	48
5. Conditions de logement : la période en bâtiment limitée à la saison hivernale.....	49
Annexe IV : Formulaire.....	50
1. Exemple : Variable de production laitière (PL) .....	50
Annexe V : Principe de détection de QTL .....	51
Annexe VI : Corrélations avec les paramètres de lactosémies.....	52
Annexe VII : Modélisations des effets milieu. ....	53
Annexe VIII : Détection de QTL.....	54
1. Les QTL détectés à partir du protocole «monotraite» .....	54
2. Représentations graphiques des QTL détectés au seuil de 5% au niveau du chromosome .....	55

## Liste des sigles & abréviations

### A

ACP : Analyse en Composantes Principales  
 ADN : Acide Désoxyribo-Nucléique  
 AGL : Acide Gras Libre  
 ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire  
 Art. : Article

DAC : Distributeur Automatique de Concentrés  
 DGA : Département de Génétique Animale  
 DAL : Distributeur Automatique de Lait  
 DU : Directeur d'Unité

### E

EDE : Etablissement De l'Elevage  
 et al. : et alii

### B

bST : bovine Somatotropine  
 BSA : Bovine Serum Albumine  
 BW : Breeding Worth

F0 : Individu de lignée pure  
 F1 : 1<sup>ère</sup> génération de croisement  
 F2 : 2<sup>nd</sup> génération de croisement  
 F3 : 3<sup>ème</sup> génération de croisement  
 FAO : Food and Agriculture Organization  
 fig. : figure  
 FIL : Feedback Inhibitor of Lactation  
 FSH : Hormone Folliculo-Stimulante

### C

CIA : Coopérative d'Insémination Artificielle  
 Chr : Chromosome  
 CNG : Centre National de Génotypage  
 CNIEL : Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière

### D

## G

GLM : Global Linear Model  
 GMQ : Gain Moyen Quotidien (g ou kg/j)

## H

HF : Holstein-Frisonne  
 HxNo : Holstein x Normande (croisement)

## I

Idele : Institut DE l'Elevage  
 INRA : Institut National de Recherche Agronomique

## J

J<sub>1</sub> : jour 1

## K

kg MS : Kilogramme de Matière Sèche

## L

L1 : 1<sup>ère</sup> lactation  
 L2 : 2<sup>ème</sup> lactation  
 L3 : 3<sup>ème</sup> lactation  
 LA : Linkage Analysis (*Analyse de Liaison*)  
 LIC : Livestock Improvement Corporation  
 LDLA : Linkage Desequilibrium and Linkage Analysis (*Analyse de Liaison et de Déséquilibre de Liaison*)  
 LRT : Likelihood Ratio Test (*Test de vraisemblance*)  
 LS : Lactose Sanguin

## M

M : Morgan ; cM : centiMorgan  
 MAF : Minor Allele Frequency  
 Moy. : Moyenne  
 MS : Milk Solid (en Nouvelle-Zélande)

## N

N : Effectif  
 NEC : Note d'Etat Corporel  
 NS : Non significatif  
 NZ : Nouvelle-Zélande

## O

OAD : Once A Day (*une fois par jour*)

## P

PL : Production Laitière  
 pt : point  
 PCRD : Programme Cadre de Recherche et de Développement Technologique  
 PV : Poids Vif (kg)

## Q

QTL : Quantitative Trait Loci

## R

rep : Répétabilité

## S

SAGA : Station d'Amélioration Génétique des Animaux  
 SAS : Statistical Analysis System  
 SCC : Score de Cellules Somatiques  
 SNP : Single Nucléotide Polymorphism  
 SIA : Salon International de l'Agriculture  
 SIG : Système d'Information Génétique

## T

Tabl. : Tableau  
 TAD : Twice A Day (*2 fois par jour*)  
 TE : Transfert ou Transplantation Embryonnaire  
 TB : Taux Butyreux (g/kg)  
 TP : Taux Protéique (g/kg)

## U

UMR : Unité Mixte de Recherche  
 UFL : Unité Fourragère Lait  
 UPRa : Unité Nationale de Sélection et de Promotion de la RAce  
 UR : Unité de Recherche

## V

vs : versus

1T/j : 1 traite/jour ; 2T/j : 2 traites/jour

## Lexique

### A

**Acétyl-Coenzyme A carboxylase** : L'Acétyl-CoA est une enzyme intervenant dans la synthèse d'acides gras.

**Acide Désoxyribo-Nucléique (ADN)** : L'ADN représente le support de l'information génétique : 2 brins complémentaires formés d'une succession de nucléotides en forme d'hélice (Larousse, 2012).

**Apoptose** : C'est un processus physiologique programmé conduisant une cellule à mourir (Larousse, 2012).

### C

**Centimorgan (cM)** : Le centimorgan est l'unité mesurant 2 gènes liés représentant la fréquence de recombinaison durant la méiose, c'est-à-dire la fréquence du phénomène qui conduit à l'apparition de

caractères héréditaires associées différemment chez l'individu que chez les descendants. 1 cM correspond à 1% de recombinaison (en moyenne, 1 cross-over sur cette distance pour 100 méioses).

*Clustering* : Le clustering est une opération statistique qui consiste à regrouper des individus ayant des caractéristiques similaires en un nombre de classes limité.

*Corrélation génétique* : Des caractères quantitatifs différents sont parfois associés génétiquement. Il y a corrélation génétique entre 2 caractères chez un animal, lorsque la valeur additive du 1<sup>er</sup> caractère n'est pas statiquement indépendante de celle du 2<sup>ème</sup>. Par exemple, matières grasses et quantité de lait sont corrélées et ce, de façon négative. La corrélation génétique, notée r, est la corrélation dans la

population entre les valeurs additives pour les caractères 1 et 2. Elle s'exprime :  
 $r_A = \frac{\text{Cov}(A_1 A_2)}{\sqrt{V(A_1)V(A_2)}}$ .  
 $r_A$  prend des valeurs comprises entre -1 et +1. Une valeur nulle indique qu'il y a indépendance entre les valeurs additives pour les deux caractères.

*Corrélation phénotypique* : Le lien entre caractères s'évalue statistiquement au travers de la corrélation. Ainsi dans une population donnée, on mesure P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> la valeur phénotypique du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>nd</sup> caractères :

$$r_p = \frac{\text{Cov}(P_1, P_2)}{\sigma_{P_1} \sigma_{P_2}}$$

## D

*Déséquilibre de liaison* : Un déséquilibre de liaison se réfère au cas où 2 allèles correspondant à 2 loci distincts pour le même chromosome sont associés plus fréquemment qu'ils ne le seraient au seul fait du hasard. Ces «associations alléliques» sont facilitées par la proximité des loci (Rihet, 2004).

## G

*Génotype* : C'est l'ensemble des caractères génétiques d'un être vivant (Larousse, 2012).

## H

*Hétérozygote* : L'hétérozygotie, pour un même gène, se traduit par le fait qu'un individu possède 2 allèles différents sur un même locus et pour chacun des chromosomes homologues.

*Héritabilité* : Ce concept estime la part de la génétique dans l'expression de la valeur phénotypique, autrement dit dans l'expression des performances. En somme, l'héritabilité indique quelle est, en moyenne, la part de la supériorité phénotypique qui est d'origine génétique et donc, transmissible aux descendants (Wimmer, 2012).

La formule de l'héritabilité se note :  $h^2 = \frac{V(G)}{V(P)}$ ; [0; 1]

$h^2$  prend des valeurs comprises entre 0 et 1. Quand  $h^2$  est élevé ( $h^2 > 0,3, 0,4$ ), on réalise, en génétique quantitative animale, une sélection sur les performances propres des individus ou sur celles de leurs apparentés (descendants) (Wimmer, 2012).

Tableau : Exemples d'héritabilités en espèce bovine (Wimmer, 2012).

Héritabilités en espèce bovine :		
$h^2 \leq 0,15-0,2$ : caractères dits faiblement voire non héritables.	$0,2 \leq h^2 \leq 0,4$ : caractères dits moyennement héritables.	$h^2 \geq 0,4$ : caractères dits fortement héritables.
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Caractères de reproduction           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Durée de lactation</li> <li>- Urogravidité</li> <li>- Fécondité</li> <li>- Intervalle entre vêlage</li> <li>- Taux de génératilité</li> <li>- Rétention placentaire</li> <li>- Numérotions cellulaires, mastomimes</li> <li>- Etc.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Caractères de production           <ul style="list-style-type: none"> <li>- PV à 1 an</li> <li>- Poids (naissance, sevrage)</li> <li>- Temps, débit de traite</li> <li>- Quantité de lait/lactation</li> <li>- Etc</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Caractères de composition           <ul style="list-style-type: none"> <li>- TB, TP</li> <li>- Équilibre des quartiers</li> <li>- Débit de traite (<math>h^2</math> de 0,25 à 0,80)</li> <li>- Rendement à l'abattage</li> <li>- Composition de la carcasse (% de maigre, de gras)</li> <li>- Etc</li> </ul> </li> </ul>

*Homozygote* : Un individu est dit homozygote quand il présente sur un gène 2 allèles identiques. On parle d'homozygote fort quand les allèles sont dominants - souvent notés en lettres majuscules - et faible pour des récessifs (lettres minuscules).

## L

*Lactose* : Le lactose est un composé glucidique (disaccharide) présent du lait (Larousse, 2012).

**Lactosémie** : La lactosémie correspond à la teneur en lactose dans le plasma sanguin (lactose sanguin (LS)).

**Likelihood Ratio Test (LRT)** : Le rapport de vraisemblance est un test statistique utilisé pour comparer 2 modèles. Le test est basé sur le rapport de vraisemblance qui indique combien de fois il est plus probable qu'il soit sous un modèle. Ce rapport de vraisemblance permet de calculer la p\_value ou valeur critique qui permet de rejeter ou non un modèle.

**Linkage Analysis, Analyse de Liaison (LA)** : Tous les chromosomes sont appariés et sont issus des ascendants. Certaines séquences géniques peuvent ne pas être identiques. L'analyse de liaison détermine l'origine parentale d'une séquence d'ADN et permet de définir si la recombinaison a lieu ou non. Les gènes dont les loci sont très proches sont moins susceptibles d'être séparés et sont donc dits génétiquement liés.

**Linkage Disequilibrium and Linkage Analysis, Analyse de Liaison et de Déséquilibre de Liaison (LDLA)** : Le déséquilibre de liaison se réfère à l'association allélique non aléatoire. Autrement dit, un déséquilibre de liaison correspond aux combinaisons d'allèles dans des fréquences différentes de celles attendues en formation aléatoire.

**Lipolyse** : La lipolyse représente un paramètre de qualité du lait (Idele, 2009) qui fait référence à la dégradation enzymatique des matières grasses du lait. Cette réaction entraîne une hausse des teneurs en acides gras libres (AGL) (Heuchel et al., 2003). En effet, la matière grasse présente dans le lait s'y trouve sous forme de globules sphériques (Idele, 2009). Les globules gras sont protégés par une sorte de membrane servant de barrière entre triglycérides et enzymes lipolytiques. La lipolyse correspond donc à la dégradation enzymatique des triglycérides conduisant à la libération d'AGL. Une augmentation trop importante peut engendrer une détérioration du goût des produits (Heuchel et al., 2003).

## M

**Multipare** : Une femelle est dite multipare lorsqu'elle a mis bas au moins 2 fois. On distingue parfois les secondipares et les grandes multipares.

## N

**Note d'Etat Corporel (NEC)** : Les grilles de notation corporelle correspondent à l'évaluation de l'état des réserves énergétiques d'un animal. En France, l'échelle de notation pour les vaches varie entre 0 (très maigre) et 5 (très grasse) (Froment, 2007).

## P

**Persistance de lactation** : La persistance est l'aptitude d'un animal à maintenir sa production ; elle correspond à la pente de la courbe de lactation dans la phase décroissante (CIRAD, 1999). Chez la vache laitière (VL), le pic de production est atteint autour de la 7<sup>ème</sup> semaine de lactation (CNIEL, 2012). Les quantités de lait sécrétées par la mamelle vont ensuite décliner de façon progressive jusqu'au tarissement. Le coefficient mensuel de persistance correspond au rapport de 2 productions

$$P = \frac{\text{Prod. au mois } n}{\text{Prod. au mois } n + 1} (\%)$$

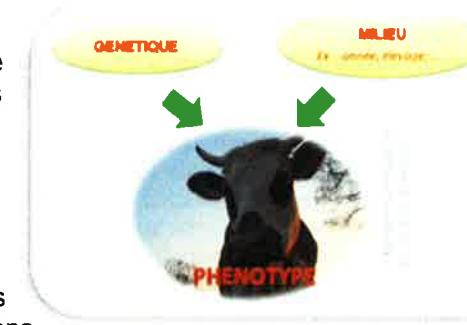
mensuelles consécutives : Ce paramètre dépend de l'animal (race, rang de lactation, gestation, etc.) et du milieu (alimentation, etc.).

**Phénotype** : Le phénotype correspond à l'expression visible des gènes (Larousse, 2012) ou autrement dit, les performances. Ci-contre, figure illustrant la notion de phénotype :

**Primipare** : Se dit d'un animal qui a mis bas pour la 1<sup>ère</sup> fois.

## Q

**Quantitative Trait Locus (QTL)** : Un QTL est un locus déterminant un caractère quantitatif (Rihet, 2004). Les régions



chromosomiques gouvernant les caractères quantitatifs peuvent être localisées par méthodes statistiques et repérées par des marqueurs moléculaires (INRA, 2012).

## S

*Single Nucléotide Polymorphism (SNP)* : Un SNP se réfère à une variation de séquence d'ADN due au changement d'un nucléotide (Rihet, 2004).

## T

*Taux Butyreux (TB) / Taux Protéique (TP)* : Ces taux correspondent respectivement aux teneurs en matières grasses et protéines du lait - constituant la matière sèche utile. Ces indicateurs conditionnent la valeur du produit et la rémunération aux producteurs.

*Transfert Embryonnaire ou Transplantation Embryonnaire (TE)* : Cette technique consiste à récupérer, dans un milieu de collecte approprié, les embryons au stade morula-blastocyte (60-80 cellules) d'une femelle dite donneuse qui a précédemment reçu un traitement de super-ovulation (INRA, 2012).

Les embryons, après avoir été triés voire éliminés en fonction de leurs viabilités, peuvent être utilisés frais, congelés (azote liquide à -196°C) et/ou analysés (sexage par analyse de la pellucide). Cependant, les différents procédés technologiques (congélation, sexage, etc.) fragilisent le jeune embryon et diminuent le pourcentage de réussite des transferts.

Par la suite, l'embryon (ou éventuellement les 2) est transplanté dans l'appareil reproducteur (utérus) de la femelle receveuse. Celle-ci a aussi précédemment reçu un traitement de synchronisation de cycle.

La donneuse est choisie pour ses qualités et son potentiel génétique, tandis que la femelle receveuse doit présenter de bonnes aptitudes d'élevage, notamment en termes de capacité de reproduction.

La TE permet d'accélérer la diffusion du progrès génétique (CIA L'Aigle, 2012) car les femelles à haut potentiel génétique peuvent avoir plusieurs produits par année, ce qui, dans la nature, reste impossible.

## Listes des figures & tableaux

### Figures :

Figure 1 : Thématique robot de traite : contraintes et objectifs des éleveurs laitiers par rapport au travail (Veyssset al., 2001).

Figure 2 : Effets du passage de la bitraite, à la monotraite sur les numérations cellulaires (CCS) dans le lait de vache (Pomiès, 2007). (a) : monotraite sur une partie de la lactation ; (b) : monotraite sur l'ensemble de la lactation.

Figure 3 : Effet rémanent de la monotraite appliquée à différents stades de lactation ((a) : à partir de 2<sup>ème</sup> semaine post-partum pensant 1 semaine, (b) : à partir de la 2<sup>ème</sup> semaine post-partum jusqu'à la fin de lactation, (c) : dès le vêlage) en termes de production laitière lors du retour à 2T/j (Pomiès, 2007).

Figure 4 : Effet de la monotraite sur la production laitière (en kg/j) durant 3 lactations (en semaines) et effet du retour de 2T/j en 4<sup>ème</sup> lactation du lot 1T/j (Pomiès, 2010).

Figure 5 : Impact de la monotraite (1T vs 2T/j) sur le PV (Poids Vif) et la NEC (Note d'Etat Corporel) (Pomiès, 2010).

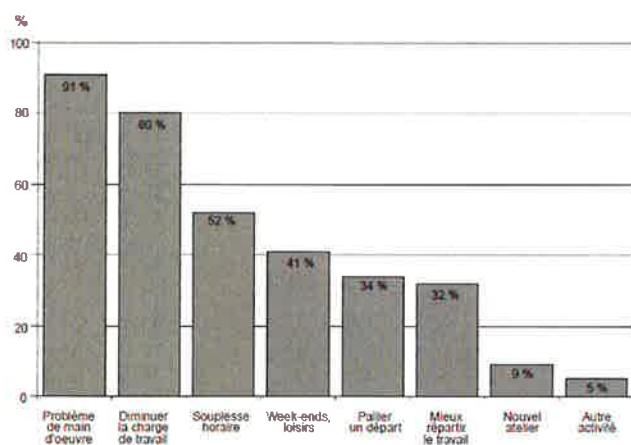


Figure 1 : Thématique robot de traite : contraintes et objectifs des éleveurs laitiers par rapport au travail (Veysset al., 2001).



Figure 6 : Evolution de la NEC (Note d'Etat Corporel) (*condition score*) et du poids (*live weight*) pour des vaches conduites en monotraite (OAD : Once-A-Day) et en bitraite (TAD : Two-A-Day) en NZ (Nouvelle-Zélande) (Cooper, 2012).

Figure 7 : Schéma du dispositif génétique du Domaine Expérimental du Pin (Larroque et al., 2004).

Figure 8 : Effectif des animaux ayant suivi l'essai monotraite entre 2004-2011.

Figure 9: Répartition des animaux du protocole «monotraite» en fonction du type de vêlage à la 1<sup>ère</sup> parturition («2 ans» : âge à la 1<sup>ère</sup> parturition <900 j ; «3 ans» : âge≥900j).

Figure 10 : Evolution de la production et de la composition moyenne du lait au cours de l'essai (1<sup>er</sup> passage en monotraite).

Figure 11 : Relation entre la production laitière avant (*laitpreexp*, en kg/j) et après le 1<sup>er</sup> passage en monotraite (*laitmono*, en kg/j). ↑

Figure 12 : Evolutions des moyennes de Comptages et de Scores Cellulaires Somatiques (CCS, SCS) au cours de l'essai monotraite (1<sup>er</sup> passage). →

Figure 13 : Evolution de la production et de la composition moyenne du lait au cours de l'essai monotraite (2 passages successifs). ↑

Figure 14 : Evolutions des moyennes de Comptages et de Scores Cellulaires Somatiques (CCS, SCS) au cours de l'essai monotraite (2 passages successifs en monotraite). →

Figure 15 : Classification des vaches en fonction du TB (Taux Butyreux) avant la monotraite (g/kg) et du taux de récupération (%).

Figure 16 : Evolution de la lactosémie (mg/L) au cours de l'essai monotraite (1<sup>er</sup> passage).

Figure 17 : Relation entre le lactosémie au 1<sup>er</sup> jour de monotraite (le matin, en mg/L) et le taux de récupération (%) (1<sup>er</sup> passage).

Figure 18 : Classification des individus en fonction des pertes de lait au passage en monotraite et du regain au 1<sup>er</sup> passage.

### Tableaux :

Tableau 1 : Paramètres de qualité du lait (numérations cellulaires (x 100)) et de santé de la mamelle (mammites cliniques) pour 2 fréquences de traite (1T/j, 2T/j) dans le cadre d'un essai à la ferme expérimentale de Trévarez (Portier et al., 2006).

Tableau 2 : Moyennes et différences annuelles en MilkSolids (*correspondant aux quantités de matières produites, en NZ( Nouvelle Zélande)*) en fonction des pratiques de traites : bitraite (TAD : Twice A Day) et monotraite (OAD : Once A Day), de l'âge et du type racial (McPherson et al., 2007).

Tableau 3 : Estimations des corrélations entre paramètres de production en bitraite et en monotraite (*à partir des données recueillies à partir de 2004-05 / 2006-07*) (McPherson et al., 2007).

Tableau 4: Conduite de l'essai monotraite.

Tableau 5 : Performances laitières en 1<sup>ère</sup> lactation des animaux du protocole «monotraite».

Tableau 6 : Evolution des performances de production au cours de l'essai monotraite (1<sup>er</sup> passage) en valeurs absolues et relatives.

Tableau 7: Evolution des performances de production au cours de l'essai monotraite (2<sup>nd</sup> passage).

Tableau 8 : Profils des typologies d'individus en fonction de la classification perte de production et regain (%).

Tableau 9 : Corrélations phénotypiques entre variables du 1<sup>er</sup> du 2<sup>nd</sup> passage en monotraite (*variables en valeurs absolues (kg/j) et relatives (%)*).

## Introduction

L'agriculture française se trouve actuellement dans un contexte très particulier tant sur le plan économique, social qu'environnemental. Les exploitations de bovins laitiers sont confrontées à un environnement devenu de plus en plus instable et incertain. La pérennisation des outils de production passera par l'adaptation des systèmes à ce nouveau contexte.

La volatilité des matières premières agricoles s'est accrue depuis 2005-2006. L'augmentation des intrants pourrait induire une hausse en termes de coût de production de 15 à 25€/1000L avec un prix du litre du lait instable (Institut de l'Elevage (Idele), 2011).

En parallèle, la gestion de la main d'œuvre et du temps de travail devient une question récurrente pour la profession agricole et la pérennité des systèmes d'élevage

(Idèle, 2011). En effet, le nombre de personnes travaillant sur les exploitations agricoles de manière permanente a reculé de plus d'1/4 en 10 ans (26,7%) passant de 1,3 millions en 2000 à 966 000 en 2010 d'après le Recensement du Ministère de l'Agriculture (2010).

De plus, les aspirations du monde agricole évoluent. Une enquête indique que 53% des éleveurs expriment des attentes en termes de week-end, 41% pour les vacances et 29% souhaiteraient plus de disponibilité au quotidien (Pomiès et al., 2008). Pour les éleveurs de bovins laitiers, l'astreinte liée à la traite est un point clef puisqu'elle représente environ la moitié du temps passé auprès des animaux (Hickson, al., 2006). L'atelier laitier nécessite en moyenne 7,4h de travail par jour (2700h/an) et le poste traite, à lui-seul, 4,8h/j soit 1750h/an (Veysset et al., 2001). Par ailleurs, dans un contexte de volatilité des prix et de contractualisation de la filière, l'ajustement rapide des volumes produits et livrés sera un point central par rapport à la pérennité des exploitations vis-à-vis de cette toute nouvelle conjoncture laitière.

Pour alléger les contraintes et gagner en souplesse d'organisation du travail, des leviers d'action existent (Pomiès et al., 2008). Un de ces leviers repose sur la robotisation de la traite. L'acquisition d'un robot vient en réponse à un manque de main d'œuvre pour 91% des éleveurs (Veysset et al., 2001) (*Cf. fig. 1*). Les installations de traites robotisées ne cessent de progresser (Allain, 2012) : fin 2011, 1866 exploitations françaises parmi les élevages adhérent au contrôle laitier été équipées d'un robot de traite - soit 2 fois plus qu'en 2008 et 3 fois plus qu'en 2007. Si la robotisation s'accompagne d'une augmentation de la fréquence de traite journalière ; à l'inverse, les techniques de traites simplifiées (suppression de la traite du dimanche soir, horaires de traites rapprochées, 3 traites en 2 jours, monotraite : 1T/j) peuvent aussi répondre aux enjeux actuels (Pomiès, 2007 et 2008). La monotraite peut représenter une véritable stratégie d'adaptation de façon plus ou moins ponctuelle à l'échelle des exploitations laitières. En effet, la modulation des intervalles entre 2 traites permet de diminuer les charges d'élevages : coût de la main d'œuvre, etc. (Hickson et al., 2006) ; mais aussi, de gagner en termes de flexibilité : amélioration de la qualité de vie, gestion des ressources fourragères et des pics d'activités (récoltes, semis, travaux, etc.) (Shorten et al., 2002 ; Portier et al., 2006 ; Phyn et al., 2008).

Initiée dans les années 80 en NZ (Nouvelle-Zélande) (Pomiès et al., 2008), la monotraite concerne une minorité d'élevage : 3% des éleveurs néozélandais (soit 400 élevages, dont 150 en monotraite sur toute la lactation) selon McPherson et al. (2007). En France, l'Idèle et l'EDE (Etablissement De l'Elevage) recensaient en 2003, dans un contexte de dépassement du quota laitier, 120 éleveurs pratiquant la monotraite pour une durée moyenne de 65 j. A l'échelle bretonne, la monotraite concernait ≈1% des exploitations adhérentes au Contrôle Laitier en 2006 (Michaud et al., 2007).

La monotraite se traduit par une baisse de la production laitière (PL) - en moyenne, de 20 à 30% (phase descendante de la lactation), ce qui explique sans doute son faible développement. Cependant, la littérature insiste sur la variabilité des réponses entre individus notamment en termes de production de lait (Guinard-Flament et al., 2011 ; Lovendahl et Chagunda, 2011), suggérant que certains animaux seraient mieux adaptés que d'autres à cette pratique.

Ainsi, en plus d'une pratique pouvant permettre aux éleveurs de gagner en flexi-sécurité ainsi qu'en robustesse et souplesse de pilotage du système d'exploitation (gestion des volumes de lait produits sur l'exploitation - en lien avec les quotas et les contrats passés avec les laiteries) ; la monotraite peut aussi être considérée comme un modèle d'étude permettant d'analyser la variabilité des réponses de la glande mammaire à un allongement de l'intervalle de traites.

A terme, une connaissance et une caractérisation des animaux les plus adaptés vis-à-vis de la monotraite pourrait permettre de sélectionner des individus robustes, capables de faire face au contexte de plus en plus instable en produisant des quantités de lait suffisantes

avec de moindres fréquences de traites et des conduites d'élevage variables (Mocquot, 1979 ; Guimareas et Woodford, 2005).

La présente étude s'inscrit dans le cadre de l'analyse des réponses adaptatives de la vache à la monotraite. Elle se base sur le dépouillement de données existantes issues d'individus croisés Holstein et Normande (HoxN) impliqués dans le programme de détection de QTL au domaine expérimental INRA du Pin-au-Haras (Orne).

Cette étude aura pour objectifs de caractériser les réponses au passage à la monotraite. Elle se focalisera sur l'analyse des variations de volumes de lait (pertes de lait au passage à 1T/j, gains de production au retour à 2T/j) en raison de la forte variabilité interindividuelle de ces réponses. Dans un 2<sup>nd</sup> temps, l'étude s'attachera à identifier des *phénotypes* prédicteurs permettant d'anticiper les réponses à la monotraite ainsi qu'à préciser la part du déterminisme génétique qui expliquerait la variabilité des réponses.

Partie 1

# Présentation de la problématique



Le Pin-au-Haras,  
photographie  
entrée du  
Domaine  
Expérimental  
du Pin, 2011,  
L. Heuveline

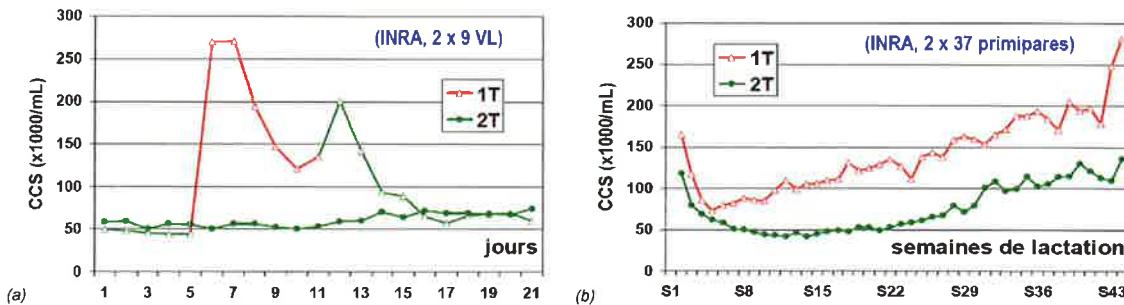


Figure 2 : Effets du passage de la bitraite, à la monotraite sur les numérations cellulaires (CCS) dans le lait de vache (Pomiès, 2007). (a) : monotraite sur une partie de la lactation ; (b) : monotraite sur l'ensemble de la lactation.

Tableau 1 : Paramètres de qualité du lait (numérations cellulaires (x 100)) et de santé de la mamelle (mammites cliniques) pour 2 fréquences de traite (1T/j, 2T/j) dans le cadre d'un essai à la ferme expérimentale de Trévarez (Portier et al., 2006).

moyenne sur les 3 lactations	Lot 2 traites	Lot 1 traite
<b>Mammites cliniques</b>		
% animaux concernés	49	58
% rechutes	6	31
<b>% comptages &lt; 300</b>	76	63
<b>% comptages &gt; 800</b>	9	16

La qualité du lait s'est dégradée avec la monotraite



Très étudié et décrit dans la littérature (contrairement au retour à 2T/j), le passage à la monutraite modifie non seulement la production et la composition du lait, mais aussi l'état corporel des animaux. Cette partie s'attachera à mettre en évidence et discuter la variabilité des réponses induite par la monutraite.

### 1.1.Conséquences zootechniques : les effets du passage de 2 à 1 traite par jour

#### 1.1.1. La monutraite affecte la production laitière de façon variable entre les individus

La monutraite s'accompagne d'une diminution de la production chez la VL. Cette baisse varie de -19 à -46% selon les facteurs et les lots étudiées (Pomiès et al., 2008). Plus une vache produit de lait, plus la baisse de production (exprimée en kg/j) au passage à 1T/j est importante ; Holmes et al. (1992) précisent qu'à niveau de production équivalent, les animaux sont plus ou moins sensibles à la monutraite (de 10% à 50% de perte de PL).

#### 1.1.2. La monutraite influence également la composition du lait : effet de concentration des taux de matières utiles

La littérature indique généralement un effet positif de la monutraite sur les *taux butyreux et protéique* (phénomène de concentration) : de -1,3 à +6 g/kg pour le TB ; de -0,2 à +3,7 g/kg pour le TP (Pomiès, et al., 2008). Le rapport caséines/protéines passe de 82% en traite biquotidienne à 80,8% en monutraite (Pomiès, et al., 2008). La monutraite engendre également une baisse des acides gras libres de près de moitié : -47% d'après Pomiès et al., 2008. La *lipolyse* diminue de l'ordre de 22% selon Rémond et Pomiès (2004). La monutraite induit une baisse du taux de *lactose du lait* de -0,4 à -2,7 g/kg (Davis et al., 1999 ; Hickson et al., 2006).

#### 1.1.3. La monutraite dégrade la qualité leucocytaire du lait

La monutraite s'accompagne d'une hausse des concentrations de cellules somatiques (CCS) dans le lait (Rémond et al., 2004 ; Idele, 2009). Lors du passage à 1 T/j après le pic de production (phase décroissante de production), les CCS sont multipliées par 3 les 4-5 premiers jours. Ensuite (jusqu'à 10 semaines), l'écart entre les 2 conduites est de plus de 30 000 CCS/mL (Pomiès et al., 2008). Quand la monutraite intervient post-partum (directement après vêlage), les numérations cellulaires atteignent, en fin de lactation, un niveau pénalisant le paiement du lait (CCS>250 000C/mL) (**Cf. fig. 2**).

Une étude, sur 87 primipares lors des 18 premières semaines de lactation, montre une fréquence plus élevée de mammites cliniques pour le lot monutraite par rapport au lot en traite biquotidienne (Pomiès, 2010) : 90% des VL sans mammites en traite biquotidienne vs 73% en monutraite. Lors d'un essai à la ferme expérimentale de Trévarez, la Chambre d'Agriculture du Finistère (Portier et al., 2006) comptabilise plus de mammites pour le lot monutraite (1,4 mammites vs 0,8 dans le lot traite biquotidienne et 2,5 mammites/lactation pour les animaux traits 1 fois/j lors de la 2<sup>nd</sup> campagne d'essai) (**Cf. tabl. 1**). Phyn et al. (2008) précisent que la gestion sanitaire du troupeau est un point clé de la conduite en monutraite.

### 1.2.L'impact de la monutraite dépend des conditions de son application

La littérature met en avant l'influence du stade et de la durée de la monutraite pour expliquer la variabilité des résultats (Clark et al., 2007 ; Phyn et al., 2008).

L'impact d'un allongement de la fréquence de traite est d'autant plus marqué que la monutraite intervient précocement par rapport au stade de lactation (Rémond et Pomiès, 2005). Ainsi, appliquée dès le vêlage, la monutraite pénalise fortement la PL quelque soit la parité de l'animal : -35% pour les *multipares* et -45% pour les *primipares* (Rémond et Pomiès, 2005) avec un écart relativement stable entre les 2 modalités de traite jusqu'à la fin de lactation (Rémond et al., 2004). Appliquée lors de la phase descendante, les pertes sont moindres : de -21 à -28% (race Holstein) selon les essais pour des durées allant jusqu'à 10 semaines de monutraite (Rémond et Pomiès, 2005). Plus la période de monutraite est longue, plus les pertes sont importantes. La monutraite appliquée pendant 6 semaines en

début de lactation pour des vaches néo-zélandaises engendrent des pertes de -12% de MS (Milk Solid) sur la lactation vs -8% pour 3 semaines (Phyn et al., 2011).

Une étude de Hickson et al. (2006) précise que les vaches traites 1 fois/j (race Frisonne, Jersey) ont de meilleures *persistances* et que leur pic de production est plus précoce que les vaches traites 2 fois/j : 24 à 39 vs 32 à 44 j. Par ailleurs, Pomiès (2007) indique que la durée de lactation a été réduite de 12 j chez des multipares passées en monotraite pendant toute la lactation par rapport aux animaux conduits en bitraite. La monotraite sur une très courte période (maximum de 2 semaines) n'aurait en revanche pas d'effet sur la production et la persistance selon Knight et Dewhurst (1994).

### 1.3. Les animaux ne recouvrent pas leur niveau de production initial au retour à la traite biquotidienne

Après un épisode de monotraite, la PL augmente lors du retour à 2 T/j : +4,3 kg/j ±2,4 (Guinard-Flament et al., 2011). Il existe cependant des effets rémanents liés à la monotraite (Pomiès et al., 2008) qui varient en fonction du stade et de la durée d'application. Plus la monotraite intervient précocement dans la lactation, plus cet effet est marqué. Si la monotraite a lieu dès le vêlage, l'effet rémanent peut atteindre -16% de PL ; lorsqu'elle intervient plus tardivement dans la lactation, cet effet est moindre : de -2,6 à -9% (Pomiès, 2007) (Cf. fig. 3). L'effet rémanent ne semble cependant pas persister d'une lactation à l'autre (Cf. fig. 4). Les pertes sont moindres quand la période de monotraite est courte : -2,6% après 1 semaine et -10% après 7-10 semaines d'essai (Rémond et Pomiès, 2004). Pomiès et al. (2008) indiquent qu'il n'y aurait pas d'effet durable de la monotraite sur la composition du lait après le retour à 2 T/j.

### 1.4. La monotraite semble avoir un impact positif sur l'état corporel de l'animal

Plusieurs études montrent que la monotraite a un impact positif à long terme sur le poids vif et la *Note d'Etat Corporel* (NEC) des animaux (Rémond, Pomiès, 2005 ; Phyn et al., 2008 ; Idele, 2012). Un essai portant sur des primipares Holstein (2001-2004) indique que les animaux en monotraite dès le vêlage ont des poids supérieurs de 40 kg et de +1 point de NEC par rapport au lot 2 T/j après 25 semaines de lactation (Cf. fig. 5), même si la complémentation est ajustée aux quantités de lait produites (Pomiès, 2010). Cet effet de la monotraite se retrouve pour les essais portant sur des vaches néo-zélandaises : +40 kg (+1,6 «score de condition») selon Holmes et al. (1992) et de +31 kg (score : +1,13), d'après Cooper (2012) (Cf. fig. 6).

### 1.5. Indicateurs permettant d'anticiper la réponse à la monotraite chez la vache

La littérature rapportant une importante variabilité des réponses individuelles à la monotraite, il serait intéressant de pouvoir prédire la réponse de l'animal à un allongement du rythme de traite. Une 1<sup>ère</sup> analyse des résultats du Domaine Expérimental du Pin indique que les pertes de lait (%) sont peu liées à la production initiale à 2T/j ( $r=0,22$ ) (Guinard-Flament et al., 2011). Le taux de récupération (quantité de lait regagné/quantité de lait perdu en kg (x100)) ne semble pas corrélé à la production initiale, ni à production pendant la monotraite et aux quantités perdues. Les individus ayant perdu le plus de lait lors du passage à la monotraite sont ceux qui ont regagnés le plus lors du retour à 2T/j ( $r=-0,59$  kg/j) (Guinard-Flament et al., 2011).

La littérature renvoie à quelques indicateurs permettant de prévoir l'impact de la monotraite. Davis et al. (1999) précisent que la baisse des concentrations en lactose dans la lait peut indiquer «des fuites» via les jonctions serrées de la mamelle (Cf. annexe I). Cependant, les pertes de production ne semblent pas dépendre des concentrations en lactose plasmatique :  $r_{\text{perte de lait/lactose plasmatique}}=0,21$  lors du 1<sup>er</sup> j de monotraite (échantillon avant la traite) ; ni au TB au cours de la monotraite (Guinard-Flament et al., 2011). En revanche, le taux de récupération semble être lié négativement au lactose dans le plasma ( $r=-0,40$  et  $-0,47$  avant et après la traite respectivement) et positivement au TB du lait au cours du 1<sup>er</sup> jour de monotraite ( $r=+0,46$ ) (Guinard-Flament et al., 2011).

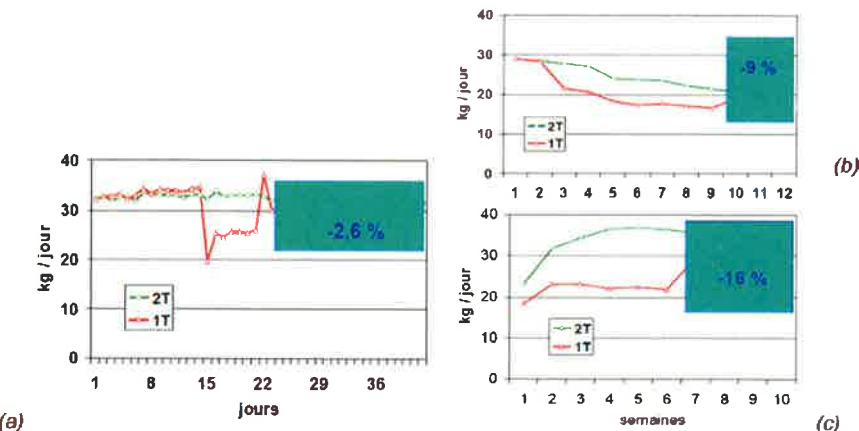


Figure 3 : Effet rémanent de la monotraite appliquée à différents stades de lactation ((a) : à partir de 2<sup>ème</sup> semaine post-partum pensant 1 semaine, (b) : à partir de la 2<sup>ème</sup> semaine post-partum jusqu'à la fin de lactation, (c) : dès le vêlage) en termes de production laitière lors du retour à 2T/j (Pomiès, 2007).

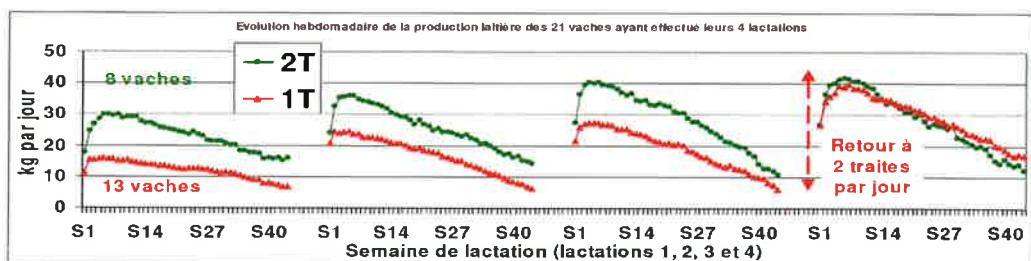


Figure 4 : Effet de la monotraite sur la production laitière (en kg/j) durant 3 lactations (en semaines) et effet du retour de 2T/j en 4<sup>ème</sup> lactation du lot 1T/j (Pomiès, 2010).

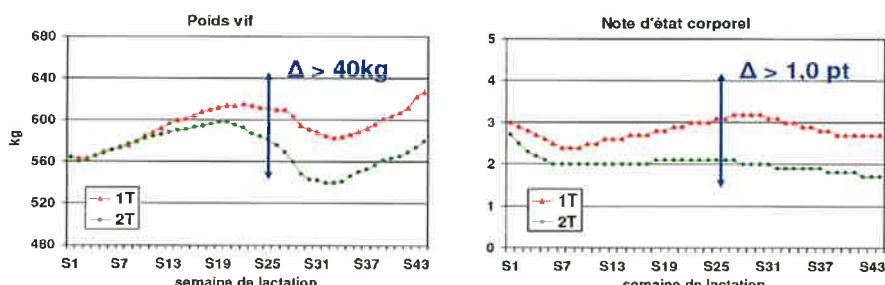


Figure 5 : Impact de la monotraite (1T vs 2T/j) sur le PV (Poids Vif) et la NEC (Note d'Etat Corporel) (Pomiès, 2010).

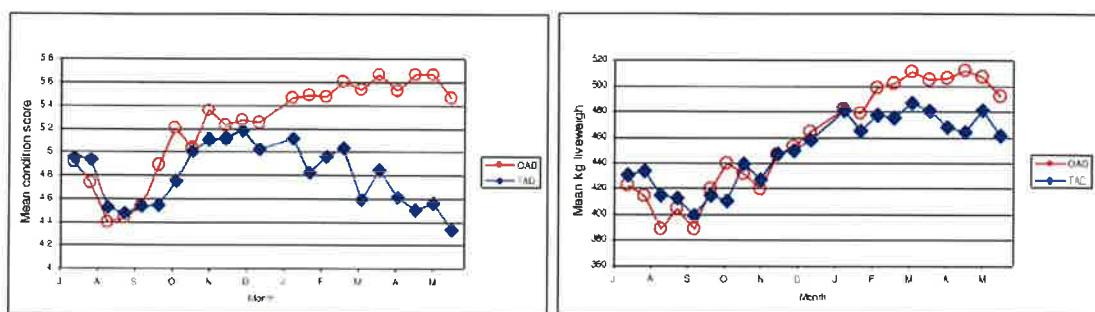


Figure 6 : Evolution de la NEC (Note d'Etat Corporel) (*condition score*) et du poids (*live weight*) pour des vaches conduites en monotraite (OAD : Once-A-Day) et en bitraite (TAD : Two-A-Day) en NZ (Nouvelle-Zélande) (Cooper, 2012).



### 1.6. La génétique semble influencer la réponse des animaux à la monotraite

Si le stade de lactation et la durée de la monotraite ont un impact, il est possible d'émettre l'hypothèse que le facteur génétique puisse en partie expliquer la variabilité des réponses à la monotraite indiquée par la littérature (Davis, et al., 1999 ; Rémond et Pomiès 2005 ; McPherson et al., 2007). Selon Holmes et al. (1992), au passage à 1T/j, certains animaux ont des pertes de production inférieures à 10% alors que certains chutent de plus de moitié. La littérature affirme que certains animaux traits 1 fois/j sont capables d'avoir une production très élevée et similaire aux niveaux observés en traite biquotidienne (Davis, 2005 ; Guimareas et Woodford, 2005 ; Hickson et al., 2006 ; Clark et Dalley, 2007).

Cet effet génétique se retrouve également au travers des différences raciales. En France, en race Montbéliarde les pertes sont de l'ordre de 19% contre 25% en race Holstein à stade de lactation équivalent (Pomiès et al. 2007). En NZ, les pertes de lait induites par la monotraite en race Holstein sont supérieures aux pertes observées chez les Jersiaises : -29% vs -20% respectivement (Guimareas et Woodford, 2005 ; Clark et al., 2007 ; Idele, 2012). Par rapport aux indicateurs technico-économiques néo-zélandais se basant à la fois sur la production de lait et de matières utiles, les pertes seraient ramenées à -20% en race Holstein et -7% en race Jersiaise (Clark et al., 2006 ; Idele, 2012). McPherson et al. (2007) précisent ces différences en fonction du type racial (Holstein-Frisian, Holstein-Frisian x Jersey, Jersais) et de l'âge (de 2 à 7 ans) (*cf. tabl. 2*). D'après Littlejohn (2007), la proportion d'allèles ayant un impact négatif pour la monotraite est inférieure à 5% en race Jersiaise contre ≈25% chez la Frisonne - pouvant expliquer les pertes moindres lors de la monotraite en race Jersiaise.

#### 1.6.1. Les schémas de sélection génétique néozélandais intègrent l'aptitude à la monotraite

Avec de grands troupeaux conduits à l'herbe, le gain de temps que représente l'omission d'1T/j intéresse particulièrement les éleveurs néo-zélandais.

Afin de limiter les pertes de production individuelle, l'aptitude à la monotraite est désormais prise en compte dans les schémas génétiques néo-zélandais (Davis, 2005 ; Idele, 2012). En effet, le LIC (Livestock Improvement Corporation) a introduit en 2003 «l'indice monotraite» dans ses programmes de sélection (McPherson et al., 2007 ; LIC, 2012). Le LIC a intégré les données de performances de plus de 300 «troupeaux monotraite» pour développer cet indice OAD (Once A Day (milking) : monotraite) (Rapport annuel LIC, 2003-04/2005-06 ; McPherson et al., 2007). La relation entre index (valeurs génétiques) OAD et TAD (Once/Twice A Day) étant différente de 1, le LIC a considéré qu'il s'agissait de 2 caractères différents et a donc mis au point des équations permettant de calculer l'index OAD à partir de l'index TAD. Les index reposent sur la formule de la «valeur d'élevage» (BW : Breeding Worth : volume de lait, matières grasse et protéique et score de cellules somatiques) (McPherson et al., 2007) (*cf. tabl. 3*). Selon le LIC, 40 des meilleurs taureaux testés sur descendance sont mis à disposition (semences congelées) des élevages commerciaux en monotraite (Rapport annuel LIC, 2005-06). Les éleveurs peuvent ainsi sélectionner et accoupler les animaux les plus aptes à la monotraite.

En revanche, les essais en NZ concernent des animaux très différents des troupeaux français tant au niveau racial (Holstein-Frisonne, Jersiaise) que par rapport aux niveaux de productivité (4000 L/an/VL) (Chambre Agriculture Bretagne, 2012) - du fait d'une conduite axée sur la valorisation de l'herbe toute l'année. Les essais européens portant sur la monotraite concernent généralement de faibles effectifs. Le dispositif INRA du domaine expérimental du Pin comprend plus de 300 animaux passés en monotraite – la précision des résultats pourra s'en trouver améliorée.

De ce fait, l'objectif de l'étude, en lien avec les interrogations des éleveurs, est d'analyser les conséquences du passage à 1T/j et du retour à 2T/j sur un grand nombre d'animaux conduits de manière représentative par rapport aux systèmes français. Il s'agira :

1. de caractériser les réponses du passage à 1T/j. L'impact de la monotraite sera étudié à partir de données phénotypiques dont la quantité et la qualité du lait. Il sera plus particulièrement question des variations de PL au passage à 1T/j et retour à 2T/j, car la bibliographie insiste sur l'importante variabilité des réponses.
2. d'identifier des phénotypes prédicteurs permettant d'anticiper les réponses à la monotraite. Les caractères phénotypiques de performances laitières seront confrontés à des paramètres physiologiques tels que la *lactosémie*. Ce critère étant un indicateur de la réponse à la monotraite mis en évidence par Guinard-Flament et al. (2011), les flux de lactose permettront de caractériser les différentes réponses au passage à 1T/j.
3. de décrire le déterminisme génétique qui expliquerait la variabilité de ces réponses via une 1<sup>ère</sup> estimation de l'*héritabilité* et la détection de QTL.

Tableau 2 : Moyennes et différences annuelles en MilkSolids (correspondant aux quantités de matières produites, en NZ(Nouvelle Zélande)) en fonction des pratiques de traite : bitraite (TAD : Twice A Day) et monotraite (OAD : Once A Day), de l'âge et du type racial (McPherson et al., 2007).

Age	System	Holstein-Friesian		HFxJ		Jersey	
		kg MS/c	% Diff.	kg MS/c	% Diff.	kg MS/c	% Diff.
2	OAD	226		240		217	
	TAD	269	16%	270	11%	241	10%
3	OAD	274		301		271	
	TAD	312	9%	316	5%	279	3%
4	OAD	299		326		299	
	TAD	345	13%	347	6%	306	2%
5	OAD	308		324		305	
	TAD	366	13%	358	9%	315	3%
6	OAD	311		325		300	
	TAD	355	12%	355	8%	312	4%
7	OAD	306		318		295	
	TAD	351	13%	355	10%	306	4%

Tableau 3 : Estimations des corrélations entre paramètres de production en bitraite et en monotraite (à partir des données recueillies à partir de 2004-05 / 2006-07) (McPherson et al., 2007).

	Protein	Fat	Milk volume	SCC score
Holstein-Friesian	0.78	0.77	0.82	0.77
HF x J	0.76	0.81	0.82	0.82
Jersey	0.75	0.84	0.80	0.76

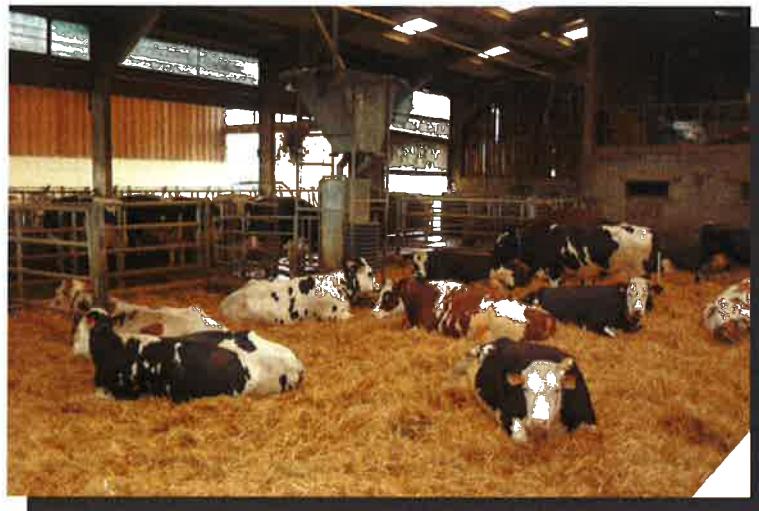
Protein : taux protéique ; Fat : taux de matière grasse ; milk volume : quantité de lait ; SCC Score de Cellules Somatiques.



Partie

2

## Matériel & Méthodes



*Pôle Lait –  
Domaine  
Expérimental  
INRA du Pin,  
photographi  
e animaux  
expérimenta  
ux croisés  
Holstein x  
Normand,  
2011, L.  
Heuveline.*

## 2.1. Les animaux

Le protocole «monotraite» s'inscrit dans le dispositif plus large de détection de QTL de l'INRA du Pin basé sur le croisement des races HxNo (Cf. fig. 7, annexes II & III). Il a été conduit seulement sur des vaches multipares (rang 2 de lactation en majorité) pour ne pas biaiser la 1<sup>ère</sup> lactation des animaux (L1) pendant laquelle de nombreuses mesures sont réalisées.

L'essai s'est déroulé sur 7 campagnes (de 2004 à 2011, exception faite de 2009) à raison de 2 à 3 séries par campagne (Cf. fig. 8), en période hivernale avec une conduite alimentaire restée homogène entre campagnes. Le protocole «monotraite» s'est déroulé sur 7 semaines avec 1 semaine pré-expérimentales (ou témoin) durant laquelle les animaux étaient traits 2 fois/j (7h, 17h), 3 semaines de monotraite (période expérimentale : 1T/j le matin) et 2 semaines de reprise à 2 T/j (Cf. tabl. 4). Les données analysées pour décrire la période post-expérimentale correspondent à la moyenne de la 2<sup>nde</sup> semaine de reprise à 2 T/j où les niveaux de production sont stabilisés.

370 VL sont passées en monotraite et 368 ont été gardées pour l'analyse (2 VL en L3 éliminées). Le paramètre leucocytaire n'a pas été pris en compte en tant que critère d'élimination. Le dispositif comprend 80% de F2 (2<sup>ème</sup> génération de croisement) et 20% de F3 (3<sup>ème</sup> génération de croisement). Les animaux sont passés en monotraite à 84 ±13 j de lactation (12 semaines), soit à stade de lactation homogène entre individus grâce au regroupement des vêlages à l'automne-hiver. Chez la VL, le pic ayant lieu généralement aux alentours de la 7<sup>ème</sup> semaine post-partum (CNIEL, 2006), l'essai se déroule donc en phase décroissante de la courbe de lactation. En 2010 et 2011, 2 séries d'animaux sont re-passées à 1T/j pendant 14 j, quatre semaines après leur 1<sup>er</sup> passage en monotraite.

## 2.2. Les paramètres analysés

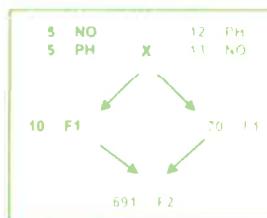
### 2.2.1. Phénotypage

Les animaux ont été phénotypés sur les critères zootechniques et physiologiques tout au long de l'essai. La quantité de lait (variable à expliquer dans la présente étude) a été mesurée et enregistrée à chaque traite par un logiciel automatique Boumatic-2050®. Les paramètres de qualité du lait (TB, TP, lactose et numération cellulaire : variables explicatives) ont été analysés en période pré-expérimentale ( $J_{-5}$ ,  $J_{-3}$ ), les 4 1<sup>ers</sup> jours de chaque semaine de monotraite ( $J_0$  à  $J_3$ ,  $J_7$  à  $J_{10}$ ,  $J_{14}$  à  $J_{17}$ ), lors de la semaine de reprise, ( $J_{21}$  à  $J_{23}$ ) et en phase post-expérimentale ( $J_{28}$ ). Les prélèvements de lait étaient proportionnels à la quantité totale produite (prélevage automatique : 2,2%) pour avoir un échantillon représentatif de l'ensemble de la traite. Conservés à 4°C, ces échantillons ont été envoyés pour analyse au Laboratoire Interprofessionnel Lilano à Saint Lô. Les mesures de lactose sanguin (LS) permettant d'étudier la réponse de l'épithélium mammaire à une modification du rythme de traite (variable explicative) ont été effectuées à  $J_{-3}$ ,  $J_0$ ,  $J_1$ ,  $J_3$ ,  $J_7$ ,  $J_{21}$ ,  $J_{23}$ ,  $J_{28}$  sur la campagne 2005 et 2006 puis, seulement durant la période pré-expérimentale et le 1<sup>er</sup> jour de monotraite les autres campagnes. Les prises de sang caudales ont été réalisées 1h-1h30 avant la traite (à partir de 6h30) et 5h-6h après la traite (à partir de 14h) pour décrire respectivement le taux de LS lorsqu'il est le plus élevé (mamelle pleine de lait) et le plus faible (niveau basal). Le sang a été centrifugé et le plasma congelé pour analyse à l'UMR Pegase (INRA-Rennes).

L'aptitude à la traite a été mesurée avec des paramètres de cinétique d'émission du lait à différents stades. Pour toutes les femelles, les UPRA (Unité Nationale de Sélection et de Promotion de la RAce) Normande et Prim'Holstein ont pointé 23 caractères morphologiques 2 mois après parturition (Larroque et al., 2003) (données non analysées dans cette étude).

### 2.2.2. Génotypage

L'ensemble des individus du dispositif du Pin, dont ceux passés en monotraite, a fait l'objet d'un génotypage en plusieurs étapes par le Centre National de Génotypage (CNG) et par le laboratoire Labogena, à partir d'ADN sanguin (prise de sang caudale) à l'aide d'une puce 54 000 SNP (Single Nucleotide Polymorphism) commercialisée par la firme Illumina®.



En 1993, les parents F0 ont été choisis et chaque mâle F0 a été accouplé avec 2 à 4 femelles F0

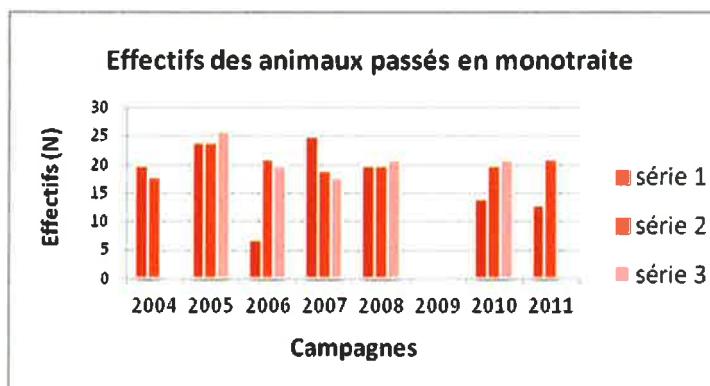
- 10 mâles et 70 femelles F1 ont été retenues.

- 691 femelles F2 sont nées de 1997 à 2003, et constituent des familles de 3 à 21 pleines sœurs (10 en moyenne)

En comparaison avec le schéma initial, le nombre de femelles F0 et F1 a été réduit, et la taille des familles de pleines sœurs F2 a été augmentée

Pour plus de précisions, le dispositif du Domaine Expérimental du Pin est détaillé en annexe II.

Figure 7 : Schéma du dispositif génétique du Domaine Expérimental du Pin (Larroque et al., 2004).



Une série correspond à un «essai monotraite» : il y a 2 à 3 séries par campagne.

Figure 8 : Effectif des animaux ayant suivi l'essai monotraite entre 2004-2011.

Tableau 4: Conduite de l'essai monotraite.

Phase	Durée (en semaine)	Rythme de traite (en traite/j)	Stade (en J)
Pré-expérimentale	1 semaine	2 T/j	J-7 à J-1
Expérimentale	3 semaines	1 T/j	J <sub>0</sub> à J <sub>20</sub>
Reprise	1 semaine	2 T/j	J <sub>21</sub> à J <sub>27</sub>
Post-expérimentale	1 semaine	2 T/j	J <sub>28</sub> à J <sub>34</sub>



Pour l'analyse génétique, les marqueurs ont été sélectionnés sur les tests d'équilibre de Hardy-Weinberg, de Minor Allele Frequency (MAF), de call rate (% de SNP analysables par individu > 95%). Les animaux ont été sélectionnés en fonction du call rate et de la compatibilité avec la généalogie. En cas d'incompatibilité ascendant/descendant, les marqueurs concernés ont été invalidés (code=0). Au final, environ 36 000 marqueurs (2/3) ont été gardés pour l'analyse.

### 2.3. Construction des fichiers de données

L'extraction des données des animaux concernés par le protocole «monotraite» s'est faite à partir des bases informatiques du Département de Génétique Animale (DGA) de l'INRA gérées au Centre de Traitement de l'Information Génétique (CTIG) de Jouy-en-Josas. Depuis 2010, les informations sont centralisées dans une nouvelle base de données, MARGAU<sub>bovin</sub>, qui regroupe toutes les données des troupeaux expérimentaux bovins du DGA. Les informations concernant la généalogie ancienne des individus ont été extraites de la base de données nationale : le Système d'Information Génétique (SIG). Une partie des données de qualité du lait (issu du Lilano) et spécifique au protocole monotraite, n'était pas gérée par les bases de données. Elles ont été récupérées à partir de fichiers gérés en local format Excel®). Les taux de chaque traite ont été pondérés par la production laitière (PL) respective afin de recalculer un taux journalier individuel. L'ensemble des données, issues des différents systèmes de gestion, ont ensuite été restructurées pour harmoniser les variables dans le temps. Afin de décrire les effets de milieu pouvant influencer les variables, les stades de lactation et les âges au vêlage ont été recalculés à partir des dates de naissance, de mise bas et de passage en monotraite. Deux variables (LS, CCS) ont fait l'objet d'une transformation logarithmique en raison de leur distribution non normale.

Pour l'analyse statistique, des variables de synthèse ont également été créées (*Cf. annexe IV*) afin de décrire chaque phase du protocole de façon synthétique, ou bien les variations lors du passage d'une phase à une autre. Deux types de variations ont été calculés : des variations en valeurs absolues et des variations en valeurs relatives (%). Au final, le fichier comprend 368 individus pour lesquelles sont disponibles plus de 500 variables. L'ensemble des données a été généré et géré sous environnement UNIX®, à l'aide du logiciel SAS® (Statistical Analysis System).

### 2.3. Les analyses

Excepté pour la répétabilité, les analyses ont été menées séparément pour les performances du 1<sup>er</sup> et pour celles du 2<sup>nd</sup> passage.

#### 2.4.1. Description des données

La structure familiale et les relations entre individus ont été décrites à l'aide du logiciel pedigree Viewer<sup>®1</sup>. Les données phénotypiques ont été validées et décrites à l'aide des procédures *means*, *plot*, *chart*, *freq*, *corr* du logiciel SAS® (Malo, 1999).

#### 2.4.2. Analyses statistiques

- *Relation entre variables*

La méthode ACP (Analyse en Composantes Principales) a permis de visualiser les relations entre les variables (variables à expliquer, variables explicatives). Ensuite, pour mettre en évidence des profils d'adaptation à partir des variables relatives de perte et de gain de production, la méthode de classification ou *clustering* a été utilisée. La procédure Fastclus est une approche de clustering par partitionnement (aussi appelé modèle K-means (N points répartis en K ensembles disjoints) puisque les centres des groupes sont les moyennes des observations assignées à chaque groupe quand l'algorithme a atteint sa convergence). La méthode est adaptée à un grand nombre d'individus : de 100 à 100 000 (Université Lyon, 2012). Dans la présente étude, pour avoir un nombre d'individus par

<sup>1</sup> Non présenté ici

groupe suffisant, le choix du nombre de clusters a été défini comme supérieur à 9 pour avoir des classes relativement homogènes.

Il n'y a pas eu de standardisation des variables afin de pouvoir lire graphiquement les valeurs de pertes et de gains. Les différents groupes ont ensuite été isolés afin de les caractériser (*proc means*).

- *Description des effets de milieu*

L'analyse de variance a été réalisée à l'aide de la procédure *GLM* (Global Linear Model) de SAS®, pour caractériser les effets de milieu influençant les variables à expliquer. Le modèle d'analyse de variance s'écrit :

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

Où  $\mathbf{y}$  est le vecteur des performances,  $\boldsymbol{\beta}$  est le vecteur des effets fixes,  $\mathbf{X}$  est la matrice d'incidence,  $\boldsymbol{\varepsilon}$  est le vecteur des résidus supposés indépendants, identiquement distribués suivant une loi normale de moyenne 0 et de variance  $\sigma^2$ .

Les effets milieu pris en compte sont : 1) le type de vêlage (vêlage 2 ans (âge au vêlage<900 j) ou 3 ans ( $\geq 900$  j)) ; 2) la campagne/série (variable fusionnant la campagne (année) et la série au sein de la campagne (19 classes)) ; 3) la durée de la 1<sup>ère</sup> année de production (covariable) ; 4) le stade lactation au passage en monotraite (covariable). Le seuil de significativité est fixé à  $\alpha=0,05$ . Ainsi, les phénotypes de pertes et de gains sont analysés selon le modèle linéaire suivant :

$$y_i = \mu + b\text{DuréeLactation1} + \text{Type\_vel} + c\text{Stade_lact_monoT1} + \text{Camp_serie} + e_i$$

- *Analyse de la répétabilité*

L'analyse a été menée en utilisant le modèle linéaire précédent et en considérant un effet aléatoire de l'animal, soit le modèle linéaire suivant :

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}\boldsymbol{\gamma} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

Où  $\mathbf{y}$  est le vecteur des performances,  $\boldsymbol{\beta}$  est le vecteur des effets fixes,  $\boldsymbol{\gamma}$  est le vecteur des effets aléatoires animaux supposés indépendants entre eux, identiquement distribués suivant une loi normale de variance  $\sigma^2_u$ ,  $\mathbf{X}$  et  $\mathbf{Z}$  sont les matrices d'incidence,  $\boldsymbol{\varepsilon}$  est le vecteur des résidus supposés indépendants, identiquement distribués suivant une loi normale de moyenne 0 et de variance  $\sigma^2_e$ . Les vecteurs  $\boldsymbol{\gamma}$  et  $\boldsymbol{\varepsilon}$  sont indépendants.

Cette analyse a été réalisée à partir des performances mesurées sur les VL des campagnes 2010-11 qui ont été soumis à 2 passages en monotraite (n=68). On considère pour un animal donné et pour la même variable, 2 performances (du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>nd</sup> passage) c'est-à-dire, mesurées à 2 instants  $t$  et  $t_{+1}$ .

L'analyse a été menée à l'aide de la procédure *Mixed* de SAS® en utilisant la méthode du maximum de vraisemblance restreinte (REML) pour estimer :  $\sigma^2_u$  et  $\sigma^2_e$ .

Cette méthode a pour avantage de maximiser la vraisemblance d'une fonction des données corrigées des effets fixés. La répétabilité du caractère analysé est alors définie comme :

$$r = \frac{V(G) + V(E_p)}{V(G) + V(E_p) + V(E_t)}$$

- *Les paramètres génétiques*

L'estimation des composantes de variances (paramètres génétiques) consiste à caractériser la partie génétique de l'effet animal pour chaque variable étudiée en déterminant leur part de variance génétique additive grâce à la connaissance des relations de parenté entre les individus.

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}\boldsymbol{\alpha} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

Où  $\mathbf{y}$  vecteur des performances,  $\mathbf{X}$  et  $\mathbf{Z}$  matrices d'incidence,  $\boldsymbol{\beta}$  vecteur des effets fixes,  $\boldsymbol{\alpha}$  est le vecteur des valeurs génétiques additives des individus, supposées suivre une loi normale  $\alpha \sim N(0, G)$  avec  $G = A\sigma^2_a$  (où  $A$  est la matrice de parenté de la population et  $\sigma^2_a$  est la variance génétique additive),  $\boldsymbol{\varepsilon}$  est le vecteur des résidus qui suivent une loi normale  $\varepsilon \sim N(0, R)$  avec  $R = I - A^2$  ( $\sigma^2_e$  est la variance résiduelle).

L'objectif est d'estimer les paramètres  $\sigma^2_a$  et  $\sigma^2_e$  pour en déduire l'héritabilité du caractère. On cherche également dans le cas d'analyse multi-caractères à estimer les

covariances génétiques et résiduelles entre 2 caractères ; cela dans le but d'estimer les corrélations génétiques et résiduelles.

L'estimation de ces variances et covariances a été menée par la méthode REML à l'aide du logiciel VCE® (Neumaier et Groeneveld, 1998).

#### 2.4.3. Analyse génétiques

Pour la détection de QTL (principe détaillé en [annexe V](#)), la concordance entre fichiers de génotypages et de phénotypages a d'abord été vérifiée avant d'utiliser le logiciel QTLmap® développé au sein du DGA pour l'Analyse de *Liaison* (LA) et de *Déséquilibre de Liaison* (LDLA).

L'analyse a d'abord été menée en LA puis, en LDLA tout d'abord sur les individus de 2<sup>ème</sup> génération de croisement puis en intégrant les F3. Les pères des F3 sont des mâles F1. Le logiciel ne prenant en compte que 3 niveaux de génération, les filles F3 dont les mères F2 sont passées en monotraitre ont été recodées comme appartenant à la 3<sup>ème</sup> génération ; il n'a pas été possible de considérer l'apparentement entre les femelles F2 et les F3.

L'analyse prend en compte les effets de milieu déjà mentionnés ayant un impact sur les performances. La détection de QTL est réalisée chromosome par chromosome. Elle consiste à calculer tous les centimorgans (cM) une statistique de test égale au rapport de vraisemblance des données sous l'hypothèse d'existence (H1) ou d'absence (H0) d'un QTL lié aux marqueurs à cette position. La vraisemblance des observations considérées est la probabilité d'observer les phénotypes conditionnellement aux phénotypes aux marqueurs. Le maximum de la statistique de test correspond à la présence la plus probable du QTL sur le chromosome.

Lorsque les familles (mêmes père et mère) sont trop petites le logiciel QTLmap® ne peut les effets des QTL. Pour pallier à ce problème, il a donc été paramétré en se basant sur les familles de 10 individus au minimum (8 avec les F3), ce qui restreint considérablement le nombre de familles exploitables.

Le calcul des seuils de rejets de l'hypothèse nulle (absence de QTL) est basé sur la permutation aléatoire des performances entre animaux tout en gardant les mêmes informations marqueurs et généralogies. L'analyse de ces données fournit une valeur de statistique de test sous H0. En répétant cette opération un grand nombre de fois (1000 permutations), on obtient une distribution empirique de la statistique de test sous H0. Quand le rapport de vraisemblance dépasse ce seuil on rejette H0 et on conclut à l'existence d'un QTL.

## Partie 3

# Résultats - Discussion



Credit : IRIGA Tressanès, Station d'amélioration génétique des animaux.  
Aude ville Tressanès, 2022.

■ Vêlage "2 ans" ■ Vêlage "3 ans"

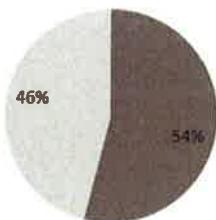


Figure 9: Répartition des animaux du protocole «monotraite» en fonction du type de vêlage à la 1<sup>ère</sup> parturition («2 ans» : âge à la 1<sup>ère</sup> parturition < 900 j ; «3 ans» : âge ≥ 900 j).

Tableau 5 : Performances laitières en 1<sup>ère</sup> lactation des animaux du protocole «monotraite»

	Effectif (N)	Moy.	Min.	Max.
Durée L1 (j)	368	331 ( $\pm 46,5$ )	109	479
PL en 305 j (kg/j/VL)	277 <sup>1</sup>	5812 ( $\pm 1054$ )	2773	8699
TB en 305 j (g/kg)	277	41,3 ( $\pm 4,1$ )	31,3	52,1
TP en 305 j (g/kg)	277	32,7 ( $\pm 2$ )	27,4	38,1

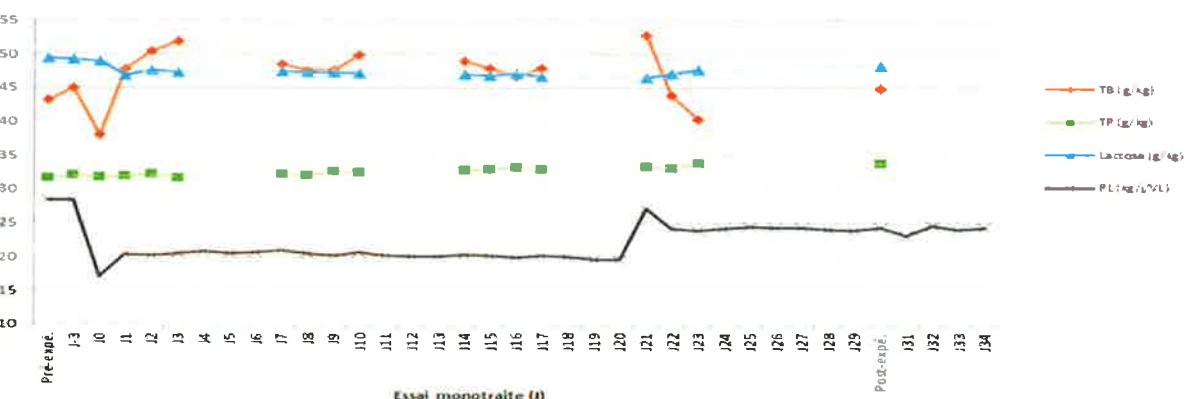
L1 1<sup>ère</sup> Lactation , TB Taux Butyreux , TP Taux Protéique  
Moy Moyenne , Min Minimum Max Maximum

Tableau 6 : Evolution des performances de production au cours de l'essai monotraite (1<sup>er</sup> passage) en valeurs absolues et relatives.

Performances des animaux au cours de l'essai : 1 <sup>er</sup> passage en monotraite															
Variables de quantité & qualité du lait	PL (kg/j/VL)			TB (g/kg)			TP (g/kg)			CCS (x1000C/ml)			Lactose du lait (g/kg)		
	Période	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.
Période pré-expérimentale (n=368)	28,3 ( $\pm 5,4$ )	12,2	42,2	43,2 ( $\pm 6,4$ )	26,9	66	31,7 ( $\pm 2,4$ )	23,8	38,8	143 ( $\pm 257$ )	8	2171	49,4 ( $\pm 1,9$ )	43,1	53,6
Période expérimentale (n=368)	20,3 ( $\pm 4,2$ )	8,6	34,2	48,6 ( $\pm 7,1$ )	31	70,8	32,5 ( $\pm 2,3$ )	24,3	38,6	356 ( $\pm 633$ )	15	4824	47,2 ( $\pm 2,3$ )	39,1	52,4
Période post-expérimentale (n=367)	24,3 ( $\pm 5$ )	10	39,8	45 ( $\pm 6,7$ )	28,2	70,4	33,8 ( $\pm 2,4$ )	27,2	40	270 ( $\pm 614$ )	10	8120	48,4 ( $\pm 2,3$ )	35,2	53,5

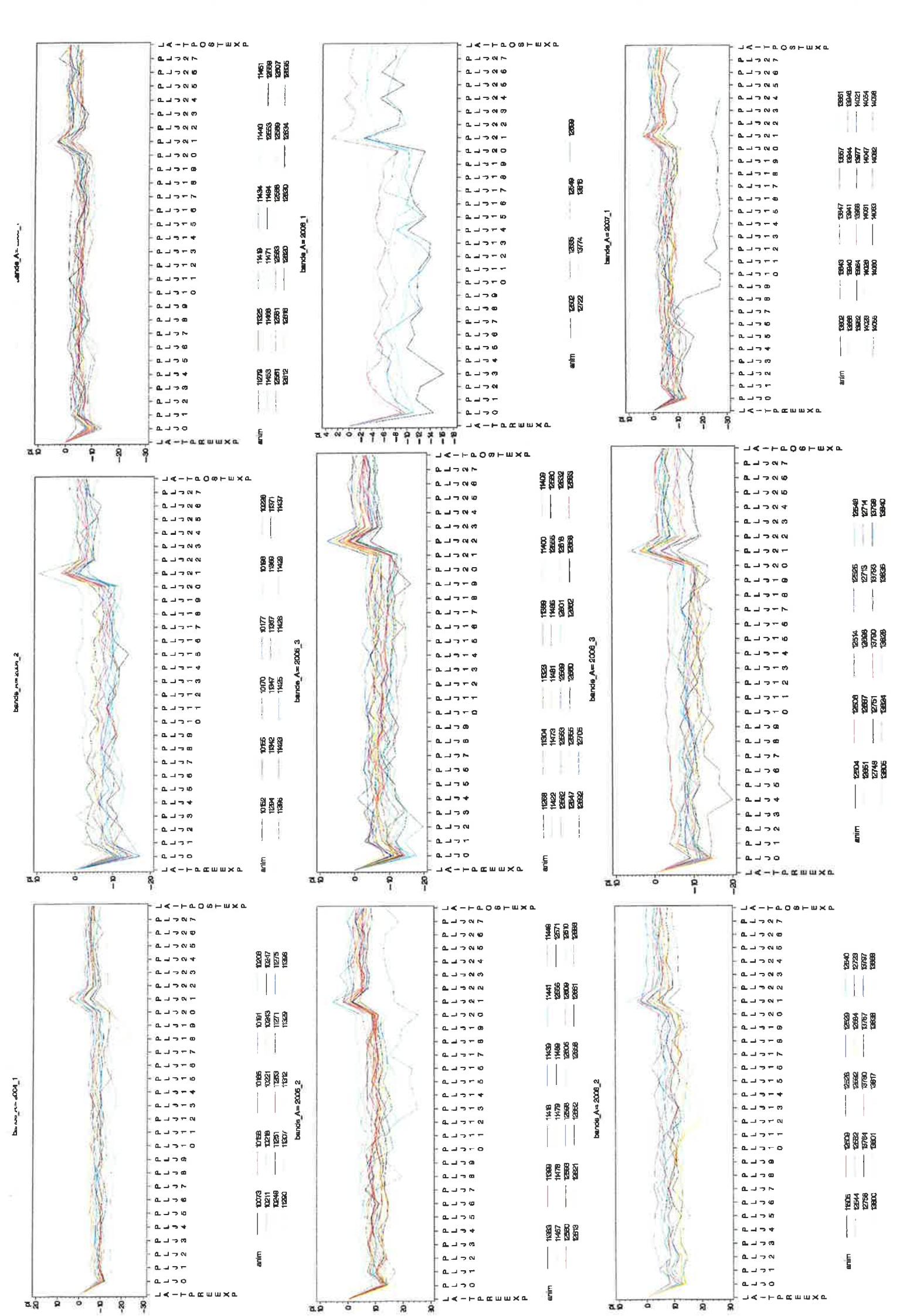
Performances des animaux au cours de l'essai : 1 <sup>er</sup> passage en monotraite (%)															
Variables de quantité & qualité du lait	Δ PL (%)			Δ TB (%)			Δ TP (%)			Δ CCS (%)			Δ Lactose du lait (%)		
	Variations	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.
Δ passage à la monotraite (1T/j)	-28,2 ( $\pm 7,8$ )	-70,2	-8	13,5 ( $\pm 14,2$ )	-19	81,6	2,6 ( $\pm 4,2$ )	-9,8	26,2	281 ( $\pm 757$ )	-87	7155	-4,4 ( $\pm 3,4$ )	-16,8	6,3
Δ retour à la traite biquotidienne (2T/j)	20,5 ( $\pm 13,1$ )	-9	67	-6,7 ( $\pm 11,4$ )	-34,1	44,4	4,3 ( $\pm 4,5$ )	-8,4	16,8	124 ( $\pm 753$ )	-96	10208	2,7 ( $\pm 3,4$ )	-19,6	12,7

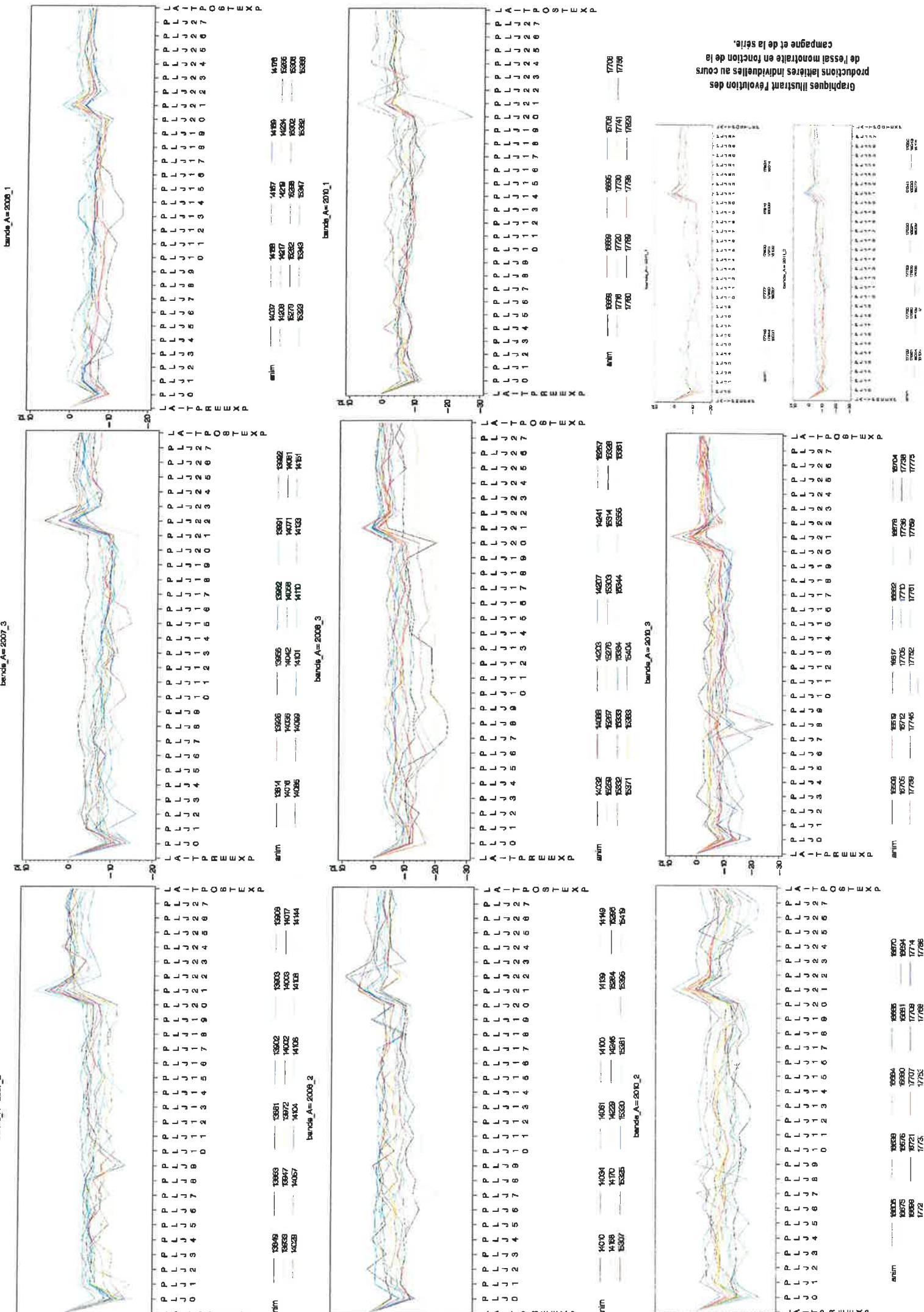
PL Production Laitière , TB Taux Butyreux , TP Taux Protéique , CCS Comptages de Cellules Somatiques



<sup>1</sup> N=277 : données 2010-2011 (N=89) non disponibles (système Margau) et 2 VL sans données de production en 305 j.







### 3.1. Caractéristiques des animaux expérimentaux

Les 368 animaux du protocole «monotraite» sont nés entre 2000 et 2008 avec un poids de naissance moyen de 41,4 kg ( $\pm 5,5$ ) (poids de naissances des génisses laitières : entre 40 et 42 kg<sup>2</sup> (Chambre Agriculture H<sup>te</sup> Marne, 2012)). Les animaux sont conduits soit en vêlage 2 ans (âge à la parturition <900j), ce qui représente ≈54% des mises bas, soit en vêlage 3 ans (46%) (Cf. fig. 9). En moyenne, les animaux mettent bas à 2,4 ans ( $\pm 0,4$ ), soit ≈28,8 mois. En France, actuellement l'âge moyen à la 1<sup>ère</sup> parturition est de 30 mois en race Holstein et de 33 mois en race Normande (Douquet, 2012).

La L1 des animaux expérimentaux a duré en moyenne 331 j ( $\pm 47$ ). Ramenée à une lactation-type de 305 j, les vaches (n=277)<sup>3</sup> ont produit ≈5800 kg de lait brut avec cependant, une grande variabilité de performances de production - tant en termes de quantité que de qualité du lait (Cf. tabl. 5). Cette hétérogénéité des résultats est une conséquence du protocole de croisement spécifique à la détection de QTL.

Les niveaux de production de ces animaux croisés de 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> génération sont intermédiaires par rapport aux performances des individus de races pures et concordent avec les références départementales de l'Orne (61) où les moyennes de production en L1 (lactation type de 305 j) en race Holstein<sup>4</sup> s'élèvent à 7243 kg de lait/VL, 38,5 g/kg de TB, 31,6 g/kg de TP et en race Normande, à 5335 kg de lait/VL, 42,1 g/kg de TB, 34,3 g/kg de TP<sup>5</sup>. Les animaux croisés<sup>6</sup> (Orne) ont en L1 des productions moyennes de 5555 kg de lait/VL en 305 j, 40,5 g/kg de TB et 32,6 g/kg de TP (Douquet, 2012).

### 3.2. Impacts de la monotraite

#### 3.2.1. La production laitière (PL)

En réponse à la monotraite, la PL diminue de -8 kg/j ( $\pm 2,9$ ) : passant de 28,3 kg/j ( $\pm 5,4$ ) en phase pré-expérimentale à 20,3 kg/j ( $\pm 4,2$ ) en monotraite (J<sub>1</sub> à J<sub>20</sub>). La baisse relative de production est donc de -28,2% ( $\pm 7,8$ ), avec cependant une grande variabilité dans les réponses : pertes allant de -70% à -8% (Cf. tabl. 6, fig. 10 & double page). Ces résultats corroborent les analyses de Guinard-Flament et al. (2011) réalisées sur les premières données du dispositif. Avec n=86, la PL passait de 31 kg/j ( $\pm 4,8$ ) à 22,1 kg/j ( $\pm 3,6$ ), soit -8,8 kg/j ( $\pm 2,7$ ). Pour un essai semblable (6<sup>ème</sup> semaine de lactation, 3 semaines de monotraite en saison hivernale à ration identique), la littérature indique des pertes de productions du même ordre : -27%, d'après Pomiès et al. (2004).

La baisse de production est immédiate et se stabilise rapidement comme l'illustre le graphique de synthèse (PL<sub>J1</sub> : 20,3 kg/j ( $\pm 4,5$ ) - PL<sub>J1</sub> correspondant au 1<sup>er</sup> intervalle de 24h entre 2 traitements) (Cf. fig. 10). La PL<sub>J1</sub> est représentative de la phase expérimentale, puisque qu'elle est fortement corrélée à la PL moyenne au cours de la monotraite : r=0,86 (Cf. fig. 11).

#### 3.2.2. Les taux

En parallèle à la baisse de production, la monotraite engendre une hausse du TB et du TP par effet de concentration comme déjà observé par Rémond et Pomiès (2005). En moyenne, le TB augmente de +5,4 g/kg ( $\pm 5,7$ ). Le TP s'accroît également : +0,8 g/kg ( $\pm 1,3$ ) (Cf. tabl. 6, fig. 10). La littérature fait aussi référence à une hausse des taux lors du passage à la monotraite : TB : +1,3 g/kg, TP : +0,4 g/kg (Pomiès et al., 2004) ; TB : +3 g/kg, TP : +1,4 g/kg (Pomiès, 2007) ; TB : +1,8 g/kg, TP : +2,3 g/kg (Chambre Agriculture Bretagne, 2012). Dans cet essai, l'augmentation de TB (+5,4 g/kg) est relativement importante par rapport aux références. En moyenne, le lait des animaux traits 1fois/j contient plus d'énergie que celui des animaux traits 2fois/j : 0,49 UFL/kg<sub>lait</sub> ( $\pm 0,04$ ) en monotraite vs 0,46 ( $\pm 0,04$ ) et 0,48 UFL/kg<sub>lait</sub> ( $\pm 0,04$ ) avant et après la monotraite respectivement.

<sup>2</sup> Races non précisées.

<sup>3</sup> Hors données : 2009-10.

<sup>4</sup> Moyennes sur 14553 résultats.

<sup>5</sup> Moyennes sur 10515 résultats.

<sup>6</sup> Moyennes sur 1220 résultats (types de croisements et générations non précisés).

En revanche, le taux de lactose du lait diminue de 49,4 à 47,2 g/kg, soit une baisse de -2,2 g/kg ( $\pm 1,7$ ) (Cf. tabl. 6, fig. 9). Pomiès (2007) indique, pour un niveau initial de 48,7 g/kg, une diminution de -1,5 g/kg du taux de lactose et fait référence à la notion d'équilibre osmotique.

Au-delà de ces variations moyennes, certains animaux présentent des profils particuliers en termes de taux (critères importants pour les éleveurs et les laiteries). En effet, 57 animaux ont vu leur TB baisser au 1<sup>er</sup> passage en monotraite. D'autres (61 VL) ont vu leur TB augmenter en monotraite et continuer d'augmenter au retour à 2T/j. 16 VL ont un TP qui baisse au passage à 1T/j et au retour à 2T/j. La caractérisation de ces individus mériterait d'être poursuivie pour être à même d'identifier les animaux les mieux adaptés à la pratique de monotraite associée à un retour à 2T/j.

### 3.2.3. Les numérations cellulaires

La monotraite dégrade la qualité leucocytaire du lait. En période pré-expérimentale, la mamelle des animaux peut être considérée comme saine au regard des numérations cellulaires moyennes (143 000  $\pm$  257 000 CCS/mL, toutes années regroupées). Au passage à 1T/j, le niveau cellulaire moyen augmente de +212 000 CCS/mL ( $\pm$  538 000) (Cf. tabl. 6, fig. 9 & 12). Pomiès et Rémond (2005) indiquent un niveau cellulaire de 91 000 CCS/mL pour le «lot témoin» trait 2 fois/j et 123 000 CCS/mL pour le «lot expérimental» en monotraite. La corrélation entre CCS avant et pendant la monotraite est de 0,55. A l'échelle individuelle, 218VL/368 étaient classées dans le «groupe CCS<sub>1</sub>» (CCS $\leq$ 70 000C/mL), soit 59% et moins de la moitié (98VL) est restée dans cette classe tout au long du protocole. Les animaux sains en période pré-expérimentale ont perdu relativement moins de lait (en %) que les animaux des groupes 2 (70 000 $<$ CCS $<$ 200 000C/mL) et 3 (CCS $\geq$ 200 000C/mL) - respectivement - 27,3% ( $\pm$ 7,3), -29,3% ( $\pm$ 8,5), -29,6% ( $\pm$ 8,1). Les pertes relatives de PL sont négativement et faiblement corrélées aux niveaux cellulaires de départ ( $r=-0,30$  avec CCS et  $-0,20$  avec les SCS).

### 3.2.4. 2<sup>nd</sup> passage en monotraite

Lors du 2<sup>nd</sup> passage en monotraite, la PL passe de 23 kg/j ( $\pm 4,3$ ) à 17,4 kg/j ( $\pm 3,7$ ), soit une chute de -24,5% ( $\pm 8$ ) de lait (1<sup>er</sup> passage : -28,3%). Le TB passe de 46,2 ( $\pm 5,9$ ) à 50,3 ( $\pm 7,6$ ) g/kg ; le TP, de 33,5 ( $\pm 2,2$ ) à 33,7 ( $\pm 2,3$ ) g/kg (Cf. tabl. 7, fig. 13). Sur les 2 campagnes, les numérations cellulaires ont augmenté - passant en moyenne de 217 000 ( $\pm$ 400 000) à 580 000 ( $\pm$ 1 241 000) CCS/mL au cours de la monotraite (+173% ( $\pm$ 391)) (Cf. fig. 14). Le lactose a baissé passant de 47,4 ( $\pm 1,9$ ) à 46 ( $\pm 2,6$ ) g/kg.

## 3.3. Le retour 2 T/j

### 3.3.1. Le 1<sup>er</sup> passage en monotraite

Au retour à 2T/j (J<sub>21</sub>), la PL augmente rapidement et se stabilise dès le lendemain (J<sub>22</sub>) pour atteindre une valeur moyenne de 24,3 kg/j ( $\pm 5,4$ ) en semaine post-expérimentale, soit +20,5% ( $\pm 13,1$ )<sup>7</sup> (Cf. tabl. 6). Les animaux ne sont pas revenus à leur niveau de production initial. Le taux de récupération, qui est le rapport entre la PL regagnée et la PL perdue, est de 51% ( $\pm 30,3$ ). Pomiès et Rémond (2012) indiquent un écart de -8% lors du retour à 2T/j du lot monotraite par rapport au lot 2T/j en races Holstein et Montbéliarde. Concernant les taux, le TB est passé de 48,6 ( $\pm 7,1$ ) à 45 ( $\pm 6,7$ ) g/kg, soit une baisse de plus de 3,5 points. Le TP continue d'augmenter en phase post-expérimentale : en moyenne, +1,3 g/kg. Le niveau cellulaire s'améliore de -85 000 CCS/mL ( $\pm$ 771 000). Le lactose du lait augmente de +2,7% ( $\pm 3,4$ ).

### 3.3.2. 2<sup>nd</sup> passage en monotraite

Au 2<sup>nd</sup> passage en monotraite, la PL augmente de +23,2% ( $\pm 13,8$ ) au retour à 2T/j, soit un taux de récupération de 70,2% ( $\pm 32,4$ ). Le TB baisse en période post-expérimentale de 4,2 points ; le TP continue d'augmenter pour atteindre 33,9 ( $\pm 2,5$ ) g/kg au retour à 2T/j. Le lactose est quasiment revenu au niveau initial au retour en traite biquotidienne

<sup>7</sup> Les données post-expérimentales sont calculées avec n-1 puisqu' 1 VL s'est tarie : il n'y a donc pas de productions au retour à 2T/j.

### Evolution des paramètres cellulaires du lait au cours de l'essai monotraite

Figure 10 : Evolution de la production et de la composition moyenne du lait

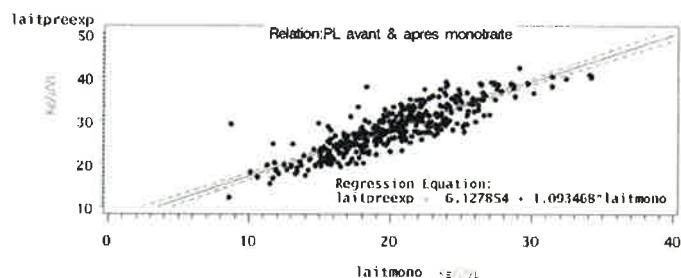


Figure 11 : Relation entre la production laitière avant (laitpreexp, en kg/j) et après le 1<sup>er</sup> passage en monotraite (laitmono, en kg/j). ↑

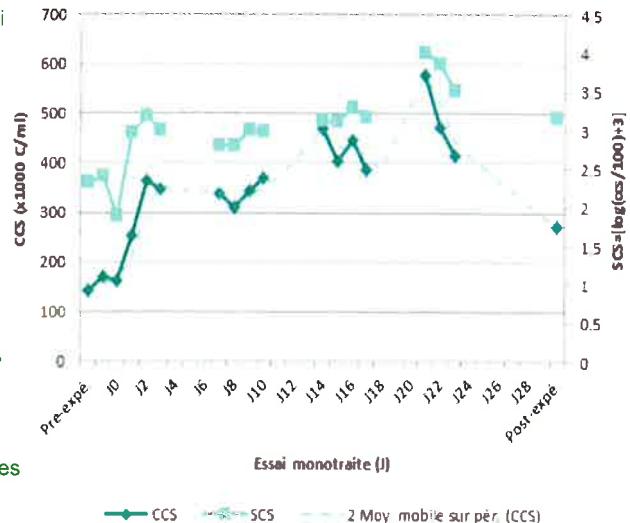


Figure 12 : Evolutions des moyennes de Comptages et de Scores Cellulaires Somatiques (CCS, SCS) au cours de l'essai monutraite (1<sup>er</sup> passage). →

Tableau 7: Evolution des performances de production au cours de l'essai monutraite (2<sup>nd</sup> passage).

Performances des animaux au cours de l'essai : 2 <sup>nd</sup> passage en monutraite (n=68)					
Période	PL (kg/j/VL)	TB (g/kg)	TP (g/kg)	CCS (x1000CCS/mL)	Lactose (g/kg lait)
2 <sup>nde</sup> période pré-expérimentale	23 ( $\pm 4,3$ )	46,2 ( $\pm 5,9$ )	33,5 ( $\pm 2,2$ )	217 ( $\pm 400$ )	47,4 ( $\pm 1,9$ )
2 <sup>nde</sup> période expérimentale	17,4 ( $\pm 3,7$ )	50,3 ( $\pm 7,6$ )	33,7 ( $\pm 2,3$ )	580 ( $\pm 1241$ )	46 ( $\pm 2,6$ )
2 <sup>nde</sup> période post-expérimentale	21,3 ( $\pm 4,5$ )	46,1 ( $\pm 5,8$ )	33,9 ( $\pm 2,5$ )	443 ( $\pm 858$ )	47,6 ( $\pm 2$ )

PL : Production Laitière TB : Taux Butyreux TP : Taux Protéique CCS : Comptages de Cellules Somatiques

### Evolution de la production et de la composition du lait au cours de l'essai monutraite : 2 passages en monutraite

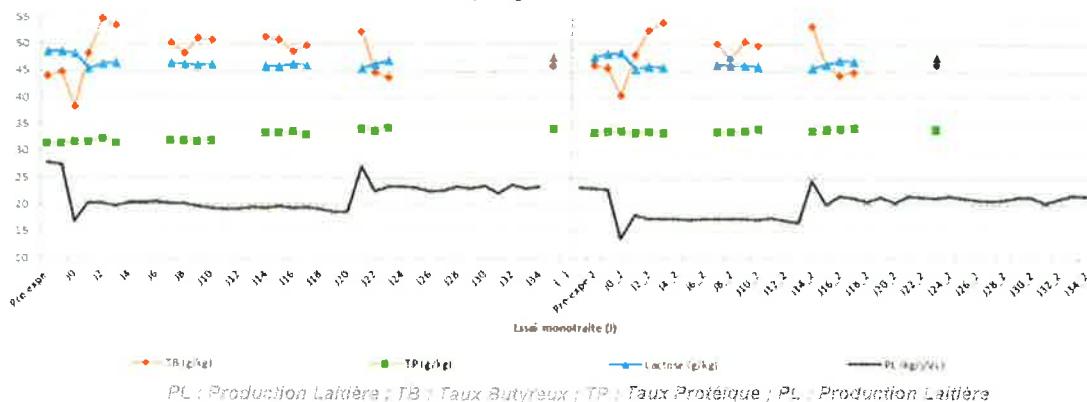


Figure 13 : Evolution de la production et de la composition moyenne du lait au cours de l'essai monutraite (2 passages successifs). ↑

### Evolution des paramètres cellulaires du lait au cours de l'essai monutraite : 2 passages en monutraite

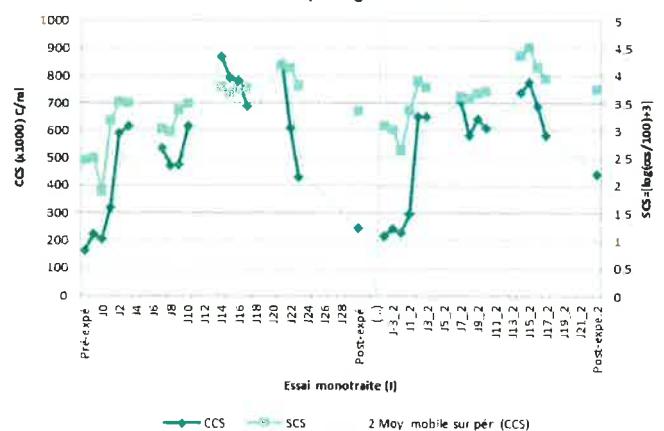


Figure 14 : Evolutions des moyennes de Comptages et de Scores Cellulaires Somatiques (CCS, SCS) au cours de l'essai monutraite (2 passages successifs). →



(respectivement avant, pendant et après la monotraite : 47,4 ( $\pm 1,9$ ), 46 ( $\pm 2,6$ ), 47,6 ( $\pm 2$ ) g/kg) (Cf. tabl. 7, fig. 13). Le CCS est resté à un niveau pénalisant pour le paiement du lait en phase post-expérimentale ( $443\,000 \pm 858\,000$  CCS/mL) (Cf. tabl. 7, fig. 14). Globalement, les corrélations entre variables au 2<sup>nd</sup> passage sont similaires à celles observées lors du 1<sup>er</sup> passage.

### 3.4. Relation entre passage à 1T/j et le retour à 2T/j

La PL moyenne au cours de la monotraite est corrélée à la PL pré-expérimentale ( $r=0,85$ ). Les pertes de production lors du passage à 1T/j dépendent du niveau de production initial :  $r=-0,64$  lorsqu'elles sont en kg/j (en absolu) ; mais, cette corrélation est faible ( $r=-0,13$ ) lorsqu'elles sont exprimées en % (en relatif), comme décrit par Guinard-Flament et al. (2011) avec  $r=0,22$ . Au retour à 2T/j, la production regagnée (en kg/j) est corrélée au niveau de PL en phase pré-expérimentale :  $r=0,31$  ( $r=0,34$ , Guinard-Flament et al., 2011). En revanche, la corrélation entre le % de lait regagné et le niveau pré-expérimental n'est pas significative. De même, le taux de récupération (quantité de lait regagnée/quantité de lait perdue, en %) n'est pas corrélé aux niveaux de production avant et pendant la monotraite, ni aux pertes de PL lors du passage à 1T/j exprimées en kg/j et en %. Plus les vaches ont perdu en termes de production au passage en monotraite, plus elles ont regagné au retour à 2T/j :  $r=-0,53$  en kg/j et  $r=-0,54$  en %, ( $r=-0,59$  en kg/j d'après Guinard-Flament et al. (2011)).

### 3.5. Prédicteurs phénotypiques de la perte et de la récupération de production

L'objectif de cette partie consiste à déterminer d'éventuels phénotypes permettant de prédire précocelement les conséquences du passage à la monotraite chez la vache. Pour cela, la méthodologie reposera sur le calcul des coefficients de corrélation et sur l'ACP.

#### 3.5.1. La 1<sup>ère</sup> lactation (L1)

Les performances totales de production en L1 (en 305 j, n=277) sont corrélées aux PL en L2:  $r=0,50$ ,  $r=0,50$ ,  $r=0,55$  (respectivement : PL avant, pendant et après la monotraite). Les pertes de lait au passage à 1T/j ne dépendent pas du niveau laitier en L1 (305 j) :  $r=-0,02$ . Par contre, les gains au retour à 2T/j (kg/j) sont corrélés à la PL 305 j en L1 ( $r=0,24$ , n=276) ; ceci indique que les animaux à niveau de production élevé en L1 ont eu tendance à mieux récupérer. Ceci n'est pas retrouvé pour les gains relatifs et le taux de récupération. Bien que les corrélations soient faibles (mais significatives), une bonne persistance de lactation en L1 (début de la phase de production : période<sub>2</sub>-période<sub>1</sub>) aurait tendance à minimiser les pertes au passage à 1T/j ( $r=-0,15$ ) et à optimiser les gains de PL au retour à 2T/j en L2 ( $r=0,13$ ). Les relations sont non significatives pour les variations relatives de PL.

#### 3.5.2. Le Taux Butyreux (TB)

Le TB mesuré en phase pré-expérimentale est corrélé aux pertes de PL :  $r=0,38$  exprimées en g/kg,  $r=0,24$  en %. Ainsi, plus le TB avant la monotraite est élevé, moins les pertes de productions sont importantes. En revanche, même si le TB<sub>pré-expérimental</sub> et le TB<sub>monotraite</sub> sont corrélés à hauteur de  $r=0,64$ , il n'y pas de relation significative entre les pertes et le TB<sub>monotraite</sub>. Par contre, le TB<sub>monotraite</sub> semble être un indicateur phénotypique du gain de PL au retour à 2T/j :  $r=0,20$  et  $r=0,37$  lorsque le gain est respectivement exprimé en g/kg et en %. Cette corrélation est représentée sur les axes 1 et 2 de l'ACP qui explique 34% de la variabilité globale (48% avec l'axe 3). Plus le TB au cours de la monotraite est élevé, plus le taux de récupération est important ( $r=0,30$  et  $r=0,29$  avec le TB<sub>monotraite</sub> et le TB<sub>J1</sub>). Malgré cette corrélation, il existe d'importantes une importante variabilité de réponse en termes de récupération à TB équivalent au cours de la monotraite (Cf. fig. 15) ; pour un TB de 50 g/kg, le taux de récupération varie entre 0 et 170 %. La corrélation entre ces variables dans la présente étude est moins élevée que celle décrite par Guinard-Flament et al. (2011) lors de l'analyse des 1<sup>ères</sup> données du protocole ( $r_{TBJ1/taux\ recuperation}=0,46$ ).

#### 3.5.3. Le Taux protéique (TP)

Le TP<sub>pré-expérimental</sub> est un indicateur phénotypique précoce de la baisse de production au passage à 1T/j. Le TP<sub>pré-expérimental</sub> est en effet corrélé aux pertes de PL qu'elles soient

exprimées en kg/j ( $r=0,41$ ) et en % ( $r=0,30$ ). Ainsi, plus le TP en période pré-expérimentale est élevé, moins les pertes de PL sont conséquentes. Le  $TP_{J_1}$  et le  $TP_{\text{monotraite}}$  sont aussi corrélés aux pertes en kg/j et % : respectivement  $r=0,55$  et  $r=0,39$  pour le  $TP_{J_1}$  et pour  $TP_{\text{monotraite}}$ ,  $r=0,48$  et  $r=0,35$ . Le  $TP_{\text{pré-expérimental}}$  ( $r=-0,30$ ), le  $TP_{J_1}$  ( $r=-0,43$ ), le  $TP_{\text{monotraite}}$  ( $r=-0,40$ ) sont aussi corrélés très significativement au gain lors du retour à 2T/j (kg/j). Les tendances sont identiques pour le gain relatif, mais non significatives pour le taux de récupération.

Il est intéressant de souligner que la  $PL_{\text{pré-expérimentale}}$  est corrélée à la perte de production au passage en monutraite exprimée en kg/j et très faiblement quand elle est exprimée en %, contrairement aux TB et TP dont les corrélations avec les pertes s'avèrent significatives dans les 2 cas.

### 3.5.4. Le Lactose sanguin (LS)

Le taux de lactose dans le plasma sanguin augmente fortement lors du passage en monutraite et revient rapidement à un niveau basal (Cf. fig. 16) en accord avec les résultats de la bibliographie (Cf. Annexe I). Plus cette augmentation est importante au passage en monutraite ( $LS_{J_1\text{matin}} - LS_{\text{pré-expérimental\_soir}}$ ), plus les pertes de PL (%) sont importantes ( $r=0,20$ ) et plus les gains (%) au retour à 2T/j faibles :  $r_{\text{laitmono/bi}}=-0,30$ ;  $r_{\text{taux récupération}}=0,23$ . La lactosémie mesurée à  $J_{-1}$  et  $J_1$  (matin) est faiblement corrélée aux pertes relatives de lait ; mais,  $LS_{J_1\text{ matin}}$  est corrélé au gain de production au retour à 2T/j, ainsi qu'au taux de récupération (respectivement :  $r=-0,30$  pour le gain en % et  $-0,23$  pour le taux de récupération) (Cf. Annexe VI). Même si la représentation graphique met en évidence une grande variabilité entre les réponses (Cf. fig. 17) ; en règle générale, plus le LS au passage à la monutraite est élevé, plus les pertes de lait sont importantes et plus le lait regagné lors du retour à 2T/j et le taux de récupération sont faibles. Lors de l'analyse des 1<sup>ères</sup> données issues du protocole, la corrélation entre la lactosémie à  $J_{1\text{matin}}$  et le taux de récupération était de -0,40 (Guinard-Flament et al. 2011). Les indicateurs précoces ( $TB_{J_1}$ ,  $LS_{J_1}$ ) sont aussi corrélés entre eux :  $r_{TB_{J_1}/LS_{J_1\text{matin}}}=-0,37$ ,  $r_{TB_{J_1}/LS_{J_1\text{soir}}}=-0,36$ , ce qui précise que globalement les individus ayant un  $TB_{J_1}$  élevé ont une faible lactosémie( $J_1$ ).

### 3.5.5. Moins d'indicateurs phénotypiques pertinents au 2<sup>nd</sup> passage

Les indicateurs observés au 1<sup>er</sup> passage ne sont pas tous significatifs au 2<sup>nd</sup> passage. L'effectif limité ( $n=68$ ) peut expliquer, en partie, l'absence de relation significative entre certaines variables.

Seul le  $TB_{\text{monotraite}2}$  reste corrélé aux gains relatifs lors du retour à 2T/j :  $r=0,35$  ; le  $TB_{2J_1}$  n'est pas corrélé aux variables de gain et taux de récupération. La lactosémie ( $LS_{\text{pré-expérimentale}2}$ ,  $LS_{2J_1}$  (matin)) demeure faiblement corrélée aux pertes de production lors du 2<sup>nd</sup> passage à 1T/j ( $r=-0,32$ ,  $r=0,31$ ). Comme au 1<sup>er</sup> passage, plus l'augmentation de LS ( $LS_{J_1\text{matin}} - LS_{\text{pré-expérimental\_soir}}$ ) est importante, plus les pertes de production (%) sont conséquentes ( $r=0,32$ ).

### 3.6. Typologie de réponses à la monutraite

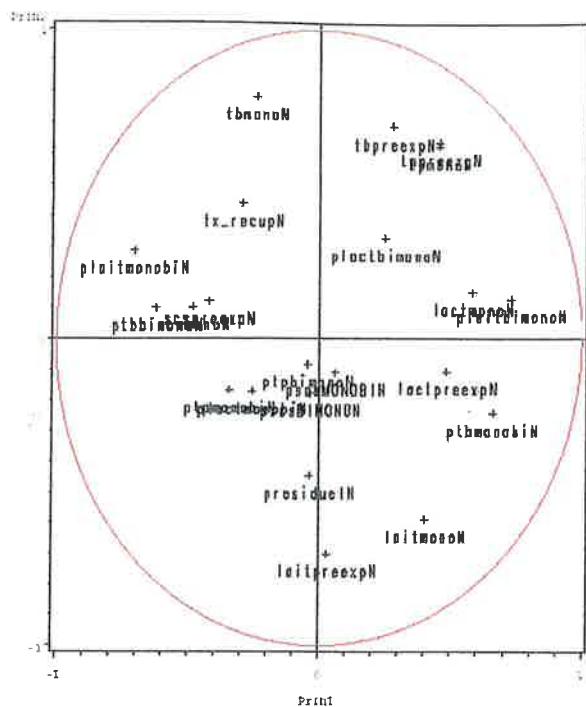
La représentation des pertes de PL en fonction du regain<sup>8</sup> (moy. :  $14,3 \pm 8,5\%$ ) montre que les animaux qui ont perdu le plus sont aussi ceux qui ont le mieux récupérés (en %). La classe 5 ( $n=71$ ) regroupe des individus qui perdent et récupèrent peu. Le groupe 4 ( $n=71$ ) est constitué de vaches ayant perdu beaucoup de lait au passage en monutraite et ayant peu regagné au retour à 2T/j. Les groupes 1 ( $n=80$ ) et 2 ( $n=74$ ) renvoient à des situations intermédiaires. Enfin, le groupe 3 comprenant 72 VL correspond à des profils de fortes variations de PL au passage à 1T/j et au retour à 2T/j (Cf.fig. 18, tabl. 8).

Par rapport à la méthode de classification et en termes d'indicateurs phénotypiques, le  $TP_{\text{pré-expérimental}}$ , le  $TB_{\text{monotraite}}$  et à  $J_1$ , le  $LS_{J_1\text{(matin)}}$  ont des effets très significatifs. Les groupes 3 et 5 sont les profils les plus «éloignés». Ils se caractérisent par des phénotypes prédicteurs différents. Les animaux des groupes 2, 3, 4 ont des  $TP_{\text{pré-expérimentaux}}$  les plus bas, ce sont également ceux qui ont perdu le plus de lait (en %) au passage en monutraite ( $r_{TP_{\text{preexp}}/\Delta PL_{\text{monotraite}}}=0,30$ ). Le groupe 3 regroupe les VL ayant les meilleurs regains

<sup>8</sup> Regain (%) :  $PL_{\text{post-expérimentale}} - PL_{\text{monotraite}} / PL_{\text{pré-expérimentale}} \times 100$

### Analyse ACP2—1er passage

ACP-Cercle des corrélations pour les plans 1 et 2



### Analyse ACP — 1er passage (avec lactosemies)

ACP-Cercle des corrélations pour les plans 1 et 2

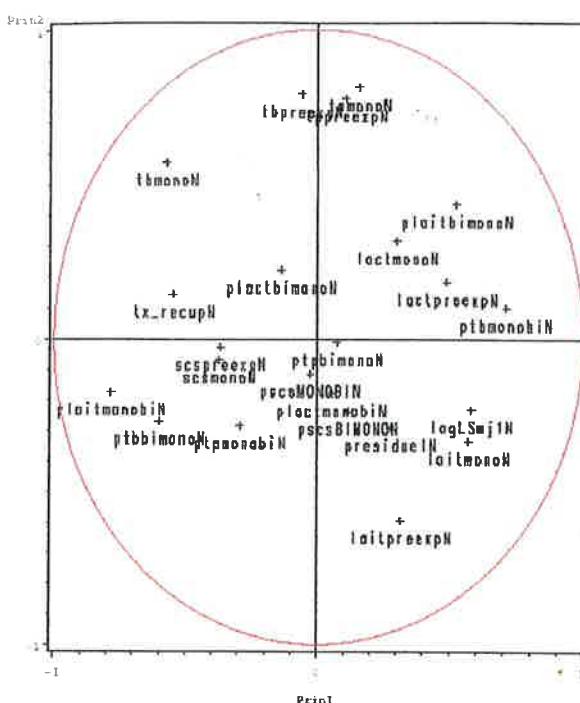


Figure 14 : Représentation des liens entre variables de monotraite.

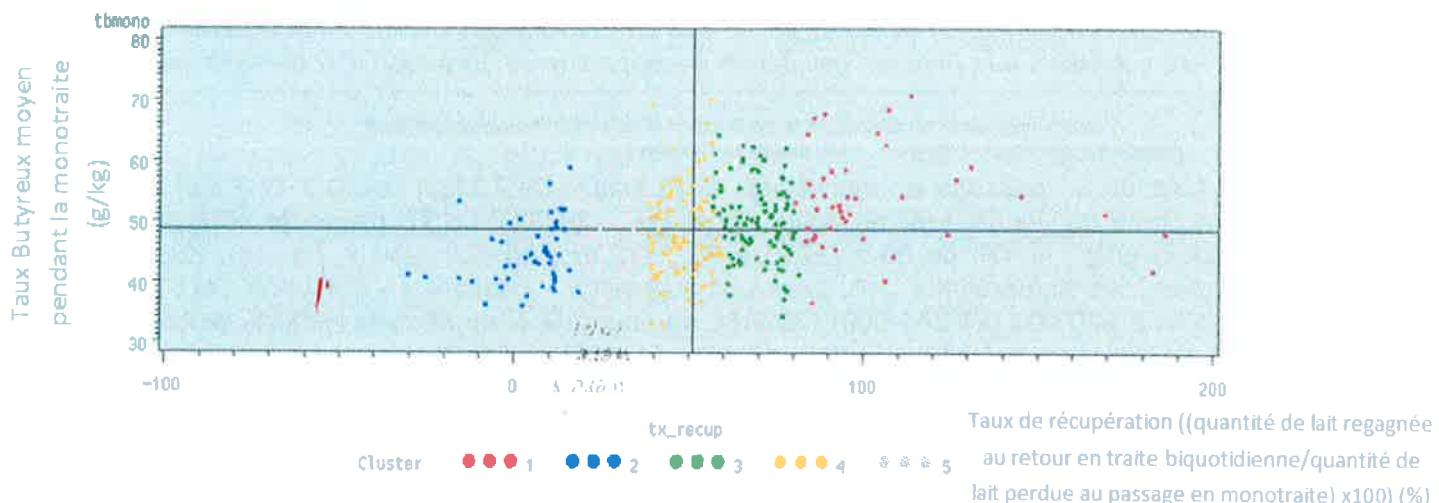
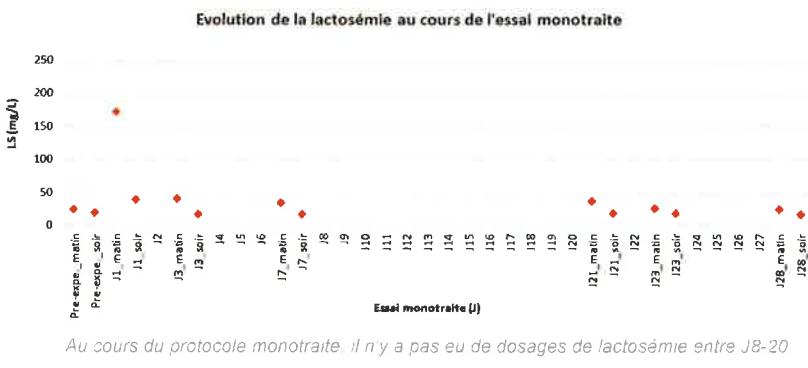
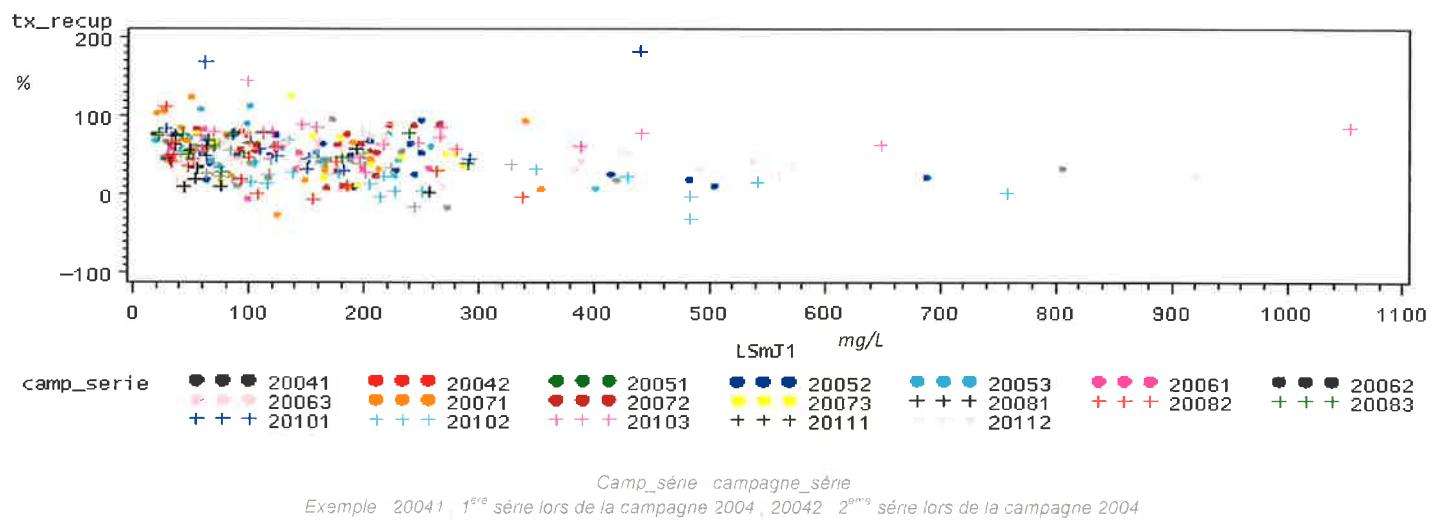


Figure 15 : Classification des vaches en fonction du Tb (Taux Butyreux) avant la monotraite (g/kg) et du taux de récupération (%).

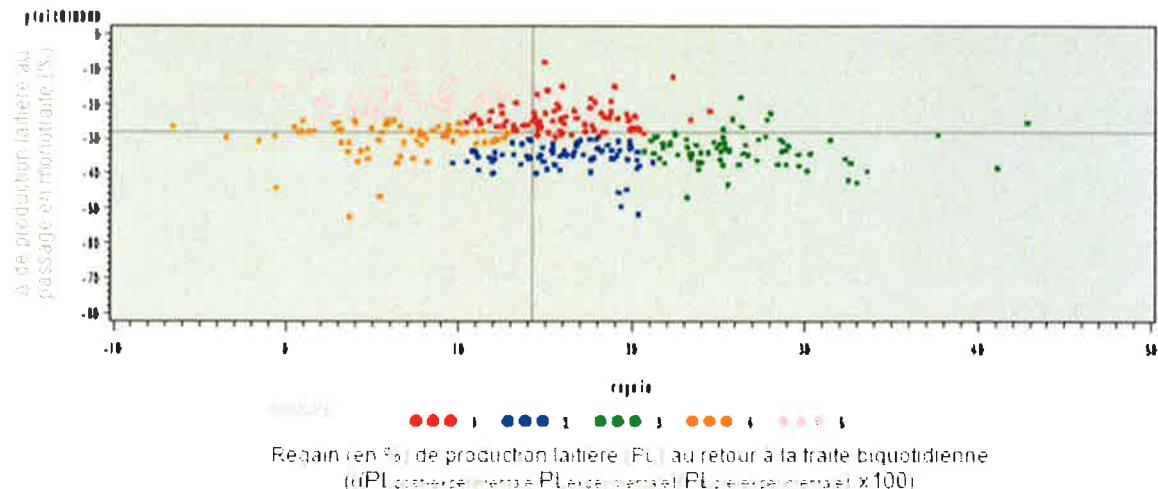




**Figure 16 :** Evolution de la lactosémie (mg/L) au cours de l'essai monotraite (1<sup>er</sup> passage).



**Figure 17 :** Relation entre le lactosémie au 1er jour de monotraite (le matin, en mg/L) et le taux de récupération (%) (1<sup>er</sup> passage).



**Figure 18 :** Classification des individus en fonction des pertes de lait au passage en monotraite et du regain au 1<sup>er</sup> passage (%).



à 2T/j. Ces animaux ont des TB très élevés ( $r_{TBJ1/regain}=0,32$ ,  $r_{TBmonotraite/regain}=0,36$ ). Les VL des groupes 4 et 5 ont une lactosémie ( $J_{1matin}$ ) élevée par rapport à la moyenne qui est de 172,5  $\pm 149,3$  mg/L. Ce sont aussi les vaches qui ont le moins récupéré. En effet, la corrélation entre le regain (%) et le  $LS_{J1matin}$  est de -0,30. Cependant à même lactosémie au passage en monotraite, les classes 4 et 5 ont des niveaux de pertes de production (%) différents, les pertes et le  $LS_{J1matin}$  ne sont que faiblement corrélées ( $r=0,19$ ).

### 3.7. Relations entre variables du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>nd</sup> passage en monotraite

Les corrélations phénotypiques des variables de pertes et de gains de PL sont relativement élevées qu'elles soient exprimées en kg/j ou en %. Plus la perte de production est importante au 1<sup>er</sup> passage, plus l'animal perdra de lait au 2<sup>nd</sup> passage ( $r=0,60$  pertes exprimées en kg/j,  $r=0,64$  en %). De même, plus la proportion de lait regagnée en phase post-expérimentale est élevée, plus elle le sera lors du 2<sup>nd</sup> passage ( $r=0,45$  et  $r=0,54$  respectivement si exprimées en kg/j et en %). Grâce à ces données, il est possible d'estimer la répétabilité des variations de production. Pour cela, la procédure *Mixed* de SAS® a été utilisée en modélisant les variations de PL par un modèle mixte prenant en compte, les effets environnementaux fixés (type de vêlage, stade de lactation, passage, campagne, série), l'effet aléatoire de l'animal et la résiduelle du modèle. Les variations de production ont des répétabilité relativement élevées : pour le passage de 2 à 1T/j rep=62,4% (variations en absolu), rep=66,4% (relatif) et pour le passage de 1 à 2T/j : rep=45,1% (absolu), rep=55,9% (relatif). Ainsi, il est possible de supposer que lors d'un 2<sup>nd</sup> passage, les types de réponses mis en place seront similaires (Cf. tabl. 9).

### 3.8. Détermination de l'influence des effets environnementaux

Avant d'étudier le déterminisme génétique de la réponse à la monotraite, il convient d'analyser la part des effets milieu sur l'expression des performances (Cf. annexe VII).

L'analyse de variance menée à l'aide de la procédure *GLM* montre que le modèle intégrant les effets de milieu explique ≈45% des variations de pertes absolues de lait ( $r^2=0,199$ ) et ≈36% des pertes relatives ( $r^2=0,128$ ). Les effets environnementaux sont responsables de 45% des variations moyennes de PL au cours de la monotraite ( $r^2=0,201$ ). Concernant les gains, environ la moitié des variations au retour à 2T/j est expliquée par le modèle ( $r^2=0,253$ ) et 44% pour les gains relatifs ( $r^2=0,193$ ). Pour ces mêmes variables, les tests s'avèrent non significatifs pour les données se référant au 2<sup>nd</sup> passage en monotraite - probablement en raison d'un effectif limité. Même si les effets de milieu ont un impact important, ces derniers n'expliquent pas toutes les variations de performances.

### 3.9. Estimation des paramètres génétiques lors du 1<sup>er</sup> passage en monotraite

L'héritabilité de la PL au cours de l'essai est estimée à 0,31 ( $\pm 0,10$ )<sup>9</sup>, 0,31 ( $\pm 0,11$ ), 0,38 ( $\pm 0,14$ ), respectivement : avant, pendant et après la monotraite. Comme phénotypiquement, les corrélations génétiques entre PL aux différents stades de l'expérimentation sont élevées :  $r_{pré-expé/expé}=0,86$  ( $\pm 0,08$ ) ;  $r_{expé/post-expé}=0,85$  ( $\pm 0,08$ ) et  $r_{pré/post-expé}=0,87$  ( $\pm 0,08$ ). Les caractères de composition du lait s'avèrent également héritables ; exemple :  $h^2_{TB\text{monotraite}}=0,59$  ( $\pm 0,10$ ),  $h^2_{TP\text{monotraite}}=0,70$  ( $\pm 0,10$ ). Ces résultats sont à prendre avec précaution aux vues des écarts-types d'erreur relativement importants dus à la taille limitée de la population étudiée. Ils doivent aussi être comparés avec prudence car étant estimés à partir d'une population particulière (croisement). Cependant, la littérature confirme que les caractères de PL sont moyennement héritables ( $h^2=0,30$ ) et les taux, fortement héritables ( $h^2_{TB}=0,50$ ,  $h^2_{TP}=0,55$ ) (La sélection et les index chez les bovins laitiers et caprins, 1999). Druet et al., 2005 indiquent des héritabilités de l'ordre de 0,45, 0,40 et 0,55 en race Holstein en L2 à 100 j en France, respectivement pour la PL, le TP et le TB.

Les pertes ( $h^2=0,30 \pm 0,10$  en kg/j ;  $h^2=0,28 \pm 0,07$  en %) et les gains de production ( $h^2=0,42 \pm 0,14$  en kg/j ;  $h^2=0,44 \pm 0,10$  en %) s'avèrent être héritables. Tout comme

<sup>9</sup> Un écart-type d'erreur

phénotypiquement, les corrélations génétiques entre pertes et gains sont importantes et négatives :  $r_g = -0,54 \pm 0,11$  (variables en kg/j) et  $r_g = -0,50 \pm 0,14$  (en %)<sup>10</sup>.

Le TB<sub>monotraite</sub> est un indicateur à une forte heritabilité :  $h^2 = 0,59 (\pm 0,10)$  - tout comme le TP<sub>pré-expérimental</sub> :  $h^2 = 0,49 (\pm 0,09)$ . La lactosémie à J1<sub>matin</sub> est également un caractère héritable ( $h^2_{\text{Log}(LS_{J1})} = 0,36 \pm 0,09$ ) et génétiquement corrélée aux pertes ( $r_g = 0,53 \pm 0,12$ ) et aux gains relatifs de production ( $r = -0,31 \pm 0,18$ ). Ceci indique qu'une teneur élevée en LS au passage à 1T/j a un impact négatif en termes de pertes et gains relatifs de lait - ce qui confirme les tendances phénotypiques et indique que la génétique est fortement impliquée dans ces mécanismes de réponses. L'augmentation de LS au passage à la monotraite ( $LS_{J1\text{matin}} - LS_{\text{pré-expér. soir}}$ ) s'avère également héritable ( $h^2_{\Delta LS} = 0,36 \pm 0,15$ ).

Ces résultats s'avèrent originaux puisqu'il ne semble pas (ou peu) y avoir de références dans la littérature auxquelles ils pourraient être comparés. Les résultats de paramètres génétiques du 2<sup>nd</sup> passage de monotraite ne sont pas détaillés du fait d'importantes erreurs d'estimation (faible effectif :  $n=68$ ).

Même si ces résultats doivent être pris avec précautions étant donné le type de population, les conditions de milieu particulières et surtout, les très faibles effectifs considérés, les niveaux élevés de répétabilités et les valeurs d'héritabilité (borne supérieure ( $h^2 > 0,30$ )) laissent supposer que les variations de performances chez la VL croisée HoxN sont soumises à un déterminisme génétique important.

### 3.9. Détection de QTL

Une 1<sup>ère</sup> détection de QTL a été menée sur le TB<sub>pré-expérimental</sub> au niveau du chromosome 14. Ainsi, le gène DGAT<sub>1</sub>, qui avait été mis en évidence par Larroque et al. (2007) au niveau du dispositif expérimental du Pin, a été retrouvé. Ce gène, présent au tout début du chromosome 14, affecte très fortement la composition en matière grasse du lait dans l'espèce bovine (Grisart et al., 2003).

Les QTL présentés sont significatifs au seuil de 5% au niveau du chromosome. Les QTL détectés en LA sont aussi dans la plus part des cas en LDLA et ce, à même localisation sur le chromosome. La méthode LDLA confirme donc la 1<sup>ère</sup> détection en LA et met d'autres QTL en évidence. En ajoutant les données des F3, la détection confirme les QTL détectés sur la population F2 et permet également d'en révéler d'autres (Cf. annexe VII).

Dans la population étudiée, des QTL ont été trouvés sur les chromosomes 4 (21 cM), 14 (66 cM) (LDLA seulement) et 18 (44 cM) pour la PL<sub>pré-expérimentale</sub> ainsi que, sur les chromosomes 3 (55 cM), 12 (31 cM) et 24 (3 cM) pour la PL au cours de la monotraite. La littérature met en avant d'autres QTL pour les caractères de PL : chrs 5 (112 cM), 6 (100 cM), 14 (1 cM), 20 (36 cM) en race Holstein ; 1 (148 cM), 6 (88 cM), 13 (80 cM), 29 (6 cM) en Normande (Fritz et al., 2008). L'analyse n'a pas permis de détecter de QTL influençant les pertes de PL au passage en monotraite (%) - cela ne signifie pas qu'il n'existe pas de QTL pour ce caractère, seulement aucun n'a été mis en évidence dans le cadre de cette étude que ce soit en LA ou en LDLA avec ou sans les données des F3.

Pour les pertes de PL au passage à 1T/j (en kg/j), les chromosomes 17 (6 cM) et 22 (53 cM) portent un QTL (LA) ; en LDLA, on retrouve ces mêmes chromosomes impliqués ainsi que 2 QTL sur les chromosomes 19 (62 cM) et 24 (59 cM). Intégrant les données de F3, les QTL des chromosomes 17, 19 et 22 ressortent significativement et ce, à même localisation. Deux QTL sur les chromosomes 18 (64 cM) et 24 (56 cM) ont un effet sur le taux de récupération (%). À proximité du QTL du chromosome 18 se trouve également un QTL impliqué pour le TP<sub>pré-expérimental</sub> (0,66 cM) qui a été défini comme un indicateur phénotypique des pertes et des gains (NB : corrélation phénotypique non significative au seuil  $\alpha=5\%$  entre le TP<sub>pré-expérimental</sub> et le taux de récupération).

<sup>10</sup> La tendance est identique pour le 2<sup>nd</sup> passage en monotraite ; mais, les résultats ne seront pas détaillés du fait d'écart-types très élevés.

Tableau 8 : Profils des typologies d'individus en fonction de la classification perte de production et regain (%).

GROUPE	% variation à 1T/j	% regain	TP avant la monutraite (g/kg)	Estimation : TP avant la monutraite	TB pendant la monutraite (g/kg)	Estimation : TB pendant la monutraite	TB : 1 <sup>er</sup> j de monutraite (g/kg)	Estimation : TB 1 <sup>er</sup> j monutraite	Lactosémie : 1 <sup>er</sup> j (matin) de monutraite (mg/L)	Estimation : lactosémie 1 <sup>er</sup> j (matin) de monutraite
1 (n=80)	-24,1 (±4)	16,2 (±3,1)	32,3 (±2,3)	-0,324 (p=0,3867)	48,9 (±6,7)	2,669 (p=0,0161)	50 (±9,2) (p<0,0001)	7,899 (±11,6)	174,7 (±163,7)	-39,938 (p=1316)
2 (n=74)	-35,7 (±5,7)	16,2 (±3,1)	30,8 (±2,4)	-1,833 (p<0,0001)	49,5 (±7,9)	3,346 (p=0,0031)	49,2 (±11,6)	7,184 (p=0,0001)	139,5 (±121,4)	-74,175 (p=0,0068)
3 (n=72)	-33,1 (±4,8)	26,5 (±4,4)	30,8 (±2,4)	-1,858 (p<0,0001)	52,4 (±7,4)	6,239 (p<0,0001)	52,1 (±12,4)	10,037 (p<0,0001)	103,5 (±74,1)	-111,119 (p<0,0001)
4 (n=71)	-29,9 (±4,9)	6,2 (±4,1)	31,6 (±1,8)	-1,069 (p=0,0058)	45,8 (±5,7)	-0,358 (p=0,7531)	45,3 (±11,1)	3,195 (p=0,0854)	221,6 (±172,2)	6,933 (p=0,7997)
5 (n=71)	-18,2 (±3,4)	5,6 (±4,3)	32,7 (±2,6)		46,2 (±5,9)		42,1 (±10,2)		214,7 (±155,1)	

TP = Taux Protéique ; TB = Taux Butyreux ; p correspond à la probabilité critique

Tableau 9 : Corrélations phénotypiques entre variables du 1<sup>er</sup> ou 2<sup>nd</sup> passage en monutraite (variables en valeurs absolues (kg/j) et relatives (%)).

Corrélations phénotypiques entre variables du 1 <sup>er</sup> & du 2 <sup>nd</sup> passage en monutraite (%)										
	laitBIMONO (kg/j)	laitMONOBI (kg/j)	laitBIMONO2 (kg/j)	laitMONOBI2 (kg/j)	plaitBIMONO (%)	plaitMONOBI (%)	Tx_recup (%)	plaitBIMONO2 (%)	plaitMONOBI2 (%)	tx_recup2 (%)
laitBIMONO (kg/j)	1 -0.43264 0.0002	-0.43264 1 0.0002	0.60210 <0.001	-0.49232 <0.001						
laitMONOBI (kg/j)	-0.43264 0.0002	1 -0.60179 <0.001	-0.60179 1 <0.001	-0.44724 0.0001						
laitBIMONO2 (kg/j)	0.60210 <0.001	-0.60179 <0.001	1 -0.68107 <0.001	-0.68107 <0.001						
laitMONOBI2 (kg/j)	-0.49232 <0.001	0.44724 0.0001	-0.68107 <0.001	1 -0.51409 <0.001						

	plaitBIMONO (%)	plaitMONOBI (%)	Tx_recup (%)	plaitBIMONO2 (%)	plaitMONOBI2 (%)	tx_recup2 (%)
plaitBIMONO (%)	1	-0.55783 <0.001	0.00766 0.9505	-0.64221 <0.001	-0.51309 <0.001	0.00014 0.9991
plaitMONOBI (%)	-0.55783 <0.001	1	-0.74833 <0.001	-0.68097 <0.001	0.53932 <0.001	-0.0371 0.7639
Tx_recup (%)	0.00766 0.9505	0.74833 <0.001	1	-0.34586 0.0039	0.25605 0.0351	-0.02296 0.8525
plaitBIMONO2 (%)	-0.64221 <0.001	-0.68097 <0.001	-0.34586 0.0039	1	-0.69074 <0.001	0.15454 0.2083
plaitMONOBI2 (%)	-0.51309 <0.001	0.53932 <0.001	0.25605 0.0351	-0.69074 <0.001	1	0.24739 <0.001
tx_recup2 (%)	0.00014 0.9991	-0.0371 0.7639	-0.02296 0.8525	0.15454 0.2083	0.24739 <0.001	1



Le chromosome 12 semble avoir un QTL (entre 0,63 et 0,66 cM) du gain de PL au retour à 2T/j (en kg/j et %) ; l'effet de ce QTL est à la limite du seuil de significativité en LDLA avec l'intégration des données de F3. En LDLA (données de F2+F3), le QTL porté sur Le chromosome 1 (12 cM) semble avoir un effet sur les pertes et gains (en kg/j). Deux QTL ont été mis en évidence pour le LS<sub>J1matin</sub> et un pour les variations de LS au passage en monotraite ; mais, ces résultats sont à considérer avec précaution car l'analyse n'a pas été réalisée dans les mêmes conditions.

Ces résultats diffèrent de ceux obtenus par le LIC sur des races différentes (Holstein-Frisonne, Jersiaise) et des conditions expérimentales non semblables lors de l'étude de la tolérance à différentes fréquences de traites (1T/j, 2T/j, 3T/j) chez 681 VL en NZ. Pour chaque modalité de traite, l'essai a duré 7 j entrecoupé par la «traite biquotidienne» qui représente le «rythme témoin». Le chromosome 8 semble impliqué pour les variations du passage de 1 à 2T/j (protéines, caséine, lactose, MS, et le volume de lait) pour un total de 8 QTL. 4 gènes sont identifiés pour la survie et la prolifération cellulaire (Duijvesteijn, 2012).

**Partie 4**

# Discussion & Perspectives



Vache Laitière croisée Holstein x Normande, La Rigaudière,  
photographie vache 7672, 2011, L. Heuveline.

Cette partie a pour objectifs d'analyser la pertinence des observations et résultats obtenus dans cette étude. Comme les résultats ont déjà été nuancés et confrontés à la littérature directement dans la partie «résultats», la discussion sera plus générale. Elle consistera à faire un bref rappel des principaux résultats en lien avec la problématique de l'essai, à présenter les limites et clôturer cette partie.

#### **4.1. Principaux résultats de l'étude**

##### *4.1.1. Des variations de performances laitières conformes à la littérature*

- *La production laitière*

En réponse à la monotraite, les animaux ont perdu 28% de lait (1<sup>er</sup> passage). La littérature indique des pertes moindres pour 2 semaines de monotraite en NZ : 10-28% en début de lactation, 9-13% en fin de lactation (en MS), mais avec des races très différentes : Frisonne et Jersiaise (Carruthers et al., 1993).

- *Les taux*

Par effet de concentration, les taux dans le lait augmentent en accord avec la littérature. Les résultats mettent en avant des échanges de lactose au niveau mammaire : fuite de lactose du lait vers le sang et en parallèle, augmentation du taux lactose dans le plasma sanguin - là aussi, en concordance avec la littérature. Il est possible de supposer que la pratique de la monotraite modifie la fromagabilité du lait ; à ce sujet des études sont menées actuellement dans les espèces ovines et caprines.

- *Les Numérations cellulaires*

Conformément à la bibliographie, les numérations cellulaires moyennes augmentent au passage en monotraite et peuvent dépasser le seuil des 250 000 CCS/mL (Psalmon, 2005) - notamment lors du 2<sup>nd</sup> passage en monotraite.

##### *4.1.2. Des indicateurs phénotypiques existent mais leur capacité prédictive est faible*

La présente étude met en évidence une variabilité importante des réponses des VL à la monotraite, d'un point de vue quantitatif (PL) et qualitatif (TB, TP, lactose, CCS). Grâce aux méthodes d'ACP et clustering, il semble que le TB<sub>monotraite</sub> explique en partie les variations de la variable de synthèse «taux de récupération». Cependant, au sein d'un même groupe de typologie, il existe des réponses différentes à TB équivalent. Ainsi, le TB au cours de la monotraite semble être un facteur pertinent mais, non unique. Le TP avant la monotraite est aussi un phénotype précoce des variations de PL. Par ailleurs, un taux de lactose élevé dans le plasma sanguin au passage à la monotraite est prédicteur de pertes plus importantes et d'une moindre récupération au retour à 2T/j. Ainsi, un animal ayant un épithélium mammaire moins étanche serait plus sensible à la monotraite.

##### *4.1.3. L'existence d'un déterminisme génétique qui pourrait être important dans les races françaises*

En réponse à l'objectif, l'étude montre que la génétique influence les performances en monotraite. Les variables d'intérêt (pertes et gains de lait) et les phénotypes prédicteurs s'avèrent héritables. Ces résultats ne peuvent être comparés à la littérature puisqu'il ne semble pas y avoir eu de publications concernant l'analyse des paramètres génétiques des performances en monotraite. Les écarts-types d'erreur sont importants à cause des effectifs limités - notamment pour le 2<sup>nd</sup> passage en monotraite. Néanmoins, les heritabilités calculées pour les caractères connus (PL, taux) étant du même ordre de grandeur que celles trouvées dans la littérature, ceci conforte les résultats obtenus pour les variables encore non étudiées.

La génétique semble jouer un rôle non négligeable dans l'expression des performances (variations PL) en monotraite et doit donc s'expliquer par des variations alléliques. Ainsi, des QTL ont été identifiés, mais la détection menée n'a pas permis de mettre en évidence de QTL avec un très fort seuil de significativité.

## 4.2. Discussion, limites de l'étude

### 4.2.1. Limite du protocole de mesure : homogénéité du protocole dans le temps

Le protocole de mesures ayant varié d'une campagne à l'autre, les moyennes (taux, numérations cellulaires) ne sont pas calculées à partir des mêmes effectifs. La lactosémie n'a pas été dosée pour toutes les campagnes et ne concerne que les données pour 276 VL.

### 4.2.2. Calcul des variations et persistance

Les variations de production ne prennent pas en compte la baisse naturelle de production au cours de la lactation (phase décroissante). En effet, il n'y a pas de possibilités de connaître la persistance propre de chaque individu. Toutefois, si on considère qu'après le pic de lactation la PL diminue de 4 à 6% d'un mois à l'autre (Boujenane, 2010) ; en moyenne sur 3 semaines de mon traite, les pertes réellement induites par l'essai seraient de l'ordre de 23,5 à 25% pendant la période à 1T/j au 1<sup>er</sup> passage. De la même façon, les variables de gain ne prennent pas en considération l'effet «persistance».

### 4.2.3. Alimentation des animaux

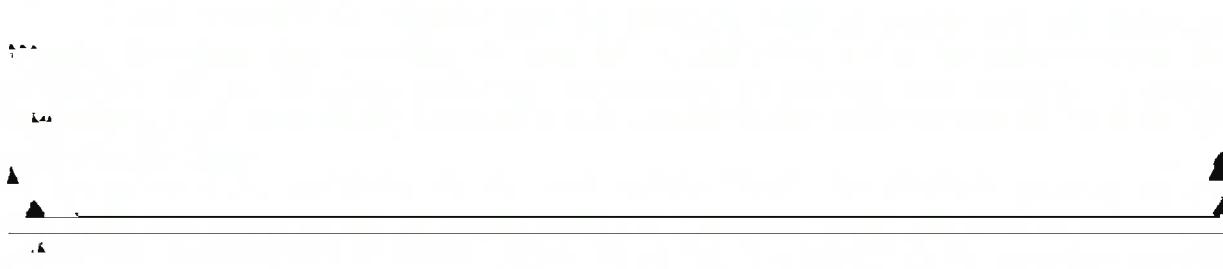
Pendant la monotraite, les animaux ont reçu une ration identique à la période pré-expérimentale où les vaches étaient traites 2 fois/j. Si l'alimentation avait été ajustée à la production réelle en phase expérimentale, il est possible de supposer que la baisse de PL aurait été plus marquée et l'augmentation des taux moindre. Rémond et al (2002) montrent



### 4.2.4. Limite de la détection des QTL



### 4.2.5. Limite du croisement



## 4.3. Perspectives

### 4.3.1. Dépouillement à finaliser : des phénotypes prédicteurs qui restent à identifier sur les variations de lait et de composition

La base de données regroupe beaucoup d'information. Des phénotypes prédicteurs restent à analyser. Les variations de composition du lait - très importantes - n'ont pas été étudiées dans la présente étude. Cependant aux vues des variations de taux observées et de l'importance économique de ces paramètres de composition, la poursuite de cette analyse dans ce sens semble pertinente. Par ailleurs, l'étude souligne l'implication des taux (phénotypes prédicteurs) dans la variabilité des réponses au passage à 1T/j et lors du retour

à 2T/j. Il serait intéressant d'approfondir les mécanismes physiologiques de régulation qui interviennent en amont.

- *Cinétique d'émission du lait : un éventuel prédicteur*

Des mesures de cinétique d'émission du lait ont été enregistrées par l'automate de traite, mais nécessiterait une organisation des fichiers. Dans le prolongement de l'étude, il pourrait être envisagé d'étudier et de comparer les profils de débit<sup>11</sup>, de vitesse de traite des animaux par rapport aux profils adaptatifs vis-à-vis de la monotraite et d'étudier d'éventuelles corrélations entre facteurs. En effet, ces paramètres de traite pourraient être des phénotypes prédicteurs pertinents. Ils permettraient de décrire les variations de pressions intra-mammaire en lien avec l'accumulation du lait dans la mamelle (élasticité du tissu mammaire, capacité de stockage du lait dans la glande mammaire, dynamique de transfert du lait).

- *Note d'Etat Corporel et bilan énergétique*

Si le but du stage était d'étudier les variations de production, l'étude pourra se poursuivre avec une approche multicritère.

L'analyse de l'évolution de l'état corporel des animaux pourrait être envisagée puisque des notations individuelles sont réalisées à la station du Pin. En effet, la bibliographie indique une amélioration des conditions corporelles des animaux conduits en monotraite (O'Brien et Gleeson, 2008 ; Pomiès, 2010 ; Cooper, 2012). Cette observation est également à mettre en parallèle à l'amélioration du bilan énergétique. En effet, Rémond et al. (2005) indiquent que les variations de poids vifs et d'état corporel ont été faibles entre les 2 modalités de traite (en période post-expérimentale, en moyenne : 655 kg, NEC=1,28 pour le «lot 1T/j» vs 652 kg, NEC=1,33 concernant le «lot 2T/j») ; mais, précise que le bilan énergétique s'est accru pour les animaux en monotraite (+1,7 UFL/j en moyenne). En Irlande, pour un essai portant sur des multipares Holstein-Frisonne alimentées à l'herbe et aux concentrés (conduite semblable de celle du Pin), O'Brien et Gleeson (2008) montrent des différences significatives entre les rythmes de traites en ce qui concerne les conditions corporelles des animaux : 608 kg de PV (note de 2,54) pour les animaux en 2T/j (TAD), 692 kg (note : 3,07) pour les animaux en 1T/j jusqu'à 110 j de lactation puis en 2T/j (OAD/TAD) et intermédiairement, 628 kg (note : 2,67) pour les animaux en 2T/j puis en 1T/j à partir de 110 j de lactation jusqu'à la fin de la saison (TAD/OAD).

#### *4.3.2. Des variations de lait et de composition à maîtriser sans nuire aux autres fonctions de l'animal*

- *Santé de la mamelle*

L'étude montre une hausse des paramètres cellulaires au passage en monotraite (CCS, SCS). Le paramètre leucocytaire entre en compte dans le paiement du lait (Code Rural Art.R654-29). Pour une numération cellulaire moyenne au cours de la monotraite à 356 000 CCS/mL ( $\pm 633\ 000$ ) toutes séries confondues (1<sup>er</sup> passage), la pénalité attribuée dans cette zone de collecte serait de -9,147€/1000L (grille de paiement du lait Basse-Normandie, mai 2012). A noter que les pénalités atteignent -18,294€/1000L lorsque que le comptage de cellules somatiques du lait de tank dépasse 400 000 CCS/mL. L'Idele (2012) conseille la pratique de la monotraite à des troupeaux initialement sains afin d'éviter des niveaux cellulaires en lait de mélange pouvant s'avérer pénalisants. L'essai a eu lieu en saison hivernale ; les animaux étaient donc en stabulation. Même si la stabulation est curée avant l'essai, la maîtrise des conditions de milieu est délicate en hiver et a néanmoins un rôle majeur par rapport la santé de la mamelle (Phyn et al., 2008 ; Wattiaux, 2012).

Même si ce n'est pas l'objectif de cette étude, il serait intéressant de savoir si les animaux traits 1 fois/j ont eu plus de mammites que les animaux traits 2 fois/j, comme l'indique la Chambre d'Agriculture de Bretagne (Portier et al., 2006). Cependant, le fait que tous les animaux expérimentaux soient passés en monotraite et qu'il n'y ait pas de «lot témoin» (2T/j) fait que «l'animal est son propre témoin» et rend donc la comparaison des fréquences d'apparition des mammites peu pertinente.

<sup>11</sup> Débit de traite : volume de lait/unité de temps à la traite.

- *Reproduction*

Certains éleveurs mettent en place la monotraite pour pallier aux problèmes liés à la mise à la reproduction des VL. Les paramètres de reproduction n'entraînent pas en compte dans les finalités de l'essai. Le troupeau expérimental du Pin fait l'objet de synchronisation des cycles, ce qui limite l'analyse et l'interprétation des résultats de reproduction. Les chantiers de synchronisation et de *Transfert Embryonnaire* (TE) nécessitent que les vaches soient bloquées au cornadis, ce qui leur limite notamment l'accès à l'abreuvement et peut biaiser les performances de production. Par ailleurs, Wattiaux (2012) indique que la phase œstrale engendre une baisse de l'appétit et de la PL. Les dates des traitements hormonaux et des chaleurs des vaches n'ont pas été prises en considération dans l'analyse des performances de production.

#### 4.3.3. *Effectif limité*

Les données du 2<sup>nd</sup> passage sont relativement peu confrontées à la littérature car les essais portent généralement sur une seule phase expérimentale. Avec davantage de données concernant le cas où les animaux passent une 2<sup>nd</sup> fois en monotraite, il pourrait être envisagé d'estimer de façon plus précise les paramètres génétiques (héritabilités) et de rechercher d'éventuels QTL. Par ailleurs, les variables d'intérêt (pertes, gains de PL) s'avèrent répétables dans le cas d'un 2<sup>nd</sup> passage au cours de la même lactation, c'est-à-dire : intra-lactation. En prolongement, la répétabilité de la réponse à la monotraite pourrait être étudiée d'une lactation à l'autre. Dans cette optique, les données de monotraite du protocole du Pin pourraient être associées aux essais en cours à la station expérimentale INRA à Méjusseaume (2009-2013) (Flament et Larroque, 2012 – communication interne). Cela pourrait permettre de déterminer si, au niveau de la mamelle, l'animal met en place les mêmes types de mécanismes d'adaptation inter-lactation.

#### 4.3.4. *Volet technico-économique : application de la monotraite aux élevages commerciaux*

D'un point de vue technico-économique, il pourrait être intéressant d'estimer les effectifs supplémentaires nécessaires pour parvenir à produire le quota (ou autre future référence laitière) en cas de passage en monotraite avec les conséquences induites par l'augmentation de l'effectif et du chargement animal (surface, place dans les bâtiments, alimentation, temps de travail global, gestion des effluents, etc.). Cette problématique se réfère à l'application pratique de la monotraite pour des élevages commerciaux.

Avec des systèmes très particuliers en NZ, Anderle et Dalley (2007) indiquent des charges d'élevage inférieures de 26% en système monotraite par rapport à la conduite dite classique en 2T/j (baisse de l'électricité, du coût main d'œuvre, etc.) et précisent que l'indicateur technico-économique néo-zélandais (MS/ha) baisse de 6%.

## Conclusion

L'étude de la monotraite et de l'adaptabilité de la VL vis-à-vis de cette pratique consiste à analyser les réponses lors du passage à 1T/j mais aussi, au retour à 2T/j. En effet, en pratique les animaux sont conduits en monotraite pendant une partie de leur

lactation - contrairement aux systèmes néo-zélandais. Ce constat explique en grande partie l'originalité des résultats obtenus dans la présente étude.

L'analyse des données issues du dispositif expérimental de l'INRA du Pin-au-Haras (Orne) a permis de caractériser la réponse à la monotraite sur une grande population ( $n=368$  VL) relativement représentative des systèmes d'élevages français. L'analyse s'est portée sur les variations de production de lait aux vues de la forte variabilité des réponses décrite dans la synthèse bibliographique. En moyenne, la chute de PL est de -28,2% ( $\pm 7,8\%$ ) pour 3 semaines de monotraite à même ration alimentaire qu'en «rythme classique» (2T/j). En accord avec la littérature, l'étude met en avant une importante variabilité inter-individuelles. En effet, au passage à 1T/j, la PL de certains animaux va rester quasiment équivalente à celle en traite biquotidienne (perte minimum : -8% de lait) ; tandis que d'autres voient leurs performances fortement chuter (maximum : -70,2%). Pour expliquer ces variations, des indicateurs phénotypiques ont été mis en évidence : le TB, TP et la lactosémie semblent représenter des paramètres intéressants pour anticiper les variations de PL. En réponse à l'objectif, l'étude montre que la réponse à la monotraite chez la vache est soumise à un fort déterminisme génétique. Ce propos s'appuie sur une heritabilité importante des phénotypes de pertes et de gains de lait ainsi que sur la mise en évidence de QTL significatifs au seuil 5% au niveau du chromosome.

En perspectives, l'étude pourra se poursuivre vers une «approche multicritères» de la monotraite afin de mettre en relation la fonction de production avec les autres fonctions de l'animal - notamment la santé de la mamelle et la reproduction.

Avec 68 animaux repassés une 2<sup>nde</sup> fois en monotraite pendant 2 semaines, l'étude permet de conclure que les variations de PL au passage à 1T/j et au retour à 2T/j sont relativement répétables. Cette observation peut venir en réponse aux éleveurs qui s'interrogent sur la flexibilité de leur système et sur la possibilité d'adopter différents rythmes de traites en fonction de la saison, des charges de travail et/ou de la conjoncture.

En termes conjoncturels, le contexte économique, environnemental, social et politique des exploitations laitières devient de plus en plus instable. Les éleveurs sont de plus en plus soumis à la volatilité des prix des intrants (Seegers et Brunschwig, 2011). Les matières premières (exemple : céréales) augmentent<sup>12</sup> ; en parallèle, la main d'œuvre se raréfie et représente un poste coûteux. Le cadre de la filière laitière connaît un profond bouleversement. La contractualisation remplacera le système des quotas<sup>13</sup> à partir du 31 mars 2015 (Danel et al., 2012 - Code Rural Art.L631-24). La durée initiale du contrat est fixée à 5 ans. Il est prévu que l'accord entre producteur et laiterie se prolonge par tacite reconduction (possibilité de résilier le contrat avec un préavis de 12 mois) (Danel et al., 2012). Le conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux indique que les clauses de résiliation n'étant pas toujours précisées, cela revient à considérer que la durée du contrat pourrait être, par la suite, limitée à 1 an. Cela signifie que les systèmes d'élevages devront se plier rapidement aux fluctuations de marché et aux contraintes imposées par les filières.

Face à toutes ces problématiques, les pratiques visant à améliorer la flexibilité, la robustesse et l'adaptabilité des exploitations - comme peut le représenter la conduite en monotraite - permettront aux éleveurs de mieux pérenniser leurs outils de production.

Même si certains résultats restent à consolider, les 1<sup>ères</sup> conclusions laissent entrevoir de nouvelles perspectives par rapport à la sélection d'animaux plus robustes et capables de s'adapter à des modifications en termes de conduites d'élevages répondant à la nécessité pour l'éleveur d'ajuster son système aux exigences du marché et plus largement, à un contexte changeant.

<sup>12</sup> D'après la Chambre Régionale d'Agriculture de Normandie (2012), le coût alimentaire représente 25% du coût de production en atelier laitier.

<sup>13</sup> Quotas laitiers : système de régulation de la filière instauré en 1984.

## Références bibliographiques

(Liste éditée avec le logiciel EndNote®)

### Articles scientifiques

#### A

Ayadi, M., Caja, G., Such, X., & Knight, C. H. (2003). Effect of omitting one milking weekly on lactational performances and morphological udder changes in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86(7), 2352-2358.

#### B

Ben Chedly, H., Lacasse, P., Marnet, P. G., Wiart-Letort, S., Finot, L., & Boutinaud, M. (2009). CELL JUNCTION DISRUPTION AFTER 36 H MILK ACCUMULATION WAS ASSOCIATED WITH CHANGES IN MAMMARY SECRETORY TISSUE ACTIVITY AND DYNAMICS IN LACTATING DAIRY GOATS. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 60, 105-111.

Ben Chedly, H., Lacasse, P., Marnet, P. G., Komara, M., Marion, S., & Boutinaud, M. (2011). Use of milk epithelial cells to study regulation of cell activity and apoptosis during once-daily milking in goats. *Animal*, 5(4), 572-579.

Boutinaud, M., Guinard-Flament, J., & Jammes, H. (2004). GH and milking frequency act differently on mammary cells. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 13, 467-470.

Boutinaud, M., Guinard-Flament, J., & Jammes, H. (2004). The number and activity of mammary epithelial cells, determining factors for milk production. [Review]. *Reproduction Nutrition Development*, 44(5), 499-508.

Boutinaud, M., Lollivier, V., Finot, L., Bruckmaier, R. M., & Lacasse, P. (2012). Mammary cell activity and turnover in dairy cows treated with the prolactin-release inhibitor quinagolide and milked once daily. *Journal of Dairy Science*, 95(1), 177-187.

Bovenhuis, H., & Spelman, R. J. (2000). Selective genotyping to detect quantitative trait loci for multiple traits in outbred populations. *Journal of Dairy Science*, 83(1), 173-180.

Brûlé, A., Brocard, V., Portier, B., & Racine, V. (2003). Effects of reducing of milking frequency on welfare of dairy cow. Paper presented at the 10èmes Rencontres Recherches Ruminants.

#### D

Dalley, D. E., Clough, J. W., Hofmann, L. A., Phyn, C. V. C., & Clark, D. A. (2008). Jersey cows milked once-a-day can produce 1,200 kg milksolids per hectare. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 68, 96-97.

Davis, S. R., Farr, V. C., & Stelwagen, K. (1999). Regulation of yield loss and milk composition during once-daily milking: a review. [Review]. *Livestock Production Science*, 59(1), 77-94.

Davis, S. R. (2005). Lactational traits of importance in dairy cows and applications for emerging biotechnologies. [Review]. *New Zealand Veterinary Journal*, 53(6), 400-405.

Davis, S., McNaughton, L., Bracefield, G., Sanders, K., & Spelman, R. (2006). Variation in milk yield response to once-daily milking in Friesian-Jersey crossbred cattle. [Meeting Abstract]. *Journal of Animal Science*, 84, 146-147.

Druet, T., Jaffrézic, F., Boichard, D., Ducrocq, V. (2005). Modeling lactation curves and estimation of genetic parameters for first three lactations. *Genet. Sel. Evol.*, 37, 257-271.

#### F

France, I. N. d. I. R. A. (1978). *The dairy cow Bulletin Technique*, Centre de Recherches Zootechniques et Vétérinaires de Theix.

#### G

Guinard-Flament, J., Delamaire, E., Lemosquet, S., Boutinaud, M., & David, Y. (2006). Changes in mammary uptake and metabolic fate of glucose with once-daily milking and feed restriction in dairy cows. *Reproduction Nutrition Development*, 46(5), 589-598.

Guinard-Flament, J., Delamaire, E., Lamberton, P., & Peyraud, J. L. (2007). Adaptations of mammary uptake and nutrient use to once-daily milking and feed restriction in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 90(11), 5062-5072.

Guinard-Flament, J., Gallard, Y., & Larroque, H. (2007). Use of the plasma concentration of lactose as an indicator of milk yield loss in dairy cows switched to once daily milking? Paper presented at the 14èmes Rencontres Recherches Ruminants.

Guinard-Flament, J., Gallard, Y., & Larroque, H. (2011). Lactose in blood plasma and the ability of dairy cows to tolerate once-daily milking in terms of milk loss and milk recovery. *Journal of Dairy Science*, 94(7), 3446-3454.

Guinard-Flament, J., Lemosquet, S., Delamaire, E., Le Bris, G., Lamberton, P., & Hurtaud, C. (2011). Alteration of the nutrient uptake by the udder over an extended milking interval in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94(11), 5458-5468.

#### H

Harris, B. L., Johnson, D. L., & Spelman, R. J. (2009). Genomic selection in New Zealand and the implications for national genetic evaluation. In J. D. Sattler (Ed.), ICAR Technical Series (pp. 325-330).

Hickson, R. E., Lopez-Villalobos, N., Dalley, D. E., Clark, D. A., & Holmes, C. W. (2006). Yields and persistency of lactation in Friesian and jersey cows milked once daily. *Journal of Dairy Science*, 89(6), 2017-2024.

## K

Knight, C. H., & Dewhurst, R. J. (1994). ONCE-DAILY MILKING OF DAIRY-COWS - RELATIONSHIP BETWEEN YIELD LOSS AND CISTERNAL MILK STORAGE. *Journal of Dairy Research*, 61(4), 441-449.

Komara, M., Boutinaud, M., Ben Chedly, H., Guinard-Flament, J., & Marnet, P. G. (2009). Once-daily milking effects in high-yielding Alpine dairy goats. *Journal of Dairy Science*, 92(11), 5447-5455.

Komara, M., & Marnet, P. G. (2009). Endocrine responses and milk emission characteristics in high yielding Alpine dairy goats under once daily milking management. *Small Ruminant Research*, 87(1-3), 64-69.

Komara, M., Giger-Reverdin, S., Marnet, P.-G., Roussel, S., & Duvaux-Ponter, C. (2010). The combined effects of milking frequency and feeding level on dairy goat welfare and milk emission characteristics in late lactation. *Applied Animal Behaviour Science*, 127(3-4), 96-103.

## L

Lacy-Hulbert, S. J., Dalley, D. E., & Clark, D. A. (2005). The effects of once a day milking on mastitis and somatic cell count. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 65, 137-142.

Larroque, H., Gallard, Y., Delacroix-Buchet, A., Bach, C., Ogier, J. C., Mahe, M. F., et al. (2007). QTL detection for cheese-making ability in Holstein-Normandy dairy cattle crossbreds. Paper presented at the 14èmes Rencontres Recherches Ruminants.

Larroque, H., Gallard, Y., Barbey, S., Delaby, L., Robert-Granié, C., Pomiès, D., et al. (2011). Premiers phénotypes de la tolérance à la monotrait. Paper presented at the 18èmes Rencontres Recherches Ruminants.

Li, P., Wilde, C. J., Finch, L. M. B., Fernig, D. G., & Rudland, P. S. (1999). Identification of cell types in the developing goat mammary gland. *Histochemical Journal*, 31(6), 379-393.

Littlejohn, M. D., Walker, C. G., Ward, H. E., Lehner, K. B., Snell, R. G., Verkerk, G. A., et al. (2010). Effects of reduced frequency of milk removal on gene expression in the bovine mammary gland. *Physiological Genomics*, 41(1), 21-32.

Lopez Villalobos, N., Garrick, D. J., Spelman, R. J., Holmes, C. W., Blair, H. T., & Villalobos, N. L. (1998). Effects of selection and crossbreeding on industry returns from whole milk powder, butter and casein in the New Zealand dairy industry. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 58, 64-67.

Lopez-Villalobos, N., Garrick, D. J., Holmes, C. W., Blair, H. T., & Spelman, R. J. (2000). Effects of selection and crossbreeding strategies on industry profit in the New Zealand dairy industry. *Journal of Dairy Science*, 83(1), 164-172.

Losq, G., Porhie, J. Y., Portier, B., Seite, Y., & Trou, G. (2009). Solutions to decrease daily working time in dairy systems. Paper presented at the 16èmes Rencontres Recherches Ruminants.

Lovendahl, P., & Chagunda, M. G. G. (2011). Covariance among milking frequency, milk yield, and milk composition from automatically milked cows. *Journal of Dairy Science*, 94(11), 5381-5392.

## M

Marnet, P. G., & Komara, M. (2008). Management systems with extended milking intervals in ruminants: Regulation of production and quality of milk. *Journal of Animal Science*, 86(13), 47-56.

## P

Pettersson, G., Svennersten-Sjaunja, K., & Knight, C. H. (2011). Relationships between milking frequency, lactation persistency and milk yield in Swedish Red heifers and cows milked in a voluntary attendance automatic milking system. *Journal of Dairy Research*, 78(3), 379-384.

Pomies, D., Martin, B., Remond, B., Brunschwig, G., Pradel, P., Lavigne, R., et al. (2003). Once a day milking of Prim'Holstein and Montbeliarde cows during 7 weeks in mid-lactation: zootechnical performances, milk and cheese quality. Paper presented at the 10èmes Rencontres Recherches Ruminants.

Pomies, D., Marnet, P. G., Cournot, S., Barillet, F., Guinard-Flament, J., & Remond, B. (2008). Simplified milking methods in dairy herds: the end of twice-a-day milking constraints. *Productions Animales*, 21(1), 59-70.

Portier, B., Brocard, V., Herisset, R., Losq, G., Peyrin, M., & Trou, G. (2009). The experience of 15 Breton dairy farm milking cows once a day. Paper presented at the 16èmes Rencontres Recherches Ruminants.

Pryce, J. E., Haile-Mariam, M., Verbyla, K., Bowman, P. J., Goddard, M. E., & Hayes, B. J. (2010). Genetic markers for lactation persistency in primiparous Australian dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93(5), 2202-2214.

## R

Remond, B., Aubailly, S., Chilliard, Y., Dupont, D., Pomies, D., & Petit, M. (2002). Combined effects of once-daily milking and feeding level in the first three weeks of lactation on milk production and enzyme activities, and nutritional status, in Holstein cows. *Animal Research*, 51(2), 101-117.

Remond, B., Pomies, D., Dupont, D., & Chilliard, Y. (2004). Once-a-day milking of multiparous Holstein cows throughout the entire lactation: milk yield and composition, and nutritional status. *Animal Research*, 53(3), 201-212.

Remond, B., & Pomies, D. (2005). Once-daily milking of dairy cows: a review of recent French experiments. *Animal Research*, 54(6), 427-442.

Remond, B., & Pomies, D. (2007). Once-daily milking of Holstein cows for one-week decreases milk yield by twenty-five percent without any carry-over effect. *Livestock Science*, 110(1-2), 192-195.

Remond, B., Pomies, D., Julien, C., & Guinard-Flament, J. (2009). Performance of dairy cows milked twice daily at contrasting intervals. *Animal*, 3(10), 1463-1471.

Rius, A. G., Kay, J. K., Phyn, C. V. C., Morgan, S. R., & Roche, J. R. (2010). Milking frequency and milk production in pasture-based lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93, 569-569.

## S

Shorten, P. R., Vetharaniam, I., Soboleva, T. K., Wake, G. C., & Davis, S. R. (2002). Influence of milking frequency on mammary gland dynamics. *Journal of Theoretical Biology*, 218(4), 521-530.

Spelman, R. J., Coppeters, W., Karim, L., vanArendonk, J. A. M., & Bovenhuis, H. (1996). Quantitative trait loci analysis for five milk production traits on chromosome six in the Dutch Holstein-Friesian population. *Genetics*, 144(4), 1799-1807.

Spelman, R. J., Coppeters, W., Karim, L., Arendonk, J. A. M. v., & Bovenhuis, H. (1997). Quantitative trait loci analysis for five milk production traits on chromosome six in the Dutch Holstein-Friesian population. *Genetics, USA*, 144(4), 1799-1808.

Spelman, R., & Garrick, D. (1997). Utilisation of marker assisted selection in a commercial dairy cow population. *Livestock Production Science*, 47(2), 139-147.

Spelman, R. J., & Garrick, D. J. (1998). Genetic and economic responses for within-family marker-assisted selection in dairy cattle breeding schemes. *Journal of Dairy Science*, 81(11), 2942-2950.

Spelman, R. J., Lopez Villalobos, N., Garrick, D. J., & Villalobos, N. L. (1998). Experimental designs for quantitative trait loci detection in the New Zealand dairy industry. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 58, 6-9.

Spelman, R. J., Huisman, A. E., Singireddy, S. R., Coppeters, W., Arranz, J., Georges, M., et al. (1999). Quantitative trait loci analysis on 17 nonproduction traits in the New Zealand dairy population. *Journal of Dairy Science*, 82(11), 2514-2516.

Stefanon, B., Colitti, M., Gabai, G., Knight, C. H., & Wilde, C. J. (2002). Mammary apoptosis and lactation persistency in dairy animals. *Journal of Dairy Research*, 69(1), 37-52.

Stelwagen, K., Davis, S. R., Farr, V. C., Eichler, S. J., & Politis, I. (1994). EFFECT OF ONCE-DAILY MILKING AND CONCURRENT SOMATOTROPIN ON MAMMARY TIGHT JUNCTION PERMEABILITY AND YIELD OF COWS. *Journal of Dairy Science*, 77(10), 2994-3001.

Stelwagen, K., Politis, I., White, J. H., Zavizion, B., Prosser, C. G., Davis, S. R., et al. (1994). EFFECT OF MILKING FREQUENCY AND SOMATOTROPIN ON THE ACTIVITY OF PLASMINOGEN-ACTIVATOR, PLASMINOGEN, AND PLASMIN IN BOVINE-MILK. *Journal of Dairy Science*, 77(12), 3577-3583.

Stelwagen, K., & LacyHulbert, S. J. (1996). Effect of milking frequency on milk somatic cell count characteristics and mammary secretory cell damage in cows. *American Journal of Veterinary Research*, 57(6), 902-905.

Stelwagen, K., & Knight, C. H. (1997). Effect of unilateral once or twice daily milking of cows on milk yield and udder characteristics in early and late lactation. *Journal of Dairy Research*, 64(4), 487-494.

Stelwagen, K., Farr, V. C., Nicholas, G. D., Davis, S. R., & Prosser, C. G. (2008). Effect of milking interval on milk yield and quality and rate of recovery during subsequent frequent milking. *Livestock Science*, 114(2-3), 176-180.

## T

Tong, M. J., Clark, D. A., & Cooper, C. V. (2002). Once-a-day milking: possible and profitable? *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 64, 33-37.

## V

Veyset, P., Wallet, P., & Prugnard, E. (2001). Automatic milking systems: characterisation of the equipped farms, economic consequences, a few thoughts before investment. *Productions Animales*, 14(1), 51-61.

## Sites Internet

### A

AGENAE (2008 - page consultée le 03/07/2012). Biologie intégrative de la fonction mammaire & adaptabilité de la MGL : Impact des facteurs génétiques et alimentaires sur les caractéristiques de la matière grasse laitière et sur les propriétés techno-fonctionnelles des constituants du lait. [http://www.google.fr/url?sa=t&ct=&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0CGUQFjAF&url=http%3A%2F%2Fwww.agenaе.fr%2Fprogramme\\_agenaе%2Fcontent%2Fdownload%2F3209%2F32052%2Fversion%2F1%2Ffile%2FMartin\\_Patrice\\_GenomilkFat.pdf&ei=JqLyT7SnE6TD0QXk7eGvCQ&usq=AFQiCNGsVWgW1KP-v1slmeOxlZV57WAxkmq&sqi=2=9Qc5tZGM\\_IID48cYNaI2A](http://www.google.fr/url?sa=t&ct=&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0CGUQFjAF&url=http%3A%2F%2Fwww.agenaе.fr%2Fprogramme_agenaе%2Fcontent%2Fdownload%2F3209%2F32052%2Fversion%2F1%2Ffile%2FMartin_Patrice_GenomilkFat.pdf&ei=JqLyT7SnE6TD0QXk7eGvCQ&usq=AFQiCNGsVWgW1KP-v1slmeOxlZV57WAxkmq&sqi=2=9Qc5tZGM_IID48cYNaI2A)

Allain (2012 - page consultée le 28-29/06/2012 ; le 02/07/2012 ; 22/08/2012). Robots de traite : le déploiement continue. [http://idеле. fr/index.php?id=313&tx\\_atolidelesoir\\_atolidelesoir%5Bcontroller%5D=idolesr&tx\\_atolidelesoir\\_atolidelesoir%5Baction%5D=recommends&tx\\_atolidelesoir\\_atolidelesoir%5Bcontent%5D=3670&chash=d049b4f20cc7f25b13d7ab7779b20851](http://idеле. fr/index.php?id=313&tx_atolidelesoir_atolidelesoir%5Bcontroller%5D=idolesr&tx_atolidelesoir_atolidelesoir%5Baction%5D=recommends&tx_atolidelesoir_atolidelesoir%5Bcontent%5D=3670&chash=d049b4f20cc7f25b13d7ab7779b20851)

ANSES (page consultée le 05/04/2012). ANSES <http://www.anses.fr/>

### B

BABCOCK INSRITUTE for International Dairy Research and Development (page consultée le 03/04/2012). Bases de Laiteries. <http://babcock.wisc.edu/fr?q=fr/node/123>

Bariillet et Bonaiti (1992 - page consultée le 15/06/2012). Les objectifs et les critères de sélection : La production laitière des ruminants traits. <https://www6.inra.fr/productions-animautes/1992-Volume-5/Numero-Hors-Serie-1992/Les-objectifs-et-les-criteres-de-selection-La-production-lactaire-des-ruminants-trait>

Benett et al. (page consultée le 07-14-23/03/2012 ; 02/04/2012 ; 05/07/2012). Fast-Forwarding Dairy Genetics. [http://www.lic.co.nz/pdf/grasslands\\_presentation.pdf](http://www.lic.co.nz/pdf/grasslands_presentation.pdf)

Bernier Dodier et al. (2010 - page consultée le 20/07/2012). Effect of milking frequency on lactation persistency and mammary gland remodeling in mid-lactation cows. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20105527>

Bidanel (1992 - page consultée le 17/07/2012) La gestion des populations : Comment exploiter la variabilité génétique entre races : du croisement simple à la souche synthétique. <https://www6.inra.fr/productions-animautes/1992-Volume-5/Numero-Hors-Serie-1992/La-gestion-des-populations-Comment-exploiter-la-variabilite-genetique-entre-races>

Boujenane (2010 - page consultée le 16/08/2012). La courbe de lactation des vaches laitières et ses utilisations. [http://boujenane.com/phocadownload/espace%20vt\\_courbe%20de%20lactation.pdf](http://boujenane.com/phocadownload/espace%20vt_courbe%20de%20lactation.pdf)

### C

Calvados Contrôle Laitier-Bovin Croissance (2009 - page consultée le 04/07/2012). Qualité du lait : Agissez ! [http://www.calvados-controle-laitier.fr/iso\\_album/pub\\_qualite\\_du\\_lait.pdf](http://www.calvados-controle-laitier.fr/iso_album/pub_qualite_du_lait.pdf)

## L. HEUVELINE : mémoire de fin d'études

Centre d'Insémination Artificielle de L'Aigle (page consultée le 07/07/2012). Les services proposés aux éleveurs. <http://www.cia-laigle.com/index2.htm>

Chambre Agriculture Bretagne (2006 - page consultée le 21-22-23/03/2012 ; 03/07/2012 ; 03/08/2012). [http://www.bretagne.synegri.com/ca1/PJ.nsf/TECHJPARCLEF/07386/\\$File/Traire%20une%20fois%20par%20jour%20toute%20%27ann%C3%A9e.pdf?OpenElement](http://www.bretagne.synegri.com/ca1/PJ.nsf/TECHJPARCLEF/07386/$File/Traire%20une%20fois%20par%20jour%20toute%20%27ann%C3%A9e.pdf?OpenElement)

Chambre Agriculture Haute-Marne (page consultée le 16/07/2012). Génisses laitières : les conditions pour faire du vêlage à 2 ans. [http://www.haute-marne.chambagri.fr/fileadmin/documents/elevage/genisses\\_laitieres.pdf](http://www.haute-marne.chambagri.fr/fileadmin/documents/elevage/genisses_laitieres.pdf)

Chapelle (page consultée le 02/07/2012 ; 02-03/08/2012 ; 26/08/2012) Amélioration génétique. [http://www.ceja74.fr/GestionFichiers/Documents/Genetique/Notions\\_Generales\\_de\\_GENETIQUE.pdf](http://www.ceja74.fr/GestionFichiers/Documents/Genetique/Notions_Generales_de_GENETIQUE.pdf)

CIRAD (page consultée le 01/06/2012 ; 28/06/2012). La recherche agronomique pour le développement. <http://www.cirad.fr/content/search?SearchText=lait&SearchButton=Rechercher>

Clark et al. (2007 - page consultée le 12-13/03/2012 ; 19/03/2012 ; 06/07/2012). Milk Production from Once-a-Day (OAD) Milking. <http://www.dairynz.co.nz/file/fileid/27386>

CNIEL (2006 - page consultée le 02/07/2012 ; 16/07/2012). Le Lait. <http://www.cniel.com/prodlaite/LAIT/Lait2.html>

Cooper (2010 - page consultée le 14-16/03/2012 ; 03-04-05/07/2012). Once-a-Day Milking : Possible and Profitable? <http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CFcQOFjA&url=http%3A%2F%2Fwww.side.org.nz%2FPapers%2F2000%2FOnce-a-day%2520milking%2520%2520possible%2520and%2520profitable&ei=297yT-ORH4eqBQQT14XICQ&usg=AFQjCNEJldVjYZ5uBxqHWsBDVM0kkowAq&sig2=UoSmC-DLfk1PqQV8ZsxUxA>

### D

Dairy NZ (2007 - page consultée le 03/07/2012). Conference Proceedings. [www.dairynz.co.nz/page/pageid/2145856696/2007\\_OAD\\_Conference](http://www.dairynz.co.nz/page/pageid/2145856696/2007_OAD_Conference)

DeLaval (2006 - page consultée le 03/04/2012). The mammary gland. [http://en.delaval.cn/Dairy\\_Knowledge/EfficientMilking/The\\_Mammary\\_Gland.htm](http://en.delaval.cn/Dairy_Knowledge/EfficientMilking/The_Mammary_Gland.htm)

Danel et al. (2012 - page consultée le 03/08/2012 ; 22/08/2012). RAPPORT sur la contractualisation dans le secteur agricole (Article L631-24 du Code rural et de la pêche maritime). [http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport-Contractualisation-Vdef-2\\_cle8169a5.pdf](http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport-Contractualisation-Vdef-2_cle8169a5.pdf)

Douguet (2012 - page consultée le 02/07/2012). Résultats de Contrôle Laitier - France 2011. [http://idele.fr/index.php?id=313&tx\\_atolidelesoir\\_atolidelesoir\[controller\]=atolidelesoir&tx\\_atolidelesoir\\_atolidelesoir\[action\]=recommends&tx\\_atolidelesoir\\_atolidelesoir\[content\]=3334&cHash=569f52f3efae4ace9579be35791aaca2](http://idele.fr/index.php?id=313&tx_atolidelesoir_atolidelesoir[controller]=atolidelesoir&tx_atolidelesoir_atolidelesoir[action]=recommends&tx_atolidelesoir_atolidelesoir[content]=3334&cHash=569f52f3efae4ace9579be35791aaca2)

Duijvestein (2007 - page consultée le 17/08/2012). [http://www.abq.wur.nl/NR/rdonlyres/39AB7BBB-2055-417C-8B7F-CCE817F91CD3/43362/Naomi\\_Duijvestein\\_May2007.pdf](http://www.abq.wur.nl/NR/rdonlyres/39AB7BBB-2055-417C-8B7F-CCE817F91CD3/43362/Naomi_Duijvestein_May2007.pdf)

### E

Ecole de Technologie Supérieure – Service de la bibliothèque (2011 - page consultée le 05/07/2012). EndNote X5 logiciel de gestion de références bibliographiques. [http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CF4OFjAB&url=http%3A%2F%2Fbibliotheque.etsmtl.ca%2Fformation%2FEndNote%2FEndnoteX5.doc&ei=AEr1THCs80QX2JGTBw&usg=AFQjCNEIxXasu5pK11dh7Bjmc9elsZIA&sig2=b1050YfqDBvNWs\\_o1yeQQ](http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CF4OFjAB&url=http%3A%2F%2Fbibliotheque.etsmtl.ca%2Fformation%2FEndNote%2FEndnoteX5.doc&ei=AEr1THCs80QX2JGTBw&usg=AFQjCNEIxXasu5pK11dh7Bjmc9elsZIA&sig2=b1050YfqDBvNWs_o1yeQQ)

Educagri (2004 - page consultée le 17/07/2012). Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. <http://books.google.fr/books?id=qGB9NygckoYC&pg=PA135&lpg=PA135&dq=courbe+de+production+vache&source=bl&ots=rq-YZAQcNB&sig=5M1bDwMwPDDalxYP9zI7Zw9g0fQ&hl=fr&sa=X&ei=N34FUJ6pEKLDOOxe-3UBw&ved=0CGEQ6AEwBzgK#v=snippet&q=lactation&f=false>

### F

Faculté de Pharmacie de l'Université Laval (page consultée le 30/05/2012). Lactation. [http://www.pha.ulaval.ca/webdav/site/pharm/shared/formation/documents/cours\\_en\\_ligne/pharm-20022/pharm-20022\\_lactation.pdf](http://www.pha.ulaval.ca/webdav/site/pharm/shared/formation/documents/cours_en_ligne/pharm-20022/pharm-20022_lactation.pdf)

FAO (1998 - page consultée le 05/04/2012). Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. [http://www.fao.org/index\\_en.htm](http://www.fao.org/index_en.htm) ; <http://www.fao.org/docrep/T4280F/T4280F00.htm>

Froment (2007 - page consultée le 30/05/2012 ; 16-17/07/2012). Note d'état corporel et reproduction chez la vache laitière. <http://theses.afforl.fr/telecharger.php?id=900>

FRITZ et al. (2008 - page consultée le 24/08/2012). Utilisation des résultats de cartographie fine de QTL en sélection chez les bovins laitiers. [http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCwQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.journees3r.fr%2FIMG%2Fpdf%2F2008\\_14\\_omiques\\_03\\_Fritz.pdf&ei=mBc7Ulvg6Goe20QX99YCwBQ&usg=AFQjCNH5bQDAy0KwKj7ZR9fcIUU7DMn2mw&sig2=7-zZXhzjbda9x2ZVqmDA](http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCwQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.journees3r.fr%2FIMG%2Fpdf%2F2008_14_omiques_03_Fritz.pdf&ei=mBc7Ulvg6Goe20QX99YCwBQ&usg=AFQjCNH5bQDAy0KwKj7ZR9fcIUU7DMn2mw&sig2=7-zZXhzjbda9x2ZVqmDA)

### G

Guérin et Guérin-Faublée (page consultée le 15/06/2012). Les mammilles de la vache laitière. <http://www.scribd.com/doc/54197359/Mammites-vache-laitiere-15-10-07>

Guimaraes et Woodford (2005 - page consultée le 19-20/03/2012 ; 29/03/2012 ; 30/04/2012 ; 05/07/2012). Searching for Productivity Gains through 'Once-a-Day' Milking on New Zealand's Pastoral Dairy Farms. [http://www.lincoln.ac.nz/Documents/2225\\_Keith\\_Searching\\_s6146.pdf](http://www.lincoln.ac.nz/Documents/2225_Keith_Searching_s6146.pdf)

Grisard et al. (2003 - page consultée le 10/08/2012). Genetic and functional confirmation of the causality of the DGAT1 K232A quantitative trait nucleotide in affecting milk yield and composition. <http://www.pnas.org/content/101/8/2398.abstract>

Groeneveld et al. (2010 - page consultée le 08/07/2012). VCE User's Guide and Reference Manual. Version 6.0. <http://ftp.liv.fai.de/pub/vce6/doc/vce6-manual-3.1-A4.pdf>

### H

Hanzen (2009 - page consultée le 02/04/2012). Physiologie de la glande mammaire et du trayon de la vache laitière. [http://www.therioruminant.ulg.ac.be/notes/200809/R20\\_Guide\\_mamm\\_production\\_2009\\_PWP.pdf](http://www.therioruminant.ulg.ac.be/notes/200809/R20_Guide_mamm_production_2009_PWP.pdf)

Heuchel et al. (2003 - page consultée le 15/03/2012 ; le 17/07/2012). Lipolyse du lait de vache et qualité organoleptique des produits laitiers. [http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/qualite\\_05\\_Heuchel.pdf](http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/qualite_05_Heuchel.pdf)

## L. HEUVELINE : mémoire de fin d'études

Idele (pages consultées le 14/03/2012 ; le 27/06/2012). Idele <http://www.idele.fr/> ; <http://www.inst-elevage.asso.fr/>

INRA (page consulté le 01/03/2012). INRA <http://www.inra.fr/> ; <http://ist.inra.fr/plateformes/index.htm> ; <http://germinal.toulouse.inra.fr/> ; [https://intranet4.toulouse.inra.fr/intranet\\_toulouse](https://intranet4.toulouse.inra.fr/intranet_toulouse)

Institut de Statistique (page consultée le 06/07/2012). Programmes exemples SAS/STAT [http://www.stat.ucl.ac.be/SMCS/serveur/SAS/samples/stat/samp\\_stat.htm](http://www.stat.ucl.ac.be/SMCS/serveur/SAS/samples/stat/samp_stat.htm)

### L

La Chesnais (2011 - page consultée le 21/08/2012). Les céréales et le café repartent à la hausse. <http://www.lefigaro.fr/matières-premières/2011/12/29/04012-20111229ARTFIG00403-les-céréales-agricoles-repartent-à-la-hausse.php>

La Normande (page consultée le 16/08/2012) ses atouts. [http://www.lanormande.com/web/les\\_qualites\\_et\\_performances\\_de\\_la\\_race\\_normande\\_production\\_de\\_lait\\_violence\\_fonctionnels\\_resultats\\_economiques.html](http://www.lanormande.com/web/les_qualites_et_performances_de_la_race_normande_production_de_lait_violence_fonctionnels_resultats_economiques.html)

Larousse (page consultée le 02/03/2012). Des dictionnaires et une encyclopédie gratuite. <http://www.larousse.fr/>

Larroque et al. (2004 - page consultée le 04/04/2012). La détection des QTL chez les bovins laitiers, premiers résultats de l'expérience réalisée sur le domaine expérimental animal du Pin-au-Haras. [http://www.prairiales-normandie.com/iso\\_album/z\\_pin04\\_5.pdf](http://www.prairiales-normandie.com/iso_album/z_pin04_5.pdf)

Larroque et al. (2007 - page consultée le 16/08/2012). Détection de QTL influençant l'aptitude à la transformation fromagère des laits dans un croisement Holstein Normande. [http://www.journées3r.fr/IMG/pdf/2007\\_03\\_Genétique\\_04\\_Larroque.pdf](http://www.journées3r.fr/IMG/pdf/2007_03_Genétique_04_Larroque.pdf)

Leclerc (2006 - page consultée le 02/07/2012). Lactation yields and accuracies computed from Test Day yields and (co)variances by Best Prediction. <http://www-sqaa.ijouy.inra.fr/IMG/pdf/SeminaireBiblioHel.pdf>

Legifrance (1997 (Version consolidée 2003) - page consultée le 15/06/2012). Décret n°97-1319 du 30 décembre 1997 relatif aux modalités de paiement du lait de vache en fonction de sa composition et de sa qualité NOR: AGRP9602090D Version consolidée au 06 septembre 2003. <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000387548>

LIC (page consultée le 22-23/03/2012, 25/04/2012 ; 04/07/2012). LIC. <http://www.lic.co.nz/> ; THE ESSENTIAL ONCE-A-DAY HANDBOOK. [http://www.lic.co.nz/pdf/oad\\_booklet.pdf](http://www.lic.co.nz/pdf/oad_booklet.pdf)

### M

Malo (1999 - page consultée le 14/09/2012) <http://www.dms.umontreal.ca/~stat/Logiciels/sas/mini-guide/SAS.html>

McPherson et al. (2007 - page consultée 21-22-23/03/2012 ; 25-26/04/2012 ; 05/07/2012). The Genetic Improvement of Cows forOnce-a-Day (OAD) Milking. <http://www.dairynz.co.nz/fileid/27391>

Meyer (2007 - page consultée le 09/07/2012). WOMBAT—A tool for mixed model analyses in quantitative genetics by restricted maximum likelihood (REML)\*. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2064953/>

Michaud et al. (2007 - page consulté le 15/03/2012). Quelle utilisation de la monotraite dans les élevages bovins laitiers en Bretagne ? [http://www.journées3r.fr/IMG/pdf/2007\\_10\\_systemes\\_12\\_Michaud.pdf](http://www.journées3r.fr/IMG/pdf/2007_10_systemes_12_Michaud.pdf)

Mukherjee et al. (2011 - page consultée le 20/07/2012). Online Veterinary Journal : Feed Back Inhibition of Lactation: An Autocrine Regulator of Milk Secretion. <http://vetscan.co.in/V6n2/66-Feed-Back-Inhibition-of-Lactation-an-Autocrine-Regulator-of-Milk-Secretion.htm>

### O

O'Brien (2008 - page consultée le 17/08/2012). Research Report 2008 MOOREPARK DAIRY PRODUCTION RESEARCH CENTRE : Comparison of whole lactation twice-a-day milking with part lactation once-a-day milking at different stages of lactation. <http://www.agresearch.teagasc.ie/moorepark/Publications/pdfs/Research%20Report%202008.pdf>

### P

Phyn et al. (2008 - page consultée le 09/03/2012 ; 15/13/2012 ; 05/07/2012). Using once-a-day milking in early to mid-lactation - DairyNZ Animals Research Team. <http://www.dairynz.co.nz/fileid/33265>

Pomiès (2010 - page consultée le 02/07/2012). La traite une seule fois par jour. [http://www.interreg-aocfromages.org/fileadmin/Documents/Action\\_2/10\\_EXP\\_00R\\_Presentation\\_09.11.2010.pdf](http://www.interreg-aocfromages.org/fileadmin/Documents/Action_2/10_EXP_00R_Presentation_09.11.2010.pdf)

Pomiès et al. (2004 - page consultée le 07/03/2012 ; 03/07/2012). Performances des vaches laitières et qualité du lait lors de la monotraite et après retour à 2 traitements par jour, en fonction de la durée de cette pratique et du stade de lactation des animaux. [http://journées3r.fr/IMG/pdf/2004\\_itinéraire\\_04\\_Pomies.pdf](http://journées3r.fr/IMG/pdf/2004_itinéraire_04_Pomies.pdf)

Portier et al. (2006 - page consultée le 08/03/2012 ; 02/05/2012 ; 09/05/2012 ; 05/07/2012). Essais Vaches laitières à Trévarez : TRAIRE UNE FOIS PAR JOUR TOUTE L'ANNÉE - Un revenu équivalent à certaines conditions. [http://www.bretagne.synaqri.com/ca1/PJ\\_nsf/TECHPJPARCLEF/07386/\\$File/Traire%20une%20fois%20par%20jour%20toute%201%27ann%C3%A9e.pdf?OpenElement](http://www.bretagne.synaqri.com/ca1/PJ_nsf/TECHPJPARCLEF/07386/$File/Traire%20une%20fois%20par%20jour%20toute%201%27ann%C3%A9e.pdf?OpenElement)

Prim'Holstein France – L'association française des éleveurs de Prim'Holstein (page consultée le 16/07/2012). Présentation. <http://primholstein.com/la-prim-holstein/présentation-primholstein/>

Psalmon (2005 - page consultée le 03/07/2012). Le prix du lait en France [http://www.inst-elevage.asso.fr/IMG/pdf\\_D\\_346.pdf](http://www.inst-elevage.asso.fr/IMG/pdf_D_346.pdf)

### U

Université Lyon (page consultée le 06/07/2012). Les approches de classification. <http://www710.univ-lyon1.fr/~elghazel/Cours/ADM/TP2-ADM.pdf>

### R

Rémond et al. (2004 - page consultée le 04/07/2012). Once-a-day milking of multiparous Holstein cows throughout the entire lactation: milk yield and composition, and nutritional status. [http://animres.edpsciences.org/index.php?option=com\\_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/animres/ref/2004/03/Z203274/Z203274.html](http://animres.edpsciences.org/index.php?option=com_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/animres/ref/2004/03/Z203274/Z203274.html)

Rémond et al. (2005 - page consultée le 16/08/2012). Effet de la monotraite des vaches laitières sur leur production, selon le niveau de distribution d'aliments concentrés. [http://www.journées3r.fr/IMG/pdf/2005\\_alimentation\\_conduite\\_04\\_remond.pdf](http://www.journées3r.fr/IMG/pdf/2005_alimentation_conduite_04_remond.pdf)

Rihet (2004 - page consultée le 14/03/2012 ; le 16-17/07/2012). Glossaire. <http://biologie.univ-mrs.fr/upload/p93/glossaire.pdf>

Rubin et al. (2005 - page consultée le 02/07/2012). Robot de traite, monotraite, embauche d'un salarié : impacts sur le fonctionnement et les résultats d'exploitations laitières des Pays de la Loire. [http://78.155.145.72/html/html1/IMG/pdf/B\\_Rubin.pdf](http://78.155.145.72/html/html1/IMG/pdf/B_Rubin.pdf)

Verrier et al. (2001 - page consultée le 15/09/2012). <http://www.agroparistech.fr/svs/genere/uvf/GQ/GQ3/GQ3.pdf>

## W

Wilde et al. (1995 - page consultée le 14/03/2012 ; 20/07/2012). Autocrine regulation of milk secretion by a protein in milk. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1136428/>

Wimmer (page consultée le 02/07/2012 ; le 17/07/2012). Socle de connaissances théoriques : La génétique d'un caractère quantitatif. <http://master-zoot.sve.univ-rennes1.fr/index.php?page=contenu/cours/inzoo/selec/selbaz.htm>

## Conférences & congrès

### B

Bariillet, F., Ducrocq, V., Barbat, A., Bonaiti, B., Colleau, J. J., Druet, T., et al. (2006). Amélioration génétique des caractères de production laitière et des caractères fonctionnels relatifs à la mamelle des ruminants laitiers : historique et perspectives. Paper presented at the 6ème Journée de l'animation transversale "Glande mammaire, lait", Jouy-en Josas, Paris, France, 9 novembre 2006.

### C

Colleau, J. J., Barbat, A., Boichard, D., Bonaiti, B., Briand, M., Druet, T., et al. (2004). Selecting the Holstein breed for functional traits in France. Paper presented at the 11th World Holstein Friesian Conference, Paris, France, 27 Février - 2 Mars 2004, Session 4 - Breeding Objectives, 17-34.

### F

Faucon, F., Rebours, E., Robert-Granié, C., Bernard, L., Menard, O., Miranda, G., et al. (2009). DGAT1 K232A polymorphism greatly affects mammary gland activity of milk component synthesis. Paper presented at the International Milk Genomics Consortium(IMGC), Paris, France, 28-30 Septembre 2009, Poster, 1 page.

### L

Larroque, H., Rupp, R., Moureaux, S., Boichard, D., & Ducrocq, V. (1999). Genetic parameters for type and functional traits in the French Holstein breed. Paper presented at the Final International Workshop on Genetic Improvement of Functional Traits in Cattle Breeding Goals and Selection Schemes, Wageningen, The Netherlands, 7-9 novembre 1999, 6 p.

Larroque, et al. (2002). A crossbreed experiment to detect quantitative trait loci in dairy cattle. 7th World Congress on Genetic Applied to Livestock Production, Montpellier, 19-23 août 2002, pp. 219-222

Larroque, H., Gallard, Y., Thaumat, L., Boichard, D., & Colleau, J. J. (2002). A crossbreeding experiment to detect quantitative trait loci in dairy cattle. Proceedings of the 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Montpellier, France, August, 2002. Session 1 2002 pp. 1-4.

### M

Mocquot, J. C., & Guillimin, P. (1975). Effects of different milking frequencies on milk yield in goats. 1<sup>ères</sup> journées de la recherche ovine et caprine, 2-3 et 4 décembre 1975. Tome 1: Espèce caprine., 108.

Mocquot, J. C., & France, I. T. d. I. E. O. e. C. S. (1979). Effects of regular and irregular omission of one milking on milk production from goats. 2<sup>eme</sup> Symposium international sur la traite mécanique des petits ruminants., 175-201.

Morris, C. A., Spelman, R. J., Henderson, H. V., Cullen, N. G., Hyndman, D. L., Miller, F. M., et al. (2008). Testing for quantitative trait loci for lactation persistency in dairy cattle. [article; Conference paper]. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production, 68, 107-110.

## Rapports de stages

### K

Kermeur, E. (2005). 3 semaines de monotraite en vache laitière : étude de paramètres zootechniques (quantitatifs et qualitatifs) et physiologiques (perméabilité de l'épithélium mammaire). ESA, Angers, 29 p.

**Partie**

## ANNEXES



*Mamelle de vache  
laitière en lactation.  
Les loges,  
photographie  
Bancelle, 2012, J.  
Heuveline  
(autorisation orale  
seulement pour droit  
d'utilisation)*

## Annexe I : Conséquences physiologiques : la réponse à la monotraite fait intervenir une multitude de mécanismes en interaction.

L'étude des modifications de concentrations des composés du lait et du sang est utilisée pour d'appréhender la réponse physiologique de l'animal à la monotraite. L'accumulation de lait dans la mamelle avec l'allongement de l'intervalle entre traites exerce une pression sur les cellules épithéliales ce qui, à termes, entraîne une perte d'étanchéité entre le lait et le sang (Stelwagen et al., 1994). Cette altération de l'épithélium représente la 1<sup>ère</sup> réponse des animaux face à cette perturbation que peut représenter la monotraite.

L'altération des jonctions serrées modifie la composition du lait et du sang (exemples : afflux de protéines sériques dans le lait (Bovine Serum Albumine : BSA) ; afflux de lactose vers le compartiment sanguin). Par rapport aux protéines sériques, la monotraite a pour effet d'augmenter la BSA (Bernier-Dodier et al., 2010) ; après le retour en traite bi-quotidienne, la BSA reste accrue selon Stelwagen et Lacy-Hulbert (1996). En 2008, Stelwagen et al. indiquent que la qualité du lait au travers la BSA et l'activité des enzymes protéolytiques a été affectée après un intervalle de traite de 18h ; avec en parallèle, une perméabilité accrue des jonctions serrées. Par ailleurs, la *lactosémie* après environ 16H d'intervalle de traites est plus importante chez les animaux conduits en monotraite (Delamaire et Guinard-Flament, 2005).

La capacité de la glande mammaire à sécréter du lait dépend du nombre et à l'activité des cellules mammaires (Shorten et al., 2002 ; Boutinaud et al., 2004 ; Davis, 2005).

La monotraite favorisera la perte de capacité à produire du lait par une baisse du nombre de cellules sécrétrices par *apoptose* (Carruthers et al., 2003). Ceci se traduit par une expression accrue de gènes impliqués dans le phénomène de mort cellulaire renvoyant à la notion d'involution mammaire (Shorten et al., 2002 ; Boutinaud et al., 2008).

A ce sujet, une étude de Littlejohn et al. (2010) s'intéresse aux effets de la réduction des fréquences de traites sur l'expression des gènes dans la glande mammaire chez les bovins croisés Holstein-Frisonne x Jersey (12 vaches). Dans cette étude, les auteurs indiquent que pour les animaux passés en monotraite, il en résulte une expression différente des gènes (21 495 transcrits uniques) associés à l'*apoptose* ainsi qu'à la synthèse des jonctions serrées et à la synthèse de lait régulée à la baisse. D'après Boutinaud et al., (2008), 487 transcrits sont différemment et significativement exprimés entre les 2 fréquences de traites. Parmi les gènes connus, ces derniers interviendraient dans le métabolisme lipidique, les transports moléculaires ainsi que la mort et les mouvements cellulaires. Bernier-Dodier et al. (2010) indique aussi des modifications au niveau l'expression génique, de la sensibilité hormonale à la suite d'une diminution du rythme de traite. La monotraite engendre également des transformations métaboliques du tissu sécrétoire mammaire, comme la réduction d'*acétyl-Coenzyme A carboxylase* (Davis et al., 1999).

En termes d'adaptation physiologique de l'animal, Wilde et al. (1995) a mis en évidence, à partir de lait de chèvre, le FIL (Feedback Inhibitor of Lactation). Mukkerjee et al., 2011 précise que cette protéine serait secrétée vectoriellement avec d'autres protéines du lait et que le contrôle local de la sécrétion pourrait être due à des actions de cet inhibiteur.

Ainsi, la baisse de production induite par la monotraite fait intervenir des mécanismes physiologiques distincts : la baisse de l'activité métabolique et diminution de la capacité fonctionnelle de l'organe mammaire. Au niveau de la morphologie de la mamelle, les pertes les plus conséquentes seraient associées à une moindre capacité des animaux à accumuler plus de 24H les sécrétions lactées (Davis et al., 1999). Par ailleurs, plus la citerne se remplit de façon précoce c'est-à-dire, plus l'écoulement alvéolaire est important, plus les pertes seront importantes. Les quantités de lait accumulées dans la citerne (8H) sont corrélées positivement aux pertes induites par l'allongement de l'intervalle entre traites (Knight et Dewhurst, 1994 ; Stelwagen et Knight, 1997). La taille des glandes mammaires chez les vaches en monotraite est inférieure à celle des animaux en bitraite : -7, -34% (Stelwagen, 2001). Ainsi, une importante capacité alvéolaire associée à une grande réserve cernale minimiserait les pertes de lait (baisse de la pression hydrostatique sur les alvéoles) (Davis et al., 1999).

## Annexe II : Un dispositif expérimental basé sur le croisement entre race Holstein X Normande.

Les différences observées sur le plan zootechnique entre races Normande et Holstein laissent supposer qu'il existe, dans chacune de ces races, des régions chromosomiques gouvernant des caractères quantitatifs avec des allèles plus ou moins favorables permettant d'expliquer ces différences (INRA, 2012). Le principe de la génétique moléculaire considère en effet, non pas les gènes responsables, mais certains gènes ou groupes de gènes situés dans des régions chromosomiques repérées grâce à des marqueurs moléculaires (Colleau, 2004). Ce sont les QTL. La sélection qui se base sur la détection des QTL correspond à la SAM (Sélection Assistée par Marqueurs).

Le protocole de détection de QTL dans le dispositif du Pin est basé sur un croisement entre ces 2 races (Larroque et al., 2004). L'essai repose sur la construction de grandes familles pour permettre une analyse intra-famille. En croisant les reproducteurs F1 entre eux, l'objectif est de maximiser le phénomène d'hétérozygotie<sup>14</sup> et de créer de la variabilité génétique. A terme, l'objectif est de confronter *phénotypes* et *génotypes*, afin de repérer des groupes de gènes influençant l'expression des performances. Avec ce type de croisement et par un brassage génétique important, les animaux de 2<sup>ème</sup> génération, F2, présentent de variabilités inter-individuelles. En cas de «situation idéale», les *homozygotes* forts (25%) auraient des performances élevées, les faibles (25%), des performances inférieures et les *hétérozygotes* (50%) indiqueraient des performances intermédiaires. Ce programme est tout particulièrement intéressant vis-à-vis des caractères difficilement mesurables en élevages commerciaux (Larroque et al., 2003).

### 1. Le dispositif expérimental de l'INRA du Pin

En 1993, le choix des individus de lignées pures F0 s'est basé sur 10 mâles (5 Normands, 5 Holstein) (Larroque et al., 2004). La semence des taureaux provenant de différents centres d'inséminations français a été prise en charge par la Coopérative d'Insémination Artificielle de l'Aigle (Orne). En ce qui concerne les femelles, la sélection s'est arrêtée sur 13 vaches Normandes et 11 Holstein – les plus éloignées génétiquement possible des mâles retenus (apparemment le plus faible possible). Les mâles F0 ont été accouplés avec 2 à 4 femelles (Larroque et al., 2002-2004), ceci afin de constituer des familles à forts effectifs.

A la génération suivante, 10 mâles et 70 femelles F1 ont été retenus pour la suite du protocole (Larroque et al., 2003). Un mâle F1 a été gardé par père F0. Quant aux femelles, elles ont été choisies sur leur aptitude à la super-ovuler et ont été accouplées en fonction de leur origine afin de constituer des familles homogènes (les sœurs ont été accouplées aux mêmes mâles). A noter que la capacité des vaches à répondre au traitement de super-ovulation a été appréhendée de façon empirique : si après 2 traitements hormonaux les résultats n'étaient pas concluants, la vache n'était pas gardée comme femelle-donneuse d'embryons. Les individus F1 ont été accouplés entre eux dans l'objectif d'obtenir 862 descendantes (F2) (Lefebvre, *non publié*).

Ainsi entre 1997-2003, 691 femelles F2 sont nées à la station du Pin, ce qui représente en termes de familles, des groupes de 3 à 21 pleines-sœurs F2 (10 en moyenne) et 49 à 89 petites filles par taureau F0 (Larroque et al., 2003 ; 2004). L'expérimentation a été complétée par une 3<sup>ème</sup> génération (F3). Ainsi, les mêmes mâles F1 ont été accouplés à 49 femelles F2 pour procréer 324 F3 (Lefebvre, *non publié*).

Pour parvenir rapidement aux objectifs, la *Transplantation embryonnaire* (TE) a été systématiquement utilisée ainsi que le sexage d'une partie des embryons. Un tiers des embryons a été transféré frais, un tiers a été sexé et le dernier tiers a été congelé. Avec un important «turnover», la capacité annuelle de la station est d'environ 220 vêlages et de 120 1<sup>ères</sup> lactations (Larroque et al., 2004 ; Lefebvre, *non publié*).

<sup>14</sup> Voir Hétérozygote.

### Annexe III : Conduite des animaux expérimentaux.

Tous les mâles sont vendus le plus tôt possible, c'est-à-dire autour de 10-15 j selon l'état sanitaire des animaux (absence de diarrhées, etc.). Concernant les femelles, elles sont toutes élevées. La conduite alimentaire est identique de la naissance jusqu'à la mise à l'herbe. Au niveau du protocole, ce point permet d'éviter de créer des biais dès la période juvénile des femelles.

#### 1. Conduite de la naissance à la mise à l'herbe : pas de différence jusqu'à l'entrée au pâturage

A la naissance, les veaux sont placés en cases individuelles durant les 15 premiers jours de vie. Cette mesure permet de minimiser les problèmes dus au microbisme et d'avoir un meilleur suivi des veaux au niveau individuel (buvée, problèmes sanitaires, digestifion, etc.). Durant cette période, les animaux sont allaités au seau avec du lait entier. Puis et jusqu'au sevrage, les femelles passent en cases collectives et sont alimentés au DAL (Distributeur Automatique de Lait) avec du lait doux. Le sevrage a lieu à J 84.

De 0 à 14 j :

- Lait uniquement (6 kg/j, 2 repas/j)

Ration journalière, de 15 j au sevrage (84 j) :

- Lait (8 kg au maximum)
- Foin
- Concentré (1,5 kg maximum au sevrage)

Ration journalière, du sevrage à la mise à l'herbe :

- Ensilage de maïs (2 kg de MS)
- Tourteau de soja (0,2 kg de MS)
- Foin (à volonté)
- Concentré (1 kg de MS)

En termes de GMQ (Gain Moyen Quotidien), les objectifs sont les mêmes pour l'ensemble des veaux.

La période annuelle de vêlage est groupée. Ainsi, les 220 à 250 mises bas ont lieu entre la fin de l'été (août) et la fin de l'hiver (février, mars). Avec des objectifs différents en matière de croissance, les génisses sont conduites en deux lots distincts :

- 1<sup>er</sup> groupe : vêlage à 24 mois (<900j)
- 2<sup>ème</sup> groupe : vêlage à 30-36 mois (≥900j).

Les animaux du 2<sup>nd</sup> lot sont généralement les femelles nées tardivement dans le périodes de vêlage. Les individus pesant 200 kg et plus à la fin mai sortent au pâturage durant leur 1<sup>ère</sup> année. Quelques génisses peuvent être nées tardivement dans la saison et atteindre le poids souhaité, elles seront conduites en vêlage 24 mois. Les génisses sortant à l'herbe au cours de leur 2<sup>ème</sup> année constituent le lot « vêlage 30-36 mois ».

#### 2. Conduite des génisses destinées à un vêlage 24 mois : objectif de croissance élevée

Pour ce groupe, l'objectif de croissance est d'atteindre un GMQ de 750-800 g/j. La mise à l'herbe s'effectue entre fin-mai et début-juin selon les conditions pédoclimatiques. Elle a lieu après une 1<sup>ère</sup> fauche et la récolte du 1<sup>er</sup> cycle de végétation. Les animaux disposent donc d'une herbe jeune et de qualité (2<sup>ème</sup> cycle d'exploitation). De plus au niveau parasitaire, les pâtures n'ont normalement pas été préalablement contaminées par le passage d'animaux plus âgés susceptibles d'être infectés. Le chargement au pâturage est de 7-8 génisses/ha d'herbe. En période estivale, quand l'herbe se fait plus rare et pour atteindre les objectifs de croissance définis, les animaux sont complémentés en stabulation par une ration distribuée quotidiennement :

- Ensilage de maïs (2 kg de MS)
- Foin (1 kg de MS)
- Concentrés (selon la quantité et la qualité de l'herbe disponible).

En saison hivernale, les génisses rentrent en bâtiment. A cette période, l'alimentation est composée d'ensilage d'herbe de bonne qualité et de pulpe de betterave. La pulpe est incorporée directement au silo d'herbe au moment de la récolte à hauteur de 4 à 6% si le

taux de matière sèche est inférieur à 25%. Sinon, elle est rajoutée dans la ration distribuée. A la sortie de l'hiver, les génisses disposent uniquement d'herbe. Elles sont conduites en pâturage tournant jusqu'au vêlage.

### **3. Conduite des génisses destinées à un vêlage 30-36 mois : vers des croissances plus modérées**

L'objectif de croissance est inférieur à celui du groupe précédent et est fixé aux alentours de 500-600 g/j.

Jusqu'à 9 mois, l'alimentation est identique à celle des animaux vêlant à 2 ans. A l'hiver suivant, les animaux sont en bâtiment. La ration est modifiée :

- Ensilage d'herbe (à volonté)
- Complément de pulpe de betterave (6%, si elle n'a pas été incorporée à l'ensilage au moment de la récolte)

A l'herbe, l'objectif est maintenu à 500-600 g/j. Il faut ainsi un suivi étroit du pâturage, surtout que les génisses vont pâturées tout l'été.

Au 2<sup>nd</sup> hiver, le régime alimentaire diffère peu. Seule la quantité de foin passe à 2 voire 3 kg de MS de foin/j. A cette période, la croissance est réduite : 400-500 g/j. Pour ne pas nuire au vêlage et à la production, l'équipe évite un état d'engrassement excessif et module le GMQ. Au début de l'hiver, le GMQ est de 600-400 g/j et de 300-350 g/j à la fin de la saison.

Les GMQ sont des objectifs. En pratique, il peut y avoir des variations individuelles. Même si le protocole alimentaire ne varie pas, la qualité des fourrages diffère d'une année à l'autre et au cours d'une même année, d'une saison à l'autre (notamment à l'herbe). De plus, chaque animal ne réagit pas de façon identique à une même ration. La génétique peut expliquer en partie ces variations.

### **4. Conduite des vaches en production : un rationnement ajusté en fonction des performances**

La ration hivernale journalière est composée de :

- Ensilage de maïs (ad libitum)
- Ensilage d'herbe avec pulpe déshydratée (5 kg MS)
- Tourteau de soja<sub>48</sub> pour l'équilibre azoté (1,5 kg de MS)
- Minéraux (0,2 kg de MS)
- Concentré de production à raison de 1 kg pour 2,5 kg de lait produit au-delà de :
  - ∅ 17 kg pour les vêlages 24 mois
  - ∅ 19 kg pour les vêlages 30-36 mois.

En période estivale, les vaches sont au pâturage tournant avec un apport à l'auge :

- Ensilage de maïs (3 kg de MS)
- Tourteau de soja (0,3 kg de MS)
- Concentré de production pour les vaches produisant :
  - ∅ + de 19 kg de lait pour les vêlages 24 mois
  - ∅ + de 21 kg pour les vêlages 30-36 mois.

Les animaux reçoivent individuellement les aliments concentrés au niveau du DAC (Distributeur Automatique de Concentrés). Les DAC sont tarés de façon régulière afin de contrôler les quantités réellement distribuées. Le concentré de production reste de même composition. Des analyses sont d'ailleurs effectuées à la livraison des aliments pour s'en assurer. Ces précautions permettent de minimiser les biais potentiellement induits par l'alimentation. La ration de base est quant à elle distribuée à l'aide d'une dessileuse peseuse automotrice de marque RMH®. Le taux de refus est considéré à moins de 2%.

**5. Conditions de logement : la période en bâtiment limitée à la saison hivernale**

En été, les animaux restent en permanence au pâturage. Ils rentrent uniquement pour la traite et pour la distribution de la ration (maïs+concentrés). Les animaux n'ont pas accès à la zone de couchage. Celle-ci est désinfectée durant l'été.

Selon les conditions pédoclimatiques, la période en bâtiment s'étend généralement de mi-octobre à mi-avril. Les animaux sont en stabulation libre. 5 à 6 m<sup>2</sup> de surface d'aire paillée sont disponibles/VL pour 8 à 10 kg de paille/j. L'aire d'exercice et d'alimentation (3 à 4 m<sup>2</sup>/VL) est nettoyée 3 fois/j par un racleur automatique. Le couloir d'alimentation est couvert. La ration, quant à elle, est distribuée dans des auges en béton avec cornadis.

## Annexe IV : Formulaire.

### 1. Exemple : Variable de production laitière (PL)

$PL_{J1}$  : Production Laitière à J1 (traite du matin)

$PL_{2J1}$  : Production Laitière à J1 pour le 2<sup>nd</sup> passage en monotraite (traite du matin)

$$Laitpreexp = \frac{(PLJ-7)+(PLJ-6)+(PLJ-5)+(PLJ-4)+(PLJ-3)+(PLJ-2)+(PLJ-1)}{7}$$

$$Laitmono = \frac{(PLJ1)+(PLJ2)+\dots+(PLJ20)}{20}$$

$$Laitmono2 = \frac{(PL2J1)+(PL2J2)+\dots+(PL2J14)}{14}$$

$$Laitpostexp = \frac{(PLJ28)+(PLJ29)+(PLJ30)+(PLJ31)+(PLJ32)+(PLJ33)+(PLJ34)}{7}$$

$$Lait2postexp = \frac{(PL2J21)+(PL2J22)+(PL2J23)+(PL2J24)+(PL2J25)+(PL2J26)+(PL2J27)}{7}$$

$$laitBIMONO = laitmono - laitpreexp$$

$$laitMONOBI = laitpostexp - laitmono$$

$$plaitBIMONO = \frac{laitmono - laitpreexp}{laitpreexp} \times 100$$

$$plaitMONOBI = \frac{laitpostexp - laitmono}{laitmono} \times 100$$

$$tx\_recup = \frac{laitmonobi}{laitbimono} \times 100$$

## Annexe V : Principe de détection de QTL

«Pour un marqueur donné (*M*), le principe est d'observer dans la descendance d'un parent hétérozygote *M1/M2* s'il existe une différence de performance moyenne selon l'allèle marqueur *M1* ou *M2* transmis. L'idée est que, si cette différence existe, elle s'explique par la ségrégation des allèles *Q1* ou *Q2*, en un QTL, génétiquement lié au marqueur» (Le Roy et Elsen, 2000).

Deux loci sont en équilibre de liaison si dans l'ensemble des gamètes de la population considérée et pour tout allèle *M* et *Q* à ces 2 loci la fréquence de l'haplotype<sup>15</sup> *MQ* est égale au produit des fréquences des allèles *M* et *Q*. La transmission des 2 allèles se fait donc de manière indépendante. Cet équilibre est la règle dans une population fermée et de grande taille. Si du déséquilibre de liaison est créé par mutation, migration, sélection ou dérive génétique, il est progressivement détruit par recombinaisons au cours des générations. Dans la recherche de QTL on cherche à exploiter ces déséquilibres de liaison.

Pendant longtemps le nombre de marqueurs génétiques étaient limités et le coût des génotypages élevé, ce qui contrainait les détections de QTL à une approche d'analyse de liaison (LA). Avec un nombre limité de marqueurs par chromosome, l'association entre les marqueurs et le QTL ne pouvait persister qu'intra-famille et pour un nombre limité de générations. Il fallait donc analyser de grandes familles ou bien essayer de créer du déséquilibre comme c'est le cas en croisant de 2 populations différentes (Boichard et al., 1998) - ceci fut le cas du INRA protocole du Pin. Une alternative avec l'arrivée des marqueurs SNP très dense tout au long du génome, a été d'exploiter le déséquilibre de liaison (LD).

*Linkage analysis* (LA) : ne considère que le déséquilibre de liaison qui existe intra-famille, qui peut aller à des dizaines de cM et qui est cassé par recombinaisons après quelques générations.

La cartographie par *Linkage disequilibrium* (LD) a besoin de marqueurs en LD avec un QTL dans toute la population. Pour être la propriété de la population entière, l'association doit avoir persisté pour un nombre considérable de générations, donc les marqueurs et QTL doivent donc être étroitement liés.

<sup>15</sup> Haplotype : groupe d'allèles de différents gènes situés sur un même chromosome.

## Annexe VI : Corrélations avec les paramètres de lactoséries.

### Corrélations entre la lactosémie (LS) et le pourcentage de perte de production au passage en monotraite

	$\Delta PL$ au passage à 1T/j (%) : 1 <sup>er</sup> passage	$\Delta PL$ au passage à 1T/j (%) : 2 <sup>nd</sup> passage
LS pré-expérimental matin	-0,115 (p=0,0478) (n=297)	-0,317 (p=0,0084) (n=68)
Log LS pré-expérimental matin	-0,134 (p=0,0213) (n=297)	-0,299 (p=0,0132) (n=68)
LS pré-expérimental soir	-0,111 (p=0,0566) (n=297)	-0,143 (p=0,2438) (n=68)
Log LS pré-expérimental soir	-0,109 (p=0,0595) (n=297)	-0,099 (p=0,4212) (n=68)
LS J1 matin	0,194 (p=0,0011) (n=277)	0,311 (p=0,0098) (n=68)
Log LS J1 matin	0,220 (p=0,0002) (n=277)	0,38 (p=0,0014) (n=68)
LS J1 soir	0,202 (p=0,0007) (n=277)	0,133 (p=0,2787) (n=68)
Log LS J1 soir	0,19 (p=0,0015) (n=277)	0,176 (p=0,1505) (n=68)

### Corrélations entre la lactosémie (LS) à J1 et le gain de production au retour à la traite biquotidienne ainsi que le taux de récupération : 1<sup>er</sup> passage en monotraite

	Variation PL au retour à 2T/j (kg/j)	Variation PL au retour à 2T/j (%)	Taux de récupération
LS J1 matin (n=276)	-0,207 (p=0,0005)	-0,299 (p<0,0001)	-0,233 (p<0,0001)
Log LS J1 matin (n=276)	-0,27 (p<0,0001)	-0,367 (p<0,0001)	-0,294 (p<0,0001)
LS J1 soir (n=276)	-0,217 (p=0,0003)	-0,278 (p<0,0001)	-0,244 (p<0,0001)
Log LS J1 soir (n=276)	-0,238 (p<0,0001)	-0,308 (p<0,0001)	-0,272 (p<0,0001)
Corrélations entre la lactosémie (LS) à J1 et le gain de production au retour à la traite biquotidienne ainsi que le taux de récupération : 2 <sup>nd</sup> passage en monotraite			
LS J1 matin (n=68)	-0,061 (p=0,6202)	-0,207 (p=0,0905)	0,134 (p=0,2742)
Log LS J1 matin (n=68)	0,124 (p=0,3145)	-0,326 (p=0,0066)	0,035 (p=0,7746)
LS J1 soir (n=68)	0,135 (p=0,2701)	0,003 (p=0,9806)	0,113 (p=0,3599)
Log LS J1 soir (n=68)	0,135 (p=0,2723)	-0,027 (p=0,6283)	0,099 (p=0,4201)

## Annexe VII : Modélisations des effets milieu.

*Rappel : le modèle pour l'estimation des effets milieu se note :*

$$\text{Variable de production} = (\text{Type de vêlage}) + (\text{Campagne/Série}) + \text{Durée Lactation} + \text{Stade lactation}$$

Le seuil de significativité est fixé :  $\alpha=5\%$  ; au-delà, l'effet est considéré NS (Non Significatif).

<b>Modélisation des effets milieu sur les variables de production laitière au cours de l'essai monotraite</b>				
Effets milieu et variables à expliquer	Type de vêlage (2 classes)	Campagne/série (19 classes)	Durée Lactation (covariable, en j)	Stade de lactation au passage en monotraite (covariable, en j)
Variations de Production Laitière au passage en monotraite (kg/j)	*	***	*	*
Perte de production Laitière au passage en monotraite (%)	NS	*	***	NS
Production (kg/j) en monotraite	*	**	*	***
Variations de Production Laitière au retour en bitraite (kg/j)	NS	***	***	NS
Variations de Production Laitière au retour en bitraite (kg/j)	NS	***	**	NS

NS : Non significatif ; \*\*\* :  $p<0,0001$  ; \*\* :  $p<0,01$  ; \* :  $p<0,05$

## Annexe VIII : Détection de QTL

L'annexe regroupe un tableau synthétique des QTL détectés au seuil 5% (au niveau du chromosome) et une représentation graphique pour les QTL se référant aux pertes de lait au passage en monotraite (1T/j) et aux gains lors du retour à 2 la traite biquotidienne (2T/j).

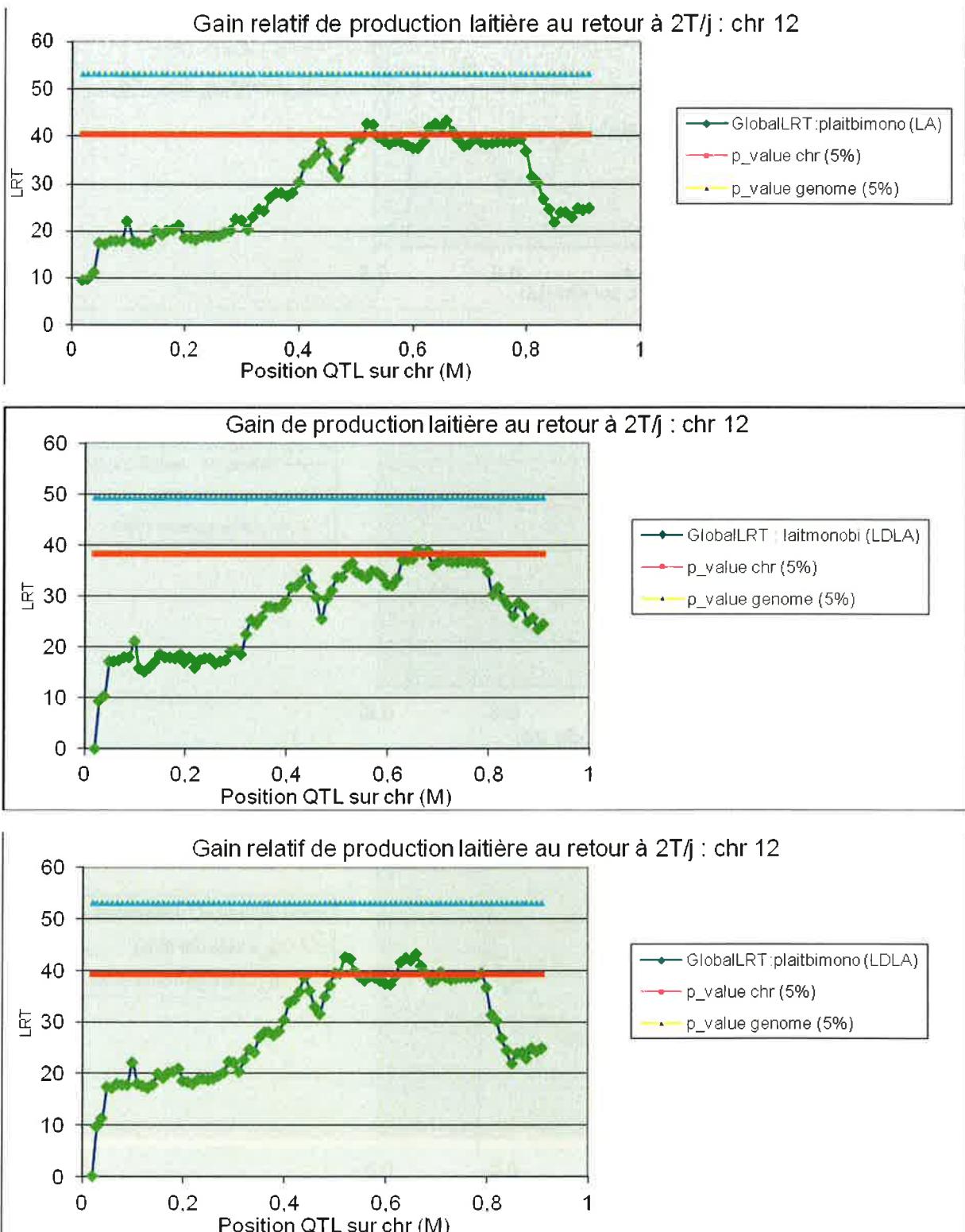
### 1. Les QTL détectés à partir du protocole «monotraite»

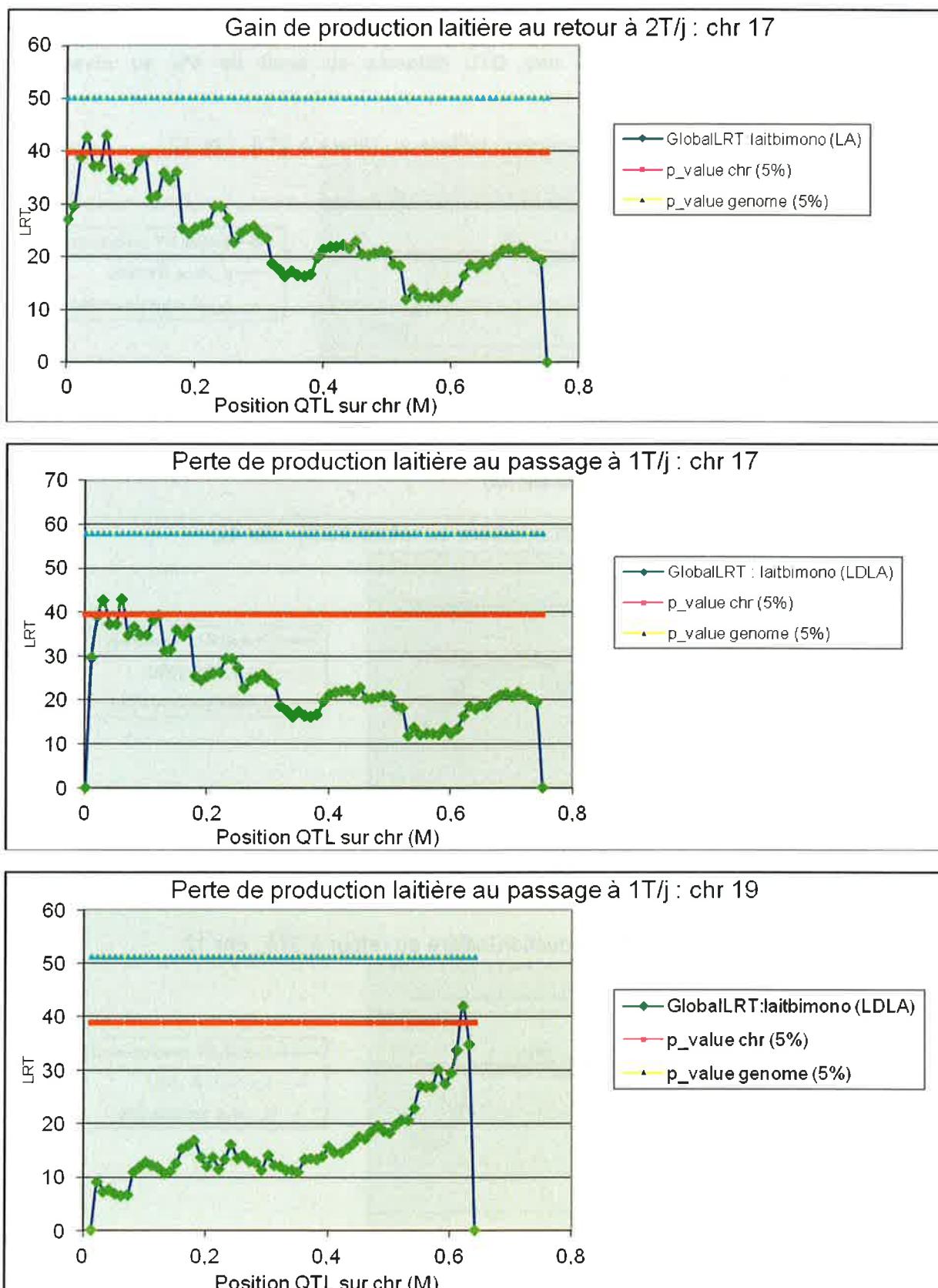
QTL détectés au seuil 5% au niveau du chromosome (F2)			
Caractères	Valeur	Analyse	Chromosomes (M)
PL pré-expé.	kg/j	LA	4 (0,213) ; 18 (0,439)
		LDLA	4 (0,213) ; 14 (0,665) ; 18 (0,439)
PL expé.	kg/j	LA	3 (0,553) ; 12 (0,309) ; 24 (0,036)
		LDLA	3 (0,553) ; 12 (0,309) ; 24 (0,036)
$\Delta$ à 1T/j	kg/j	LA	17 (0,061) ; 22 (0,534)
		LDLA	17 (0,061) ; 19 (0,622) ; 22 (0,534) ; 24 (0,586)
$\Delta$ à 2T/j	kg/j	LDLA	12 (0,629)
		LA	12 (0,659)
TB pré-expé.	kg/j	LA	11 (0,321) ; 12 (0,469) ; 14 (0,025) ; 18 (0,449) ; 19 (0,612) ; 23 (0,434) ; 24 (0,096) ; 27 (0,14) ; 29 (0,346)
		LDLA	6 (0,112) ; 16 (0,678) ; 18 (0,659)
TP pré-expé.	kg/j	LDLA	6 (0,112) ; 12 (0,449) ; 16 (0,678) ; 18 (0,659)
		LA	6 (0,112) ; 16 (0,678) ; 18 (0,659)
$\Delta$ TB à 1T/j	%	LA	13 (0,013) ; 17 (0,681) ; 28 (0,01)
		LDLA	3 (0,693) ; 9 (0,308)
$\Delta$ TP à 1T/j	%	LA	11 (0,9) ; 17 (0,451) ; 21 (0,692)
		LDLA	17 (0,541) ; 19 (0,042) ; 23 (0,224)
Récupération	%	LA	18 (0,639) ; 24 (0,556)
		LDLA	

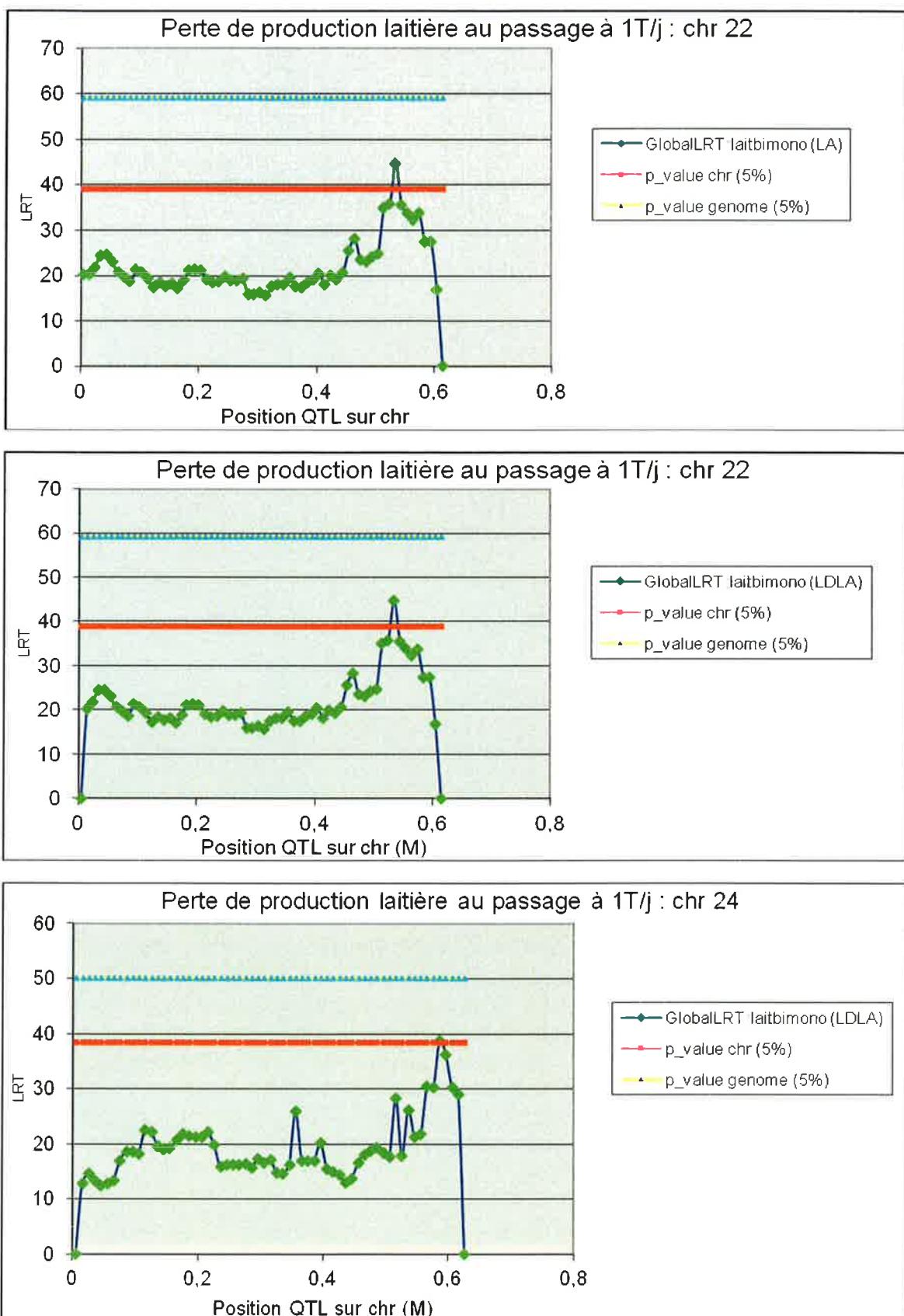
QTL détectés au seuil 5% au niveau du chromosome (F2+F3)			
$\Delta$ à 2T/j	%	LA	6 (0,162) ; 9 (0,308) ; 11 (0,871) ; 12 (0,639) ; 15 (0,024) ; 24 (0,366)
		LDLA	6 (0,162) ; 9 (0,308) ; 11 (0,871) ; 12 (0,639) ; 15 (0,034) ; 24 (0,366) ; 25 (0,101)
$\Delta$ à 1T/j	kg/j	LA	1 (0,121) ; 9 (0,318) ; 17 (0,061) ; 22 (0,534)
		LDLA	1 (0,121) ; 9 (0,318) ; 17 (0,061) ; 19 (0,622) ; 22 (0,534)
$\Delta$ à 2T/j	kg/j	LA	6 (0,182) ; 9 (0,268) ; 11 (0,871) ; 15 (0,154) ; 22 (0,604) ; 24 (0,216) ; 25 (0,161)
		LDLA	1 (0,121) ; 6 (0,162) ; 9 (0,318) ; 11 (0,871) ; 15 (0,124) ; 22 (0,604) ; 24 (0,216) ; 25 (0,161)
Log(LSm <sub>1j</sub> )	mg/L	LA=3	20 (0,472) ; 28 (0,11)
$\Delta$ LS	mg/L	LA=3	10 (0,901)

PL pré-expé : production laitière avant la monotraite (kg/j) ; PL expé : production laitière pendant la monotraite (kg/j) ;  $\Delta$  à 1T/j : variation au passage en monotraite ;  $\Delta$  à 2T/j : variation au retour en traite biquotidienne ; TB : Taux Butyreux (g/kg) ; TP : Taux Protéique (g/kg) ; LS<sub>1j</sub> : Lactose Sanguin (mg/L) au 1<sup>er</sup> jour de monotraite ; LA : Analyse de Liaison ; LDLA : Analyses de Liaison et de Déséquilibre de Liaison

## 2. Représentations graphiques des QTL détectés au seuil de 5% au niveau du chromosome









		Diplôme : MASTER biologie, agronomie, santé. Spécialité : BAPSA (Biologie Appliquée aux Productions et à la Santé Animales). Enseignant référent : Vanessa LOLIVER		
Auteurs : Lydie HEUVELINE Née le 14/03/1989. Nb pages : Annexes : Année de soutenance : 2012	Organisme d'accueil : INRA (Institut National de Recherche Agronomique) – SAGA (Station d'Amélioration Génétique des Animaux). Maître de stage : Hélène LARROQUE			
<b>Titre : Etude de l'adaptabilité et du déterminisme génétique de la réponse à la monotraite chez la vache laitière croisée Holstein x Normande</b> <b>Title: Study of adaptability and genetic determinism of dairy cows Holstein and Normande crossed on OAD (Once a Day Milking).</b>				
<b>Résumé</b>				
Contexte	Avec une conjoncture agricole instable, les éleveurs de bovins lait sont amenés à s'adapter pour pérenniser leur système. Ce nouveau contexte induit la problématique de la robustesse et de l'adaptabilité des animaux. Ainsi, la monotraite (1T/j) peut être considérée comme une pratique permettant d'ajuster les volumes produits et d'appréhender l'adaptabilité de la mamelle à des modifications de rythmes de traite.			
Matériel & Méthodes	368 vaches laitières croisées HolsteinXNormande (F2, F3) en 2 <sup>nd</sup> lactation sont passées en monotraite pendant 3 semaines entre 2003-2011 à la station expérimental INRA du Pin (Orne). En 2010-2011, 68 vaches sont repassées une 2 <sup>nd</sup> fois en monotraite pendant 2 semaines. Les animaux ont été phénotypés (quantité, qualité du lait) tout au long de l'essai et génotypés en 2011 avec une puce 54K. Pour l'analyse statistique le logiciel SAS® a été utilisé. La méthode ACP et le clustering ont permis de caractériser les animaux en fonction de leur profil de pertes et de gains de production laitière (PL). Les logiciels VCE® a permis l'estimation des paramètres génétiques et QTLmap®, la détection de QTL.			
Résultats	<p>En réponse à la monotraite, les vaches ont perdu 28,2% (<math>\pm 7,8</math>) de lait. Par effet de concentration, les taux ont augmenté : 13,5% (<math>\pm 14,2</math>) pour le TB (Taux Butyreux) et 2,6% (<math>\pm 4,2</math>) pour le TP (Taux protéique). Au retour 2T/j, les animaux regagnent 20,5% (<math>\pm 13,1</math>) de lait et le TP continue d'augmenter : 4,3% (<math>\pm 4,3</math>). Plus les vaches ont perdu de lait au passage à la monotraite (en %), plus elles ont regagné au retour à 2T/j (<math>r=-0,542</math>).</p> <p>En termes de phénotypes prédicteurs, Le TB<sub>pré-experimental</sub> est corrélé significativement aux pertes de PL (<math>r=0,237</math> en %). Le TB<sub>Monotraite</sub> est corrélé au taux de récupération (<math>r=0,291</math> en %), en concordance avec la représentation ACP.</p> <p>Au passage à 1T/j, le lactose du lait baisse 4,4% (<math>\pm 3,4</math>) ; en parallèle le lactose sanguin (LS) augmente fortement au 1<sup>er</sup> jour de la monotraite. Plus le LS<sub>J1</sub> est élevé, plus les pertes de PL (%) ont été conséquentes (<math>r=-0,115</math>) et moins les gains ont été importants au retour à 2T/j (<math>r=-0,317</math>), avec néanmoins de grandes variabilités entre les réponses.</p> <p>Dans le cas d'un 2<sup>nd</sup> passage en monotraite (n=68), les variables de pertes et de gains relatifs de PL semblent répétables (respectivement <math>rh\hat{o}=66,4\%</math> et 55,9%) et hérétaires (<math>h^2=0,307 \pm 0,206</math> et <math>0,276 \pm 0,43</math>).</p> <p>La recherche de QTL a permis de retrouver DGAT sur le chromosome 14 influençant le TB. Plusieurs QTL semblent ont été mis en évidence pour les variables d'intérêt au seuil <math>\alpha=5</math> au niveau du chromosome.</p>			
Limites	L'estimation des paramètres génétiques est rendu difficile par les effectifs limités – notamment pour le 2 <sup>nd</sup> passage en monotraite. Pour la détection de QTL, certains effets peuvent s'avérer confondus (effet campagne/père). La reproduction des vaches n'a pas été prise en compte dans l'analyse des résultats.			
Discussion & Perspectives	<p>Les résultats semblent en accord avec la bibliographie.</p> <p>En termes de prolongement, l'analyse des paramètres de cinétique de traite pourrait permettre de confronter les profils d'adaptation avec les caractéristiques d'éjection du lait.</p> <p>L'étude de l'évolution de l'état corporel des animaux et du volet sanitaire (mammites) pourrait également compléter cette étude. La répétabilité a été étudiée intra-lactation ; les résultats du protocole du Pin pourraient être couplés aux essais en cours à l'INRA de Méjusseaume (2009-2013) où les vaches passent en monotraite d'une lactation à l'autre. Il serait ainsi possible de savoir si la mamelle met en place inter-lactation les mêmes mécanismes de réponse face à la monotraite.</p>			
<b>Abstract</b>				
Contexte	With unstable context dairy farmers must adapt their practices to sustain their system. This new context induces the problem of robustness and adaptability of animals. Thus, "Once A Day milking" (OAD) can be considered as a practice to adjust volume production and it is support to study udder adaptability when milking frequencies change.			
Matériel & Méthod	These study concerns 368 dairy cows crossed HolsteinXNormande (F2, F3) in 2 <sup>nd</sup> lactation at experimental Station of Le Pin in department of Orne between 2003-2011. The OAD experimentation lasts 3 weeks. In 2010-2011, 68 dairy cows have been subjected to a 2 <sup>nd</sup> OAD period for 2 weeks. Milk quantity and quality were determined during all time of experimentation and in 2011 animal genotype was determined with 54K puce. SAS® was used for statistical analysis, ACP and clustering method for the characterisation of animal profiles in terms of milk evolution, VCE® for estimation of genetic parameters and QTLmap® for QTL detection.			
Results	<p>Study has demonstrated a decline of milk production : 28.2% (<math>\pm 7.8</math>) and an increase of milk contents because of concentration effect for cows milking OAD : 13.5% (<math>\pm 14.2</math>) for fat and 2.6% (<math>\pm 4.2</math>) for protein. After OAD when dairy cows are milking TAD production increase of 20.5% (<math>\pm 13.1</math>) and proteins continue to increase : 4.3% (<math>\pm 4.3</math>).</p> <p>More milk decrease is higher during OAD time (in %) and more increase is high when animals return at TAD (<math>r=-0.542</math>).</p> <p>The fat can is considered like predictors parameter. In fact, fat before OAD (control week) was significantly correlated with loss of milk (<math>r=0.237</math> in %) and fat during OAD (experimental week) is correlated with recovery rate at TAD (<math>r=0.291</math> in %) like the ACP graph.</p> <p>When cows are milking OAD milk lactose decrease of 4.4% (<math>\pm 3.4</math>) and plasma lactose concentration increase in the first day of the OAD. Even if there is a large variability, more LS at D1 is higher and more milk loss is consequent (<math>r=-0.115</math>) and more gains at TAD is lower (<math>r=-0.317</math>).</p> <p>With 2 successive periods of OAD (n=68), the milk loss in % (<math>rho=62.4\%</math>) and milk recovery in % (<math>rho=55.9\%</math>) are stable (repeatability). The heritability of this traits is correct – respectively <math>h^2=0.307 (\pm 0.206)</math> and <math>h^2=0.276 (\pm 0.143)</math>.</p> <p>The DGAT QTL, that is influence fat in milk, is present on chromosome number 14. Several QTL have been detected for the key variables at <math>\alpha=5</math> level of the chromosome.</p>			
Limits	Estimation of genetic parameters is difficult because of the limited number of animals – especially for the 2 <sup>nd</sup> time of OAD. For QTL detection, some effects may be confused (year, father). Breeding cows has not been taken into account in the analysis.			
Discussion & prospects	<p>The results seem concord with the scientific literature.</p> <p>To continue this study, analysis of kinetic parameters of milking could help confront the adaptation profiles with the characteristics of milk ejection.</p> <p>The analysis of evolution of animal body condition and health aspects (mastitis) may also complete this study. Repeatability was studied intra-lactation.</p> <p>The results of Le Pin protocol could be associate with experimentation at INRA Méjusseaume. It would thus be possible to determine if udder uses the same mechanisms of response at OAD inter-lactation.</p>			
Mots clés	Monotraite – génétique – vache laitière – croisement – adaptation – variabilité			
Key words	Once A Day Milking (OAD) – genetic – dairy cows – crossing – adaptability –variability			

