

**VETAGRO SUP  
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2016 - Thèse n°038

***L'APPORT DES NOUVELLES METHODES DE SELECTION  
SUR LE STANDARD DE LA RACE MONTBELIARDE***

**THESE**

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I  
(Médecine - Pharmacie)  
et soutenue publiquement le 30 septembre 2016  
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

*CARREZ Fanny*  
Née le 22 juin 1991  
à Besançon





**VETAGRO SUP  
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2016 - Thèse n°038

***L'APPORT DES NOUVELLES METHODES DE SELECTION  
SUR LE STANDARD DE LA RACE MONTBELIARDE***

**THESE**

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I  
(Médecine - Pharmacie)  
et soutenue publiquement le 30 septembre 2016  
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

*CARREZ Fanny*  
Née le 22 juin 1991  
à Besançon



VetAgro Sup





## LISTE DES ENSEIGNANTS DU CAMPUS VÉTÉINAIRE DE LYON

Mise à jour le 09 juin 2015

Civilité	Nom	Prénom	Unités pédagogiques	Grade
M.	ALOGINOUWA	Théodore	UP Pathologie du bétail	Professeur
M.	ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	ARCANGIOLI	Marie-Anne	UP Pathologie du bétail	Maître de conférences
M.	ARTOIS	Marc	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	BARTHELEMY	Anthony	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Contractuel
Mme	BECKER	Claire	UP Pathologie du bétail	Maître de conférences
Mme	BELLUCO	Sara	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences
Mme	BENAMOU-SMITH	Agnès	UP Equine	Maître de conférences
M.	BENOIT	Etienne	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	BERNY	Philippe	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
Mme	BERTHELET	Marie-Anne	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
Mme	BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
Mme	BOULOCHER	Caroline	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	BOURDOISEAU	Gilles	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	BOURGOIN	Gilles	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	BRUYERE	Pierre	UP Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Maître de conférences
M.	BUFF	Samuel	UP Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Maître de conférences
M.	BURONFOSSE	Thierry	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	CACHON	Thibaut	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	CADORE	Jean-Luc	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Professeur
Mme	CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	CAROZZO	Claude	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	CHABANNE	Luc	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Professeur
Mme	CHALVET-MONFRAY	Karine	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	COMMUN	Loïc	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	DE BOYER DES ROCHES	Alice	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	DEMONT	Pierre	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	DESJARDINS PESSON	Isabelle	UP Equine	Maître de conférences Contractuel
Mme	DJELOUADJI	Zorée	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
Mme	ESCRIOU	Catherine	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Maître de conférences
M.	FAU	Didier	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
Mme	FOURNEL	Corinne	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Professeur
M.	FREYBURGER	Ludovic	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	FRIKHA	Mohamed-Ridha	UP Pathologie du bétail	Maître de conférences
Mme	GILOT-FROMONT	Emmanuelle	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	GONTHIER	Alain	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
Mme	GRAIN	Françoise	UP Gestion des élevages	Professeur
M.	GRANCHER	Denis	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	GREZEL	Delphine	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	GUERIN	Pierre	UP Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Professeur
Mme	HUGONNARD	Marine	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Maître de conférences
M.	JUNOT	Stéphane	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	KECK	Gérard	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	KODJO	Angeli	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	LAABERKI	Maria-Halima	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	LACHERETZ	Antoine	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	LAMBERT	Véronique	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	LATTARD	Virginie	UP Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
Mme	LE GRAND	Dominique	UP Pathologie du bétail	Professeur
Mme	LEBLOND	Agnès	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	UP Equine	Maître de conférences
M.	LEPAGE	Olivier	UP Equine	Professeur
Mme	LOUZIER	Vanessa	UP Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
M.	MARCHAL	Thierry	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Professeur
M.	MOUNIER	Luc	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
M.	PEPIN	Michel	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	PIN	Didier	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences
Mme	PONCE	Frédérique	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Maître de conférences
Mme	PORTIER	Karine	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
Mme	POUZOT-NEVORET	Céline	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
Mme	PROUILLAC	Caroline	UP Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
Mme	REMY	Denise	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
Mme	RENE MARTELLET	Magalie	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences stagiaire
M.	ROGER	Thierry	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
M.	SABATIER	Philippe	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	SAWAYA	Serge	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	SCHRAMME	Serge	UP Equine	Professeur associé
Mme	SEGARD	Emilie	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Contractuel
Mme	SERGENTET	Delphine	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
Mme	SONET	Juliette	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Contractuel
M.	THIEBAULT	Jean-Jacques	UP Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
M.	TORTEREAU	Antonin	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences stagiaire
M.	VIGUIER	Eric	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
Mme	VIRIEUX-WATRELOT	Dorothée	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences Contractuel
M.	ZENNER	Lionel	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur



# REMERCIEMENTS

## **A Monsieur le Professeur Damien Sanlaville**

De la faculté de médecine de Lyon,  
Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse,  
Avec toute ma gratitude et mes hommages respectueux.

## **A Monsieur le docteur Luc Mounier**

Du campus vétérinaire de VetAgro Sup,  
Qui m'a fait l'honneur d'encadrer ce travail,  
Pour sa disponibilité, sa patience, sa gentillesse, ses précieux conseils et ses  
corrections minutieuses. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance et  
mes sincères remerciements.

## **A Madame le Docteur Véronique Lambert**

Du campus vétérinaire de VetAgro Sup,  
Qui m'a fait l'honneur de prendre part à ce jury de thèse,  
Sincères remerciements.





# Table des matières

---

<b>Table des tableaux</b> .....	13
<b>Table des figures</b> .....	14
<b>Introduction</b> .....	15
<b>Première partie : La sélection génétique de la race Montbéliarde et son évolution</b>	
1. La race Montbéliarde .....	16
1.1 Présentation de la race.....	16
1.1.1 Naissance de la race Montbéliarde .....	16
1.1.2 La race montbéliarde et l'évolution des exploitations dans les années 50 .....	17
1.1.3 Evolution de l'effectif raciale des années 70 à aujourd'hui .....	17
1.1.4 La place de la Montbéliarde dans le cheptel Français.....	19
1.2 Caractéristiques de la race .....	19
1.2.1 Le standard de la race .....	19
1.2.1.1 Définition .....	19
1.2.1.2 Format de la Montbéliarde .....	19
1.2.1.3 Description .....	20
1.2.1.4 Performances .....	20
1.2.2 Sa valorisation laitière .....	20
1.2.3 Sa valorisation bouchère .....	21
1.3 La sélection de la race Montbéliarde .....	22
1.3.1 Le développement de la sélection.....	22
1.3.2 Rétrospective sur la sélection, résultats et limites.....	22
1.3.2.1 Evolution de la race .....	22
1.3.2.2 Enjeux et problématique actuelle .....	23
1.3.2.3 La montbéliarde de demain, prévision future.....	24
2. L'organisation de la filière génétique Montbéliarde.....	24
2.1 Schéma et déroulement d'un programme de sélection .....	24
2.1.1 La définition d'un programme de sélection .....	24
2.1.2 La définition des objectifs de sélection .....	25
2.1.3 La collecte des informations.....	25
2.1.4 L'évaluation génétique des animaux.....	25

2.1.5	Le choix des reproducteurs .....	26
2.1.6	La diffusion des reproducteurs indexés .....	26
2.1.7	Efficacité d'un programme de sélection .....	26
2.2	Les acteurs de la filière génétique.....	26
2.2.1	L'organisme de sélection Montbéliarde.....	27
2.2.1.1	Définition .....	27
2.2.1.2	Composition .....	27
2.2.1.3	Le rôle de l'OS montbéliarde.....	28
2.2.1.4	Le contrôle des performances.....	28
2.2.2	Les entreprises de sélection .....	28
2.2.3	L'établissement départementale d'élevage.....	29
2.2.4	Le réseau national de collecte et de traitement de l'information .....	29
2.2.5	La station de génétique quantitative et appliquée .....	29
2.2.6	L'institut de l'élevage .....	30
2.2.7	La loi sur l'élevage .....	30
3.	L'indexation des Montbéliardes.....	30
3.1	Définition.....	30
3.2	Notions nécessaires.....	31
3.2.1	Généralités .....	31
3.2.1.1	La variabilité phénotypique.....	31
3.2.1.2	Le génotype .....	31
3.2.1.3	L'évaluation de la valeur génétique additive d'un candidat .....	32
3.2.2	L'héritabilité d'un caractère .....	32
3.2.3	Corrélation génétique entre les caractères.....	33
3.2.4	Caractéristiques générales d'un index .....	34
3.2.4.1	La valeur de l'index.....	34
3.2.4.2	Détermination de l'index en base fixe ou en base mobile.....	35
3.2.4.3	Le coefficient de détermination .....	35
3.2.4.4	L'interprétation d'un index.....	36
3.3	Calcul d'un index .....	36
3.3.1	Calcul d'un index en sélection polygénique .....	36
3.3.2	Calcul d'un index génomique .....	37
3.4	Les différents index .....	37
3.4.1	Les index élémentaires.....	38

3.4.1.1	Les index de production .....	38
3.4.1.2	Les index morphologiques.....	38
3.4.1.3	Les index fonctionnels.....	38
3.4.2	Les index synthétiques .....	39
3.4.2.1	Généralités .....	39
3.4.2.2	L'Index de synthèse unique (ISU) .....	39
3.4.3	L'Index économique laitier (INEL) .....	40
4.	Les différentes méthodes de sélection .....	41
4.1	La sélection classique .....	41
4.1.1	La sélection individuelle .....	41
4.1.2	La sélection sur ascendance .....	41
4.1.3	La sélection sur descendance.....	41
4.1.4	La sélection sur collatéraux.....	42
4.1.5	Combinaison des méthodes et évaluation génétique.....	42
4.2	La sélection génomique.....	44
4.2.1	Notions préalables.....	44
4.2.1.1	Les marqueurs génétiques .....	44
4.2.1.2	Les QTL.....	45
4.2.1.3	Déterminisme génétique d'un caractère à partir des marqueurs moléculaires .....	45
4.2.2	La mise en place de la sélection génomique .....	45
4.2.2.1	Programme français de détection des QTL .....	45
4.2.2.2	La sélection assistée par marqueurs de 1 <sup>ère</sup> génération ou SAM1.....	46
4.2.2.3	La sélection assistée par marqueurs de 2 <sup>e</sup> génération ou SAM2 .....	46
4.2.2.4	La sélection génomique.....	47
4.2.2.5	Evolution de la sélection génomique .....	47
4.2.2.6	Bilan, évolution de la sélection génomique .....	48
4.2.3	Efficacité de la méthode.....	50
4.3	Comparaison des méthodes de sélection .....	51
4.3.1	Comparaison des CD.....	51
4.3.2	Comparaison de l'intervalle de génération .....	52
4.3.3	Corrélations entre performances et index, et efficacité de la méthode.....	53
4.3.4	Bilan .....	54
5.	Perspectives d'utilisation .....	55
5.1	Gestions des populations et variabilité génétique.....	55

5.1.1	Etude de Colleau.....	55
5.1.2	Les conséquences pratiques.....	56
5.2	Le génotypage des mâles .....	57
5.3	Le génotypage des femelles .....	57
5.4	Caractères visés.....	58
5.4.1	Les caractères de santé .....	58
5.4.1.1	Généralités .....	58
5.4.1.2	Santé des mamelles.....	59
5.4.1.3	Autres caractères de santé.....	59
5.4.2	La qualité du lait .....	59
5.4.2.1	Principes .....	59
5.4.2.2	Intérêts .....	60
5.4.3	La robustesse des bovins.....	60
5.4.4	La durabilité des élevages .....	60
5.4.4.1	Problématique.....	60
5.4.4.2	L'efficacité métabolique pour limiter les rejets .....	61
5.4.4.3	La régulation de l'expression des gènes par les nutriments .....	61
6.	Les limites de la génomique .....	62
6.1	La pérennité de la méthode .....	62
6.2	Notion d'épigénétique .....	62
6.3	Le coût .....	62

## **Deuxième partie : Enquête terrain auprès d'acteurs de la filière**

7.	Matériels et méthodes .....	64
7.1	Présentation de l'enquête.....	64
7.1.1	Objectifs.....	64
7.1.2	Choix du type d'étude : qualitative vs quantitative .....	64
7.1.3	Choix du type d'entretien.....	65
7.2	Enquête préliminaire auprès de l'OS Montbéliarde .....	65
7.2.1	Objectifs.....	65
7.2.2	Déroulement de l'enquête .....	65
7.2.3	Thèmes abordés .....	66
7.3	Enquêtes auprès des entreprises de sélection.....	66

7.3.1	Objectifs.....	66
7.3.2	Déroulements de l'entretien .....	66
7.3.2.1	Les enquêtés.....	66
7.3.2.2	Déroulement de l'entretien.....	68
7.3.3	Thèmes abordés .....	68
7.4	Enquêtes auprès des éleveurs.....	68
7.4.1	Objectifs.....	68
7.4.2	Déroulements des entretiens.....	68
7.4.2.1	Eleveurs rencontrés.....	68
7.4.2.2	Déroulement de l'enquête .....	69
7.4.3	Thèmes abordés .....	70
8.	Résultats .....	70
8.1	L'intégration de la génomique dans les programmes de sélection Montbéliard .....	70
8.1.1	La Montbéliarde et le développement de la génomique.....	70
8.1.2	Les éleveurs et la génomique .....	71
8.1.3	Etat des lieux .....	71
8.1.3.1	Généralités .....	71
8.1.3.2	Voie mâle.....	72
8.1.3.3	Voie femelle.....	72
8.1.3.4	Le coût .....	73
8.2	Les changements permis par la génomique dans les programmes de sélection.....	74
8.2.1	En amont de la sélection .....	74
8.2.1.1	Un outil de tri.....	74
8.2.1.2	Un nombre plus important de veaux génotypés.....	74
8.2.1.3	L'intérêt pour les veaux originaux.....	75
8.2.2	L'indexation des taureaux et la précision des index .....	75
8.2.2.1	La précision des index et corrélation perçue sur le terrain.....	75
8.2.2.2	L'évolution des index.....	76
8.2.3	La diffusion des taureaux .....	78
8.2.3.1	Objectifs des entreprises.....	78
8.2.3.2	Stratégies de diffusion.....	78
8.2.3.3	L'âge de mise en service.....	79
8.2.3.4	Le nombre de taureaux .....	79
8.2.3.5	Le nombre de doses et homogénéité de diffusion.....	80

8.2.4	La filière femelle .....	80
8.2.4.1	Un outil de tri.....	80
8.2.4.2	L'optimisation des accouplements.....	81
8.2.4.3	La valorisation à la vente .....	81
8.3	La variabilité génétique .....	82
8.3.1	Stratégie et état des lieux des entreprises de sélection .....	82
8.3.2	La conscience des éleveurs.....	83
8.3.3	Limites .....	83
8.4	Dimensions sociales.....	84
8.4.1	La sélection aux mains des entreprises .....	84
8.4.2	Le ressenti des éleveurs .....	85
8.5	Préoccupations, prévisions futures et limite de la génomique.....	85
8.5.1	Les prévisions futures.....	85
8.5.2	Les limites de la génomique .....	86
8.5.3	Le manque d'information par les éleveurs.....	86
8.5.4	Des choix dépendants des stratégies des entreprises de sélection .....	87
9.	Discussions .....	87
9.1	Discussion des résultats .....	87
9.1.1	Les opportunités offertes par la génomique.....	87
9.1.1.1	Une information dès le plus jeune âge de l'animal.....	87
9.1.1.2	L'augmentation du nombre de taureaux en service .....	87
9.1.1.3	L'indexation des bovins et la génomique .....	88
9.1.2	Des efforts à fournir .....	88
9.1.2.1	Diversité.....	88
9.1.2.2	Une méthode en cours.....	88
9.2	Discussion des matériels et méthodes.....	89
9.2.1	Le choix du type d'entretien.....	89
9.2.2	L'entretien avec les responsables de l'OS Montbéliarde .....	89
9.2.1	Les entreprises questionnées.....	89
9.2.2	Les éleveurs .....	90
9.2.3	Méthode d'analyse.....	90
	<b>Conclusion</b> .....	<b>91</b>
	<b>Bibliographie</b> .....	<b>93</b>

# Table des tableaux :

---

Tableau 1 : Effectif de la race montbéliarde en France et pourcentage de la population raciale (Quittet 1963; Raboisson 2004) .....	18
Tableau 2 : Fromages AOC au lait de vache dont le cahier des charges comporte un critère sur la race des animaux et part estimée de chacune des races dans la production du lait nécessaire aux fabrications.....	21
Tableau 3 : Résultats du contrôle laitier de 1993 à 2013, source : institut de l'élevage. ....	23
Tableau 4 : Héritabilité des principaux caractères en race Montbéliarde .....	33
Tableau 5 : Corrélations entre production laitière et caractères présentés.....	34
Tableau 6 : Composition de l'ISU Montbéliard.....	40
Tableau 7 contribution de chaque source d'information en fonction du nombre de descendants de l'individu .....	43
Tableau 8 : équivalence entre un taureau avec descendance et des vaches avec une performance ..	48
Tableau 9 : Composition de la population de référence .....	49
Tableau 10 : Evolution des méthodes .....	49
Tableau 11 : Evolution de la précision des méthodes, gain de CD avant (déc. 2014) et après (mars 2015) d'une population de jeunes veaux de moins d'un an .....	50
Tableau 12 : Evolution de la précision des index avec la nouvelle évaluation génomique des femelles .....	50
Tableau 13 : Comparaison de la précision des index polygéniques et génomiques pour la fertilité (héritabilité faible) et le lait (forte héritabilité).....	52
Tableau 14 : Représentation d'un programme de sélection de bovin laitier conventionnel avec testage sur descendance ou sélection génomique .....	53
Tableau 15 : Corrélations entre les index et les performances des taureaux, en sélection polygénique et génomique .....	53
Tableau 16 : Corrélations entre index génomiques et performances chez les femelles .....	54
Tableau 17 : Comparaison de l'indexation des mâles en sélection polygénique et génomique. ....	54

# Table des figures :

---

1. La vache comtoise type Tourache	2. La vache comtoise type Femeline	3. La vache de Berne	
.....	.....	.....	16
4. Répartition de la race Montbéliarde en France. Les données proviennent du nombre de vaches au contrôle laitier 2015. ....			18
5. Corrélations entre les différents acteurs de la sélection de la race Montbéliarde. ....			27
6. Corrélations génétiques entre caractères laitiers chez les montbéliards .....			34
7. Composition de l'ISU Montbéliard .....			40
8. Prise en compte des différentes sources d'informations dans l'indexation d'un bovin .....			43
9. Situation géographique des entreprises de sélection .....			67
10. Situation géographique des élevages enquêtés.....			69



# INTRODUCTION :

---

L'amélioration des animaux d'élevage est un enjeu essentiel pour les éleveurs qui cherchent à sélectionner les meilleurs reproducteurs dans le but d'avoir des descendants plus performants et les mieux adaptés aux conditions d'élevages dans les différents systèmes actuels. En France et dans la majorité des pays, l'amélioration des animaux d'élevage était basée sur le testage des reproducteurs sur descendance. Depuis les années 1990, dans l'idée de réduire les coûts de la sélection, l'information moléculaire est utilisée sur le terrain sous forme de marqueurs ADN. Le but était de trouver une méthode fiable, avec un coût raisonnable, facilement utilisable sur le terrain et rapide. La sélection génomique est une méthode de sélection utilisée depuis 2009, annoncée comme une méthode prometteuse et révolutionnaire dans le monde de la génétique animale. Les trois races laitières Holstein, Montbéliarde et Normande ont été les premières à bénéficier de cette technologie récente.

La race Montbéliarde est la deuxième race laitière de France, elle représente 17% du cheptel Français en 2015. D'abord implantée dans les années 1900 en Franche-comté, berceau de la race, elle s'est étendue à l'ensemble des régions Françaises notamment en zone montagneuse où elle est appréciée pour sa robustesse et son adaptation aux terrains. Ses qualités laitières et bouchères font de la Montbéliarde une vache mixte. Sa production n'a cessé d'augmenter grâce à la sélection qu'elle subit, notamment depuis l'arrivée des nouvelles techniques de reproduction, insémination et transplantation. L'arrivée de la sélection génomique dans la race laisse présager une accélération et une optimisation du progrès génétique en accord avec les objectifs de la race.

L'objectif de ce travail est d'étudier quelles sont les changements permis par la génomique dans la race Montbéliarde.

La première partie consistera à étudier la race Montbéliarde et son évolution. Les différentes méthodes de sélection qui sont ou ont été utilisées pour améliorer la race seront présentées et comparées dans cette partie

La deuxième partie présentera l'enquête mise en place auprès des différents acteurs de la race. Le but est d'étudier comment la sélection génomique a été intégrée dans la sélection de la race et comment elle est perçue par les différents acteurs de la filière.

# Chapitre 1 : La sélection génétique de la race Montbéliarde et son évolution

---

## 1. La race Montbéliarde

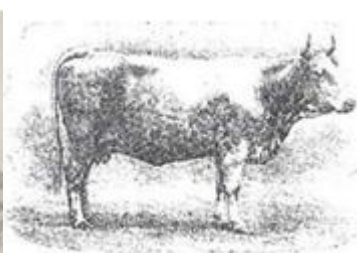
### 1.1 Présentation de la race

#### 1.1.1 Naissance de la race Montbéliarde

L'histoire de la race Montbéliarde remonte au 18<sup>ème</sup> siècle. A l'époque, le bétail de Franche-Comté était composé de deux races majoritaires : la Tourache (figure 1) dans le massif Jurassien, vache au pelage rouge exploitée pour son lait et ses bœufs très appréciés pour les travaux en forêts. La Fémeline (figure 2), présente dans les plaines et les vallées, de couleur froment, était plus fine et exploitée essentiellement pour ses qualités laitières. Les populations étaient hétérogènes et la distinction entre elles était difficile. En 1708, des éleveurs de l'Oberland Bernois (Suisse) viennent s'installer dans la principauté de Montbéliard en amenant avec eux leur cheptel, la rouge de Bern (figure 3). Ce cheptel, grâce à une meilleure alimentation et à une sélection déjà ancienne, est plus homogène, plus lourd et plus productif. Les agriculteurs locaux en profiteront alors pour faire saillir leurs vaches, et les qualités de ce bétail se diffuseront petit à petit dans les populations locales, (Dervillé, Patin, and Avon 2009)(Vernier and Jean-Blain 1953).



1. La vache comtoise type Tourache



2. La vache comtoise type Fémeline



3. La vache de Berne

Le terme de Montbéliarde a été utilisé pour la première fois en 1872 par un éleveur de Montbéliard. La race a été officiellement reconnue pour la première fois 17 ans plus tard, en 1889, à l'occasion de l'Exposition Universelle de Paris. La même année, le Herd-book est créé, (OS Montbéliarde 2016).

Les premiers syndicats d'élevage sont créés en 1901 afin d'organiser et de promouvoir la sélection. Ils ont eu un rôle important dans l'amélioration de la race, notamment dans le choix des taureaux de monte publique, l'enregistrement des saillies et des naissances, la gestion des états civils des animaux, le pointage de conformation, (Vernier and Jean-Blain 1953). La race s'est rapidement

étendue dans tout le département du Doubs, de la Haute-Saône et du territoire de Belfort puis enfin à tout l'est de la France notamment en Côte-d'Or, dans l'Yonne, dans les Vosges ... Pour enfin traverser la Méditerranée, avec une première exportation en Algérie en 1910, puis au Maroc, au Cameroun... L'exportation des bovins constitue un débouché important jusque dans les années 50. Son poids dans l'économie franc-comtoise est donc considérable, (Jussiau et al. 2013).

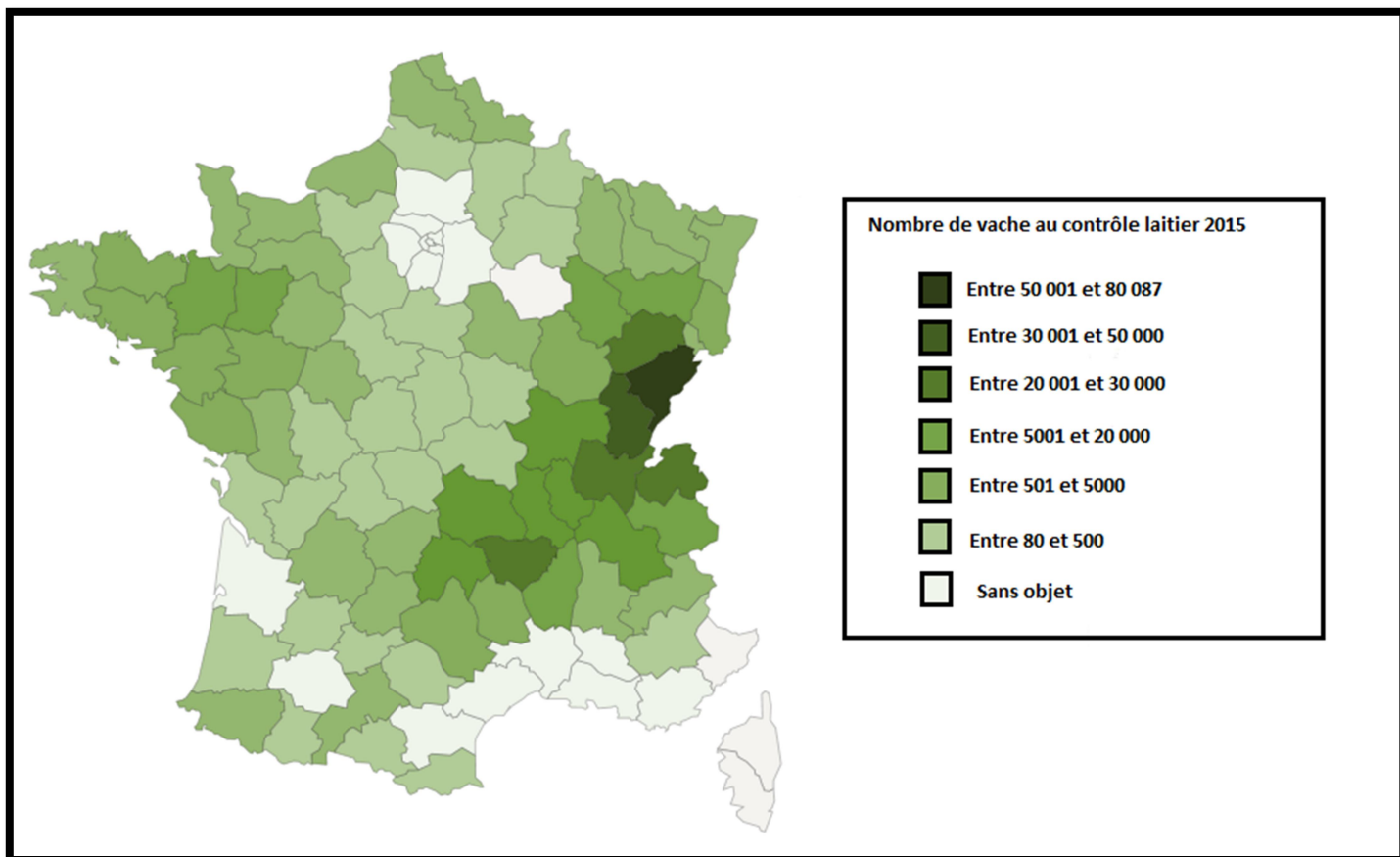
Pendant la première partie du 20<sup>e</sup> siècle, l'orientation laitière mixte de la montbéliarde a permis son développement, en parallèle de celui des fruitières qui organisent la transformation et la collecte du lait. La race se développe en Franche-comté et dans d'autres plaines de France, et l'effectif augmente jusque dans les années 50, (Quittet 1963).

### **1.1.2 La race montbéliarde et l'évolution des exploitations dans les années 50**

A la sortie de la seconde guerre mondiale, l'agriculture française est en difficulté. Les exploitations se caractérisent par une polyculture, et un besoin en main d'œuvre important plus difficile à trouver. La production laitière par vache est assez faible et le revenu des agriculteurs médiocre. Les années 50 marquent une intensification et une modernisation du monde agricole grâce notamment au contexte politique français et européen favorable. L'agriculture devient plus performante et plus technique, les exploitations deviennent spécialisées. Le nombre de fermes diminue tandis que le nombre de vaches par exploitation augmente. Une meilleure maîtrise de l'alimentation et des méthodes d'élevage permet la progression des productions. Les années 70 sont marquées par une spécialisation laitière avec la mise en place des quotas laitiers et d'un système plus intensif. Les exportations de la Montbéliarde constituent toujours un débouché important, des groupements de producteurs se sont développés et ont permis à la race d'être exportée dans une cinquantaine de pays sur tous les continents, (Raboisson 2004).

### **1.1.3 Evolution de l'effectif raciale des années 70 à aujourd'hui**

Sur la période des années 70 aux années 2000, l'évolution géographique de la montbéliarde est assez faible. En France, elle est située dans deux noyaux. Le premier est constitué par la Franche-comté, l'Isère, la Savoie et l'Ain (figure 4). Le second se compose du sud de l'Auvergne et de l'ouest de la région Rhône-Alpes, où elle remplace peu à peu l'Aubrac (figure 4). Dans le Cantal et dans la Loire, la Montbéliarde concurrence la Holstein, (Raboisson 2004). La race bénéficie d'un marché important vers l'Afrique du nord, avec des exportations régulières de génisses pleines. Les autres pays d'Europe, l'Afrique centrale, le Moyen Orient et l'Amérique importent également régulièrement des vaches ou des semences. Ce marché concerne chaque année 8 à 10 000 génisses et plus de 160 000 doses de semences, (UFR Génétique, élevage et reproduction (AgroParisTech) 2017).



4. Répartition de la race Montbéliarde en France. Les données proviennent du nombre de vache au contrôle laitier 2015.

Tableau 1 : Effectif de la race montbéliarde en France et pourcentage de la population raciale.

Année	Effectif	Pourcentage de la population totale
1932	1.040.000	6
1943	1.039.000	6.4
1958	1.929.000	10.7
1967	2.290.000	10.9
1979	811.580	8
1988	774.606	8
2000	685.043	8
2012	655.003	8
2014	647.000	8

L'effectif de la race augmente jusque dans les années 70 puis diminue considérablement jusqu'à aujourd'hui. Parallèlement la part de la montbéliarde dans le cheptel français augmente régulièrement (tableau 1). Cela s'explique par la diminution de l'effectif des races régionales comme la vosgienne, l'abondance, la ferrandaise qui ont été progressivement remplacées par des races plus productives, (Raboisson 2004; QUITTET 1963).

### **1.1.4 La place de la Montbéliarde dans le cheptel Français**

La Montbéliarde est aujourd'hui la deuxième race laitière de France, devant la Normande et derrière la Prim Holstein. La part de la Montbéliarde dans le cheptel laitier français évolue de façon positive, et passe de 13% à 17% en 15 ans. Tandis que le nombre de Prim'Holstein et de Normande au contrôle laitier diminue respectivement de 13.6% et de 20.3% depuis 2000. Malgré tout le Prim'Holstein reste la première race laitière de France avec plus de 1 600 000 vaches contrôlées en 2015 contre 670 000 Montbéliardes et moins de 300 000 pour la Normande, (Institut de l'élevage 2016).

Née en 1889 en Franche-Comté, la race Montbéliarde est issue du croisement de trois races historiques. Elle est aujourd'hui la deuxième race laitière de France en nombre de vaches. Elle est très présente dans les zones montagneuses de l'est de la France, son berceau d'origine, et dans l'ouest lyonnais. L'exportation de la race à l'international constitue depuis de nombreuses années un débouché important pour les éleveurs.

## **1.2 Caractéristiques de la race**

### **1.2.1 Le standard de la race**

#### **1.2.1.1 Définition**

Le standard de la race est l'ensemble des détails de morphologie et de robe, ainsi que des caractères quantitatifs et comportementaux exprimés par les individus appartenant à une race animale déterminée. C'est le produit d'une convention entre les éleveurs de la race, (Jussiau et al. 2013).

La table de pointage, définit par les responsables raciaux, sert à décrire les animaux de façon méthodique selon les normes définies dans le standard de la race, (OS Montbéliarde 2016).

#### **1.2.1.2 Format de la Montbéliarde**

Le standard de la race présente la Montbéliarde comme une vache de hauteur au garrot variant de 145 à 150cm pour les femelles et de 160 à 170cm pour les mâles. Le poids adulte des vaches varie entre 650 kg et 800 kg et le poids des taureaux varie de 1000 à 1200kg, (Dervillé, Patin, and Avon 2009).

### **1.2.1.3 Description**

La montbéliarde possède une tête fine, large aux yeux, à profil droit. Son muflle est large avec des cornes longues et fines, de type Jurassique. Au niveau de son corps, elle a une poitrine large et profonde, un dessus rectiligne. Son bassin est long et large, légèrement incliné. Sa mamelle est attachée loin à l'avant, haute et large à l'arrière. Ses trayons sont réguliers et implantés au milieu des quartiers et légèrement orientés vers l'intérieur. Ses membres sont d'aplomb, ses jarrets sont larges, plats et secs et ses paturons légèrement inclinés.

Sa robe est pie rouge, le blanc prédomine dans la partie inférieure du corps et aux extrémités, le rouge de la partie supérieure est franc et vif. Les lunettes et des taches rouges sont tolérées sur les joues. Les muqueuses et les onglons sont plutôt clairs, (Dervillé, Patin, and Avon 2009).

### **1.2.1.4 Performances**

Les performances moyennes de la Montbéliarde sont les suivantes, (France génétique élevage 2015) :

- Performances maternelles : son intervalle vélège-vélège est en moyenne de 389 jours. Elle est réputée pour ses facilités d'élevage, sa fertilité avec 55% de taux de réussite en IA1, sa longévité.
- Longévité : 19.7% de la population est en 5<sup>ème</sup> lactation ou plus. Elle possède une bonne résistance aux amplitudes thermiques.
- Performances laitières : sa production brute est de 7106 kg en 311 jours. Le taux butyreux (TB) moyen est de 38.9 et le TP de 32.7.
- Performances bouchères : Le poids de carcasse d'un taurillon est de 350 à 380 kg et la vache de réforme à un poids de carcasse de 350kg en moyenne.

### **1.2.2 Sa valorisation laitière**

Les troupeaux Montbéliards sont assez hétérogènes en France selon les systèmes et les conditions d'élevage. En effet les conditions de production de l'Ouest sont plus favorables au TP et surtout au TB par rapport à la zone traditionnelle de l'est, (Launay.A and Le Mezec.P 2015). En zone de montagne, elle a de bonnes capacités de production à partir des fourrages secs récoltés sur les exploitations, (Perreau 2014).

La Montbéliarde apporte le rapport taux butyreux sur taux protéique le plus faible des principales races laitières de France. Son taux protéique fort et son taux butyreux plutôt faible fait de la Montbéliarde une race adaptée à la transformation fromagère. Elle est impliquée dans la production de 97% des AOC, (Raboisson 2004). La montbéliarde est la plus grande contributrice aux productions AOP à critère racial. Elle participe également aux productions sans critère racial, comme

le munster ou le brie de meaux (tableau 2). Ainsi, 21.5% des Montbéliardes traites sont impliquées dans un circuit de production de fromage, (Lambert-Derkimba, Casabianca, and Verrier 2006).

Tableau 2 : Fromages AOC au lait de vache dont le cahier des charges comporte un critère sur la race des animaux et part estimée de chacune des races dans la production du lait nécessaire aux fabrications.

Région	AOC	Races associées	Part de chaque race (%)
Franche-comté	Comté	Montbéliarde	95
		Simmental Française	5
	Morbier	Montbéliarde	95
		Simmental Française	5
Mont-d'Or	Montbéliarde	99	
	Simmental Française	1	
Bleu de Gex	Montbéliarde	99	
	Simmental Française	1	
Alpes du Nord	Reblochon	Abondance	49
		Montbéliarde	49
		Tarentaise	2
	Abondance	Abondance	35
Montbéliarde Tarentaise		64 1	
Tome des Bauges	Abondance	30	
	Tarentaise Montbéliarde	20 50	
Bleu du Vercors	Montbéliarde	80	
	Abondance	15	
	Villars de Lens	5	
Bourgogne	Epoisses	Brune	36
		Montbéliarde	47
		Simmental Française	17

### 1.2.3 Sa valorisation bouchère

Les bovins ont une puissance musculaire et une qualité de viande sans gras de couverture qui permet une bonne valorisation bouchère des taurillons et des vaches de réforme. Le rendement carcasse est de 64%. La Montbéliarde est bien valorisée en croisement avec du charolais ou du blanc bleu beige, (Perreau 2014).

Un troupeau Montbéliard dégage un produit viande supérieur de 30 euros pour 1000 litres de lait en moyenne par rapport à un troupeau de race Holstein, (OS Montbéliarde 2016).

Les Montbéliardes sont des vaches mixtes, très appréciées pour leur qualité laitière et leur qualité bouchère. Le lait de la Montbéliarde est riche en taux protéique ce qui le rend très adapté à la transformation fromagère, la race est ainsi impliquée dans la production de nombreux fromages. Les qualités bouchères permettent une bonne valorisation des réformes et des veaux.

## **1.3 La sélection de la race Montbéliarde**

### **1.3.1 Le développement de la sélection**

La sélection est aussi vieille que l'élevage. Elle consiste à permettre aux animaux les plus performants de se reproduire préférentiellement. Le but est de fixer les caractères intéressants et de regrouper les animaux de race pure. La notion de race se développe vers le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle. C'est un élément de puissance d'un point de vue économique. Le livre généalogique de la race est créé en 1889 et permet l'enregistrement des déclarations de naissance et les inscriptions des animaux adultes qui y étaient pointés. La sélection était alors portée sur les caractères morphologiques et la couleur sans réelle valeur zootechnique, (Dervillé, Patin, and Avon 2009). Le contrôle laitier a été mis en place en 1914 dans le Doubs et permet l'enregistrement des performances laitières des animaux. Mais le nombre d'animaux contrôlés reste alors assez faibles jusqu'en 1950 et les performances traduisent plutôt le traitement dont a bénéficié l'animal que la valeur génétique réelle de la vache. Les résultats obtenus servaient à la promotion des reproducteurs plutôt qu'à un réel travail de sélection, (Vernier and Jean-Blain 1953).

Le premier centre d'insémination pour l'ensemble des races voit le jour en 1945 dans la Loire et le testage des taureaux est mis en place en 1952. La demande est alors rapidement très forte. Dès les années 1980, la maîtrise des méthodes de reproduction artificielle et des méthodes d'analyse génétique des performances ont permis un gain d'efficacité des programmes de sélection. La sélection des races à fort effectif s'est intensifiée. A la fin du XX<sup>ème</sup> siècle, le développement des outils de biologie moléculaire et leurs applications à la sélection a permis une accélération de la sélection, jusqu'à aujourd'hui avec la sélection génomique, (Verrier 2014).

### **1.3.2 Rétrospective sur la sélection, résultats et limites**

#### **1.3.2.1 Evolution de la race**

Au cours des dernières années, l'amélioration génétique a été responsable de progrès génétique considérable dans la productivité des bovins. En France et dans la plupart des pays développés, le progrès génétique améliore la production laitière de 50 à 100kg par lactation chaque année pendant les vingt dernières années. En 2015, les vaches montbéliardes produisaient en moyenne 7106 kilos de lait par lactation soit 1700 kilos de plus en vingt ans, avec une durée de lactation supérieure (tableau 3), (Institut de l'élevage 2016). La richesse du lait, appréciée par le taux protéique et le taux butyreux, a d'abord été un caractère secondaire et son évolution a été assez



faible. Le taux protéique a augmenté, tandis que l'évolution du taux butyreux a été variable en fonction des conditions économiques, (Launay and Le Mezec 2014).

Tableau 3 : Résultats du contrôle laitier de 1993 à 2013.

Année	Nb Vaches	Durée lactation	TP (g/kg)	TB (g/kg)	Lait (kg)
1993	287734	287	32.2	38.3	5693
1998	338213	289	32.5	38.6	6045
2003	380403	292	32.4	38.8	6197
2004	381440	296	32.7	38.9	6267
2005	387912	295	32.8	39.1	6403
2006	386933	296	32.7	39.2	3451
2007	382965	305	32.6	38.9	6671
2008	404874	307	32.6	38.9	6541
2009	407223	310	32.7	39.0	6575
2010	405309	310	32.6	39.0	6746
2011	417205	308	32.8	39.0	6922
2012	415552	310	32.8	38.9	7027
2013	421130	314	32.8	39.0	7106

Parallèlement, en raison de la corrélation génétique négative entre les caractères fonctionnels et la productivité laitière ; la fertilité, la résistance aux mammites, la longévité des Montbéliardes se sont dégradées. Le coût lié à la diminution de la robustesse des vaches n'étant pas négligeable, les éleveurs ont accordé une place plus importante à ces caractères dès les années 2000. Les programmes de sélection ont intégré de nouveaux index fonctionnels, tels que les cellules somatiques, la longévité, ou encore l'intervalle vêlage première insémination artificielle. Des progrès importants ont aussi été réalisés dans le domaine de la conformation, le système mammaire s'est considérablement amélioré, de même que les aplombs et la conformation globale, (Chesnais 2015).

### 1.3.2.2 Enjeux et problématique actuelle

La vache Montbéliarde est devenue très performante, mais il reste encore de nombreux défis à relever notamment au niveau de la reproduction et de la santé. Les programmes de sélection portent aujourd'hui leurs efforts sur les caractères fonctionnels pour les maintenir à leur état actuel et éviter leur dégradation, voir les améliorer, (Chesnais 2015).

De nouveaux caractères d'intérêts voient le jour. Les acteurs de la filière laitière se sont notamment intéressés à la composition fine du lait. Le lait est composé de près de quatre cent acides gras, de six protéines majeures et de composants mineurs comme des minéraux. L'intérêt pour les acides gras est justifié par leur impact sur la santé humaine. La composition en protéines a un intérêt pour la fromageabilité du lait, notamment le taux de caséine. La part des différentes caséines et de leur variant conditionne le rendement fromager et la qualité du produit. La composition du lait est également un bon indicateur pour le pilotage du troupeau. Le lait est en effet modifié lors de

déséquilibre alimentaire ou de déficit énergétique, à ce titre la composition du lait peut-être utile pour étudier la ration, (Perreau 2014; Brochard et al. 2009).

Les programmes de sélection ont également porté leurs intérêts sur les caractères de santé. La sélection pour la résistance aux mammites est réalisée depuis 1997 en France. La sélection concernant de tels caractères est plus difficile que pour les caractères morphologiques ou de production compte tenu de la difficulté à phénotyper les bovins en abstrayant les effets de l'environnement, (Bonaïti, Moureaux, and Mattalia 2005).

### **1.3.2.3 La montbéliarde de demain, prévision future**

Au niveau de la production laitière, le progrès génétique laitier devrait ralentir en passant d'un progrès annuel de 70 kilos à 40 kilos par an. Son rythme annuel devrait diminuer après 2017. En revanche, le niveau génétique de la richesse en protéines devrait augmenter. Suite à l'utilisation de taureaux à moins forts index TB dans les années 2000, les index TB devraient diminuer, (Launay and Le Mezec 2014).

La sélection de la race a débuté très tôt puis s'est intensifiée avec l'arrivée des technologies de reproduction (insémination, transplantation...) et des connaissances du génome. Dans un premier temps, la production de lait a augmenté considérablement, avec un gain de 1500 kg de lait par vache en moyenne en vingt ans. La qualité du lait a été prise en compte secondairement. Cette évolution s'est faite au détriment des caractères fonctionnels (résistance aux mammites, fertilité...) qui se sont dégradés. Ces caractères ont peu à peu été intégrés aux objectifs de sélection dans le but de limiter leurs détériorations. De nouveaux caractères voient aujourd'hui le jour comme la résistance aux mammites.

## **2. L'organisation de la filière génétique Montbéliarde**

### **2.1 Schéma et déroulement d'un programme de sélection**

#### **2.1.1 La définition d'un programme de sélection**

Un programme d'amélioration génétique est l'ensemble des opérations qui conduisent au choix raisonné des reproducteurs et à leur utilisation, à l'échelle d'une population d'animaux. Un tel programme est, dans le cas des bovins, une action collective car ils sont répartis dans de nombreux troupeaux de petite taille. Un programme de sélection comporte différentes étapes que nous allons décrire ci-après, (Verrier 2014).

### **2.1.2 La définition des objectifs de sélection**

Les objectifs de sélection sont l'ensemble des caractères que l'on souhaite améliorer et leur hiérarchie. Pour définir ces objectifs, il est essentiel de se projeter dans l'avenir, car le délai entre la décision de sélection et les répercussions sur la production des descendants est de près de 10 ans chez les bovins. Il faut donc imaginer la vache que l'on voudra demain, cette image est différente selon les acteurs de la filière, il faut donc trouver le bon compromis. Ensuite, il faut tenir compte de la corrélation entre les différents caractères, l'amélioration d'un caractère peut avoir une influence sur d'autres caractères, (Verrier 2014).

Les objectifs de sélection évoluent avec le temps. Des années 60 aux années 70, la production avait un poids majeur dans les objectifs de sélection. Dans les années 70, la qualité du lait produit, le taux butyreux et le taux protéique, a été pris en compte. Les caractères fonctionnels ont été inclus dans les objectifs dans les années 90 et représentent aujourd'hui la moitié des objectifs de sélection, (Verrier et al. 2010).

### **2.1.3 La collecte des informations**

C'est une étape importante dans un schéma de sélection. L'identification des animaux permet la traçabilité des produits. Les animaux sont connus par l'identité de leurs parents, par leurs performances concernant plusieurs caractères, et par leur génotype. L'éleveur est en charge de la déclaration de l'état civil de son animal. Le contrôle des performances de l'animal ainsi identifié s'effectue en ferme ou dans les centres d'inséminations par les techniciens. L'acquisition des données de son génome nécessite un prélèvement biologique (prise de sang ou cartilage). Ses données sont collectées sur le terrain et rassemblées dans des bases de données nationales, (Verrier 2014).

### **2.1.4 L'évaluation génétique des animaux**

C'est l'étape d'indexation des bovins. Le but est de connaître la valeur génétique de l'animal, afin de prédire les caractères de la descendance du reproducteur. En moyenne, chaque descendant reçoit la moitié de la valeur génétique de son père et de sa mère. La valeur génétique de l'animal n'est pas accessible directement, les gènes déterminant les caractères ne sont pas tous connus, elle est donc seulement estimée. L'évaluation génétique consiste donc à estimer la valeur génétique de l'animal. Cette estimation est traduite par les index. Les index permettent alors de comparer les animaux entre eux, (Verrier 2014; Jussiau et al. 2013).

L'indexation des bovins passe par des analyses statistiques. Ces analyses peuvent être faites à partir des performances de l'animal, des performances de ses parents ou de ses collatéraux, des performances de ses enfants. Avec l'arrivée de la génomique, les analyses statistiques permettant de

prédire la valeur génétique d'un bovin sont faites à partir de marqueurs moléculaires portés sur son génome, (Verrier 2014; Jussiau et al. 2013; S. Fritz et al. 2010).

### **2.1.5 Le choix des reproducteurs**

Après avoir évalué la valeur génétique des bovins et les avoir classé selon leur index, les mieux notés sont choisis comme reproducteurs. En parallèle, d'anciens reproducteurs peuvent être réformés pour de multiples causes. Le choix de ces reproducteurs est plus ou moins sévère, selon les objectifs, (Jussiau et al. 2013; Verrier 2014).

### **2.1.6 La diffusion des reproducteurs indexés**

Les reproducteurs choisis lors de l'étape précédente sont ensuite mis en service. Ils permettent si l'indexation a été correcte l'amélioration du niveau génétique moyen de la génération suivante pour les objectifs de sélection retenus. L'utilisation des reproducteurs doit se faire de manière raisonnée et réfléchie, (Jussiau et al. 2013).

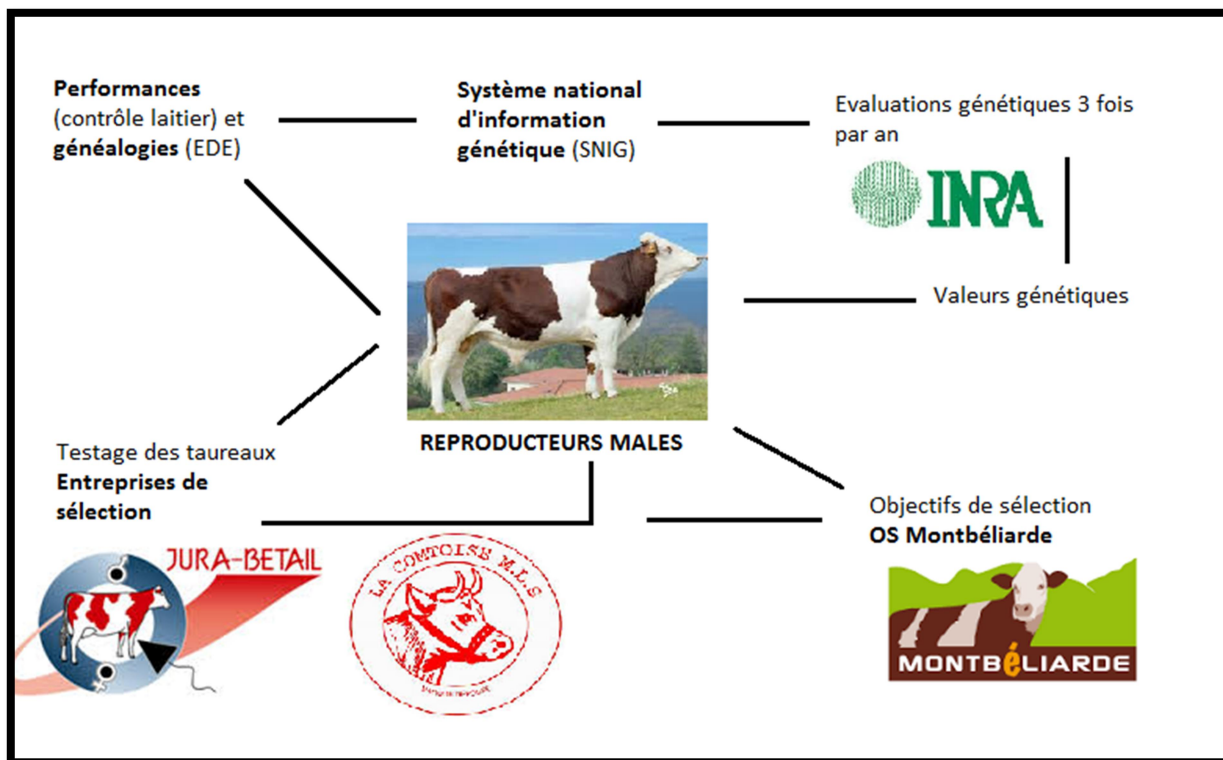
### **2.1.7 Efficacité d'un programme de sélection**

L'efficacité d'un programme de sélection est définie par plusieurs facteurs. Le premier concerne l'intensité de sélection, qui est définie comme l'écart entre la moyenne des performances des individus sélectionnés et la moyenne des performances de la population dont ils sont issus, elle reflète la sévérité du tri des reproducteurs. Le deuxième facteur est l'intervalle de génération qui correspond au temps qui sépare les générations successives, (Rognon, Vila, and Verrier 2009).

<p>Un programme de sélection a pour but d'évaluer les individus d'une population et de permettre leur utilisation dans la race. Ils passent par différentes étapes qui nécessitent la coalition des différents acteurs de la sélection.</p>
---

## **2.2 Les acteurs de la filière génétique**

Les acteurs de l'amélioration génétique de la race Montbéliarde sont nombreux, ce sont des organismes ou des associations qui permettent la mise en place et le bon déroulement du programme de sélection. Ce sont des partenaires qui travaillent ensemble, (figure 5).



5. Corrélation entre les différents acteurs de la sélection de la race Montbéliarde.

## 2.2.1 L'organisme de sélection Montbéliarde

### 2.2.1.1 Définition

Anciennement appelé l'unité nationale de sélection et de promotion de la race (UPRA), l'organisme de sélection Montbéliarde réunit l'ensemble des acteurs intéressés par la sélection de la race. C'est une association d'éleveurs, qui représente leurs intérêts au sein des instances nationales et internationales, (Jussiau et al. 2013).

### 2.2.1.2 Composition

La composition de l'organisme de sélection est répartie en trois volets :

- Le volet création du progrès génétique, représenté par les éleveurs sélectionneurs.
- Le volet diffusion du progrès génétique, représenté par les centres de service d'insémination et les groupements de vente de reproducteurs en vifs.
- L'utilisation du progrès génétique, regroupant les coopératives de commercialisation des bovins, l'aval de la filière (abatteurs, distributeurs...) et les partenaires du développement de l'élevage (EDE, France conseil élevage...)

L'OS est dirigé par un conseil d'administration composé essentiellement d'éleveurs, qui sont élus par les adhérents de l'OS, par les entreprises de sélection adhérentes et par les représentants de chaque partenaire de l'élevage Montbéliard (contrôle laitier...), (France génétique élevage 2011; OS Montbéliarde 2016).

### ***2.2.1.3 Le rôle de l'OS montbéliarde***

L'OS assure le pilotage du programme de sélection racial et assure la mise en cohérence des intérêts et des objectifs de chacun des acteurs concernés par la race. Il définit les objectifs de sélection et les fait évoluer en s'adaptant aux attentes de la filière et des élevages. L'OS est également en charge de la tenue du livre généalogique et de la gestion du fichier racial, avec notamment l'enregistrement et le stockage des caractéristiques des bovins inscrits et leurs liens de parenté. Elle assume la définition des caractéristiques de la race. Cela consiste en la mise au point de table de pointage et en la maîtrise de la morphologie raciale. Elle a également en charge la certification de l'appartenance à la race. Enfin, l'OS assure la promotion de la race en France et à l'étranger et de son matériel génétique, reproducteurs, semences et embryons, par le biais d'actions de développement telles que des concours, des représentations sur les salons professionnels,... Le but étant de faire connaître la race, (Dervillé, Patin, and Avon 2009; Jussiau et al. 2013; France génétique élevage 2011).

### ***2.2.1.4 Le contrôle des performances***

Le contrôle laitier est une association dont le rôle est l'estimation de la production par les animaux par des contrôles le plus souvent mensuels. Sont mesurées ainsi chaque mois, la quantité de lait produite, la teneur en matière grasse et protéique, et le comptage cellulaire somatique. Le matériel utilisé pour ces contrôles doit être homologué et les analyses en laboratoire doivent être faites en laboratoire de référence. Les résultats du contrôle laitier servent à l'indexation des bovins. Ils sont également mis en relation avec l'alimentation et permettent aux éleveurs d'ajuster la ration aux besoins et aux potentiels de production des bovins. En ce qui concerne les caractères morphologiques, les bovins sont pointés à l'aide de tables de pointages définies par l'OS. Ces pointages sont réalisés en ferme ou en station par les entreprises de sélection ou par les techniciens de l'OS. Aujourd'hui, 66% des vaches laitières françaises sont au contrôle laitier, cela constitue donc un bon niveau de représentation de la population, (Leclerc and Ducrocq 2008).

## **2.2.2 Les entreprises de sélection**

Les entreprises de sélection sont des sociétés coopératives agricoles. Les principales entreprises de sélection Montbéliarde sont Jura Bétail, le groupe Umotest, La comtoise MLS. Elles travaillent en partenariat avec l'organisme de sélection Montbéliarde, (figure 5).

Leur rôle est de sélectionner les taureaux d'intérêt génétique et de déterminer leur index. Si l'index est satisfaisant, le taureau est prélevé et les semences stockées. L'entreprise de sélection met ensuite son taureau en service. Ainsi il assure la conduite du programme de sélection. Ce modèle d'entreprise implique que les agriculteurs coopérateurs sont co-propriétaires de leur entreprise. La gouvernance est démocratique, c'est-à-dire que chaque agriculteur possède une voix, notamment pour élire les administrateurs du conseil d'administration, (Leclerc and Ducrocq 2008; OS Montbéliarde 2016; Institut de l'élevage 2016).

### **2.2.3 L'établissement départementale d'élevage**

Le rôle des établissements départementaux d'élevage est la coordination des opérations de base du dispositif génétique. Ce sont eux qui gèrent l'identification des bovins, l'établissement des filiations et le contrôle des performances. Il intègre à ce titre le schéma d'amélioration génétique des bovins, (figure 5). Le contrôle des performances est délégué au contrôle laitier. L'entreprise a également des objectifs non liés au dispositif génétique, comme le conseil aux éleveurs ou l'identification des animaux qui ne participent pas aux dispositifs de sélection, (Leclerc and Ducrocq 2008).

### **2.2.4 Le réseau national de collecte et de traitement de l'information**

Le centre de traitement de l'information génétique, ou CTIG, a été mis en place dans le but de rassembler, au niveau national, toutes les données provenant des centres régionaux informatiques (CRI). Les CRI regroupent et traitent les informations fournies par les établissements départementaux d'élevage pour permettre une valorisation rapide auprès des éleveurs. Ces informations sont transmises vers une base de données nationale, (Leclerc and Ducrocq 2008).

### **2.2.5 La station de génétique quantitative et appliquée**

Le rôle de la station de génétique quantitative et appliquée est de gérer la base de données génétique nationale. Cet organisme est sous la tutelle de l'INRA. Elle assure la fiabilité et l'objectivité des informations à dispositions des utilisateurs. Elle a également pour mission de contribuer au développement des méthodes et des outils de gestion des populations. Ces travaux portent notamment sur la définition des objectifs de sélection, la gestion de la variabilité génétique et l'optimisation des schémas de sélection. Elle a également contribué à l'analyse des données génomiques à partir de l'exploitation des bases de données nationales et expérimentales, (Bibé and Boichard 2006).

### **2.2.6 L'institut de l'élevage**

Le rôle de l'institut de l'élevage est la recherche, il conduit des travaux d'expérimentation, d'ingénierie et de conseil pour améliorer la compétitivité des exploitations et les conditions d'exercice du métier d'éleveur, adapté aux types de production. Le département génétique de l'institut de l'élevage coordonne la conception et le développement des outils collectifs nécessaires à l'amélioration génétique. Il fait l'interface entre les organismes de recherche (INRA) et les organismes professionnels. Il participe aux travaux sur l'évaluation génétique des animaux et optimise l'orientation des programmes de sélection, (France génétique élevage 2011).

### **2.2.7 La loi sur l'élevage**

Le dispositif génétique français est encadré par la loi d'orientation agricole (LOA). Sa dernière réforme a été votée en 2014. Elle s'est mise en conformité avec la réglementation européenne, en permettant notamment aux vétérinaires d'inséminer. Les acteurs de la race et les différents organismes présentés précédemment ont vu leurs rôles et leurs missions définis, (Tribon 2006; Labatut et al. 2014).

Les acteurs du progrès génétique dans une race sont nombreux. Parmi eux, les organismes de recherche fournissent les outils de sélection et permettent aux entreprises de sélection de diffuser des taureaux avec des évaluations génétiques fiables. Les objectifs de sélection sont définis par l'organisme de sélection et l'utilisation des taureaux ainsi sélectionnés se fait par les éleveurs. Les échanges et tous les acteurs sont nécessaires pour le bon déroulement d'un programme de sélection.

## **3. L'indexation des Montbéliardes**

### **3.1 Définition**

L'index est une estimation de la valeur génétique d'un animal pour une aptitude donnée. La valeur génétique ne pouvant ni être observée, ni mesurée, elle ne peut être qu'estimée en se basant sur les performances de l'animal lui-même et celles de ses apparentés, ou par l'étude des marqueurs portés par son génome. Un index est comparable entre mâle et femelle mais est strictement intra-race, (Jussiau et al. 2013; Boujenane 2003; Fouilloux and Laloë 2009).

L'évaluation génétique ou indexation repose sur différentes informations :



- La mesure des performances sur un grand nombre de bovins. Elle concerne différents caractères d'intérêts tels que la réussite à l'insémination, la quantité de lait produit...
- Le recueil de données sur l'environnement dans lequel les animaux se développent, par exemple le troupeau.
- Une généalogie enregistrée de façon fiable sur plusieurs années.
- Des génotypes.

L'intégration de ces informations dans des modèles statistiques permet de calculer les index d'un animal pour différents caractères, (Fouilloux and Laloë 2009).

## **3.2 Notions nécessaires**

### **3.2.1 Généralités**

#### **3.2.1.1 La variabilité phénotypique**

La performance d'un animal résulte de son potentiel génétique et des conditions d'élevage dans lequel il évolue. La performance appelée phénotype est la valeur prise par le bovin pour un caractère donné, qui peut être observée ou mesurée. Le génotype de l'animal correspond à l'ensemble des gènes responsables de l'expression d'un caractère. La différence entre le génotype et le phénotype est importante, le génotype est fixe pour l'animal, il ne change pas au cours de la vie et n'est pas influencé par des facteurs extérieurs. Le phénotype, en revanche, change au cours de l'évolution de l'animal et en fonction de l'environnement, (Boujenane 2003; Jussiau et al. 2013). Le mot environnement fait référence à la combinaison des facteurs qui influencent l'expression du caractère comme la saison de vêlage, le nombre de traites par jour ...

La variabilité phénotypique des individus s'expliquent donc par différentes composantes :

- une composante génétique additive, due à l'effet des gènes que possèdent l'animal. Elle est fixe pour un animal.
- une composante génétique non additive, qui correspond aux interactions entre les différents gènes de l'animal
- Les effets de l'environnement, parmi lesquelles certains sont connus et estimables (l'âge au vêlage, le nombre de lactation, le troupeau, le nombre de traites par jour...) et d'autres sont non identifiables (la saison, la météo...), (Robert-Granié, Legarra, and Ducrocq 2011)

#### **3.2.1.2 Le génotype**

Le génotype de l'animal se décompose en deux volets :

- Les effets additifs des gènes qui influencent le caractère, dont la somme est la valeur génétique additive.

- Les effets non additifs des gènes, qui comprennent les effets de dominance, c'est une interaction entre les allèles d'un même locus, et les effets d'épistasie, c'est une interaction entre les allèles de locus différents.

Un individu transmet la moitié de sa composante génétique additive à ses descendants. Un descendant hérite donc de la moitié des gènes de son père et de la moitié des gènes de sa mère. Si la vache haute productrice a été inséminée par la semence d'un taureau de qualité inférieure, la valeur génétique du descendant sera inférieure à celle de la mère. Seuls les gènes sont transmis du parent au descendant, les interactions entre gènes ou paires de gènes ne le sont pas. C'est pourquoi la sélection est basée sur la valeur génétique additive des animaux, (Boujenane 2003; Jussiau et al. 2013).

### **3.2.1.3 L'évaluation de la valeur génétique additive d'un candidat**

La valeur génétique additive d'un candidat est estimée soit à partir des performances des candidats ou de celles de leurs apparentées, c'est l'évaluation polygénique, soit à partir de l'étude des marqueurs moléculaires sur le génome d'un candidat, c'est l'évaluation génomique, (Jussiau et al. 2013).

### **3.2.2 L'héritabilité d'un caractère**

L'héritabilité est la part moyenne de la variabilité phénotypique qui est d'origine génétique additive pour un caractère et une population donnée. Le coefficient d'héritabilité (noté  $h^2$ ) indique, en sélection individuelle sur une performance, la fraction de la supériorité phénotypique sélectionnés des animaux imputable à cet effet additif. Il varie entre 0 et 1. Par exemple, un caractère avec une héritabilité de 0.18 signifie que 18% de la variabilité des performances est d'origine génétique additive. Les gènes expliquent donc 18% de la variabilité des performances. Les caractères à forte héritabilité sont des caractères plus faciles à sélectionner car une plus grande part de la variance phénotypique est due à l'action additive des gènes, et donc transmis à la descendance, (Jussiau et al. 2013; Barillet and Bonaïti 1992).

Les caractères quantitatifs peuvent être classés en trois groupes :

- Caractères à faible héritabilité  $h^2 < 0.25$  : pour ce groupe de caractère, les effets d'interaction des gènes et les effets du milieu sont prédominants. Pour de tel caractère, la sélection individuelle n'est pas intéressante. C'est par exemple le cas des caractères qui concernent la reproduction (fertilité...)
- Caractères à moyenne héritabilité  $0.25 < h^2 < 0.40$  : 25 à 40% des performances sont imputables à l'action additive des gènes. Les effets d'interaction entre gènes et les effets du milieu sont moyennement importants. La sélection individuelle est intéressante pour ces caractères. C'est par exemple le cas de la quantité de lait.

- Caractères à forte héritabilité  $h^2 > 0.40$  : Une part importante des écarts observés entre animaux s'expliquent par les effets additifs des gènes. La sélection individuelle est ici aussi à préconiser. C'est le cas par exemple du TP du lait.

Le tableau ci-dessous regroupe des exemples d'héritabilité pour les principaux caractères en race Montbéliarde, (Ricordeau et al. 1992).

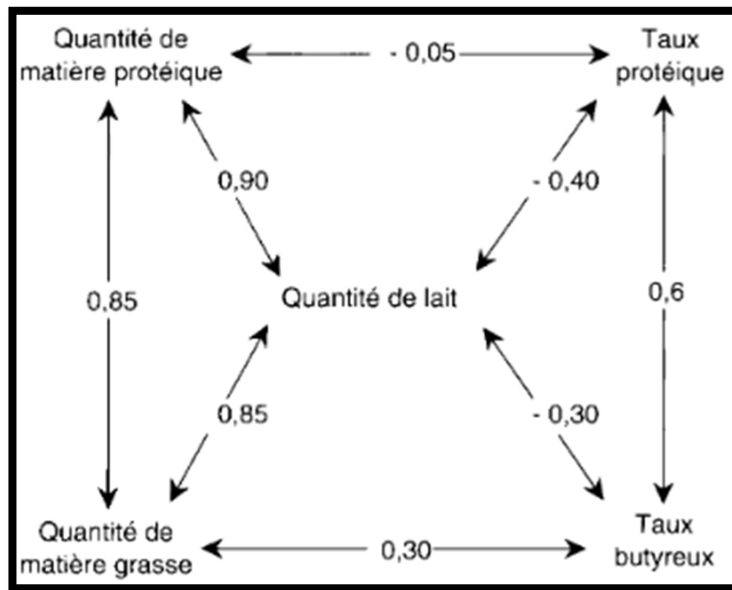
Tableau 4 : Héritabilité des principaux caractères en race Montbéliarde

$h^2$	Reproduction	Production laitière	Viabilité et résistance
0-0.04			Rétention de placenta (0.01)
0.05-0.09	Nombre IA/IAf (0.05) Intervalle vélage-insémination fécondante (0.08)	Durée de lactation (0.05)	
0.10-0.14			Résistance aux mammites (0.08)
0.15-0.24		QMP (0.17) Efficacité alimentaire (VL)	Tempérament (0.12)
0.25-0.29		Quantité de matières protéiques (0.25)	
0.30-0.39		Quantité de lait (0.30) Quantité de matières grasses (0.30)	
0.40-0.50		Taux protéique (0.50) Taux butyreux (0.50)	Rendement carcasse (0.50)

### 3.2.3 Corrélation génétique entre les caractères

Le coefficient de corrélation permet de mesurer, chez les individus, la liaison entre la valeur génétique additive de deux caractères. Le coefficient de corrélation varie de -1 à 1. S'il est compris entre -1 et 0, cela signifie que la corrélation entre les deux caractères est négative, et donc que l'amélioration de l'un entrainera la détérioration de l'autre. S'il est compris entre 0 et 1, la corrélation génétique est positive, la sélection aura un effet positif sur la sélection de l'autre. S'il est égale à 0, la corrélation est nulle et les valeurs génétiques additives entre les deux caractères évoluent indépendamment. A noter qu'une corrélation négative n'est pas forcément défavorable et une corrélation positive n'est pas toujours favorable. Par exemple, la production de lait et la fertilité ont une corrélation positive, ainsi la sélection sur la production a entraîné une dégradation des caractères de fertilité, (Jussiau et al. 2013).

Des exemples de corrélation entre caractères laitiers sont résumés dans le schéma ci-dessous (figure 6) :



6. Corrélations génétiques entre caractères laitiers chez les montbéliardes

On remarque que la sélection sur la quantité de lait entraîne des conséquences inévitables sur la qualité du lait. Elle réduit la richesse du lait, TP et TB (figure 6).

Tableau 5 : Corrélations entre production laitière et caractères présentés.

	Corrélation	
	Génétique	Phénotypique
Œdème de la mamelle	0.44	0.09
Mammites	0.15	0.02
Reproduction (infertilité)	0.1	-0.03
Non-délivrance	-0.28	-0.01
Mérite	0.02	-0.04
Kyste ovarien	0.23	0.01
Boiterie	0.24	0.04

La corrélation génétique définit le lien entre deux caractères influencés par des gènes semblables et la corrélation phénotypique définit l'évolution de deux caractères influencés simultanément par des facteurs génétique et relatifs au milieu, (Degryse 2015a).

### 3.2.4 Caractéristiques générales d'un index

#### 3.2.4.1 La valeur de l'index

L'index d'un animal correspond à sa valeur génétique additive estimée à partir de son phénotype ou de son génome. En moyenne un reproducteur transmet à ses descendants la moitié de sa valeur génétique estimée par son index, mais en moyenne seulement, (Jussiau et al. 2013).

### **3.2.4.2 Détermination de l'index en base fixe ou en base mobile**

L'index estime la supériorité génétique d'un reproducteur par rapport à un groupe de référence, qui constitue une base de référence. Il existe deux types de base, la base fixe ou la base mobile. La base fixe est composée d'un groupe invariable d'individus, tandis que la base mobile est composée d'individus qui changent à intervalle régulier. Un index est d'abord calculé en base fixe puis ils sont édités en base mobile qui change chaque année. La base mobile est composée pour une année  $n$ , d'animaux nés entre les années  $n-8$  et  $n-6$ , ayant deux parents connus, une lactation contrôlée ou un pointage et un coefficient de détermination supérieur ou égal à 0,30 pour les caractères dont l'index est publié pour les vaches.

En race Montbéliarde, le changement de base est annuel. Par conséquent les index des bovins en base mobile changent régulièrement. Pour comparer deux bovins, il est nécessaire d'exprimer leur index dans une même base. Le passage d'une base à l'autre est possible par simple calcul, (Jussiau et al. 2013; Verrier et al. 2009).

### **3.2.4.3 Le coefficient de détermination**

L'index est une estimation, la précision de cette estimation est donnée par le coefficient de détermination noté CD. C'est la précision de l'estimation de la valeur génétique additive d'un reproducteur. Les index publiés sont toujours accompagnés de leur CD, c'est un outil d'interprétation qui fait partie intégrante de l'appréciation de l'index. L'évaluation génétique est une procédure statistique, et donc l'index n'est pas connu avec certitude. Le CD permet de mesurer le degré de certitude avec lequel on connaît l'index, et le degré de confiance qu'on peut lui accorder. (Jussiau et al. 2013; Fouilloux and Laloë 2009; Boujenane 2003).

Les facteurs de variation du CD sont multiples. En sélection polygénique, la précision des index dépend de l'héritabilité du caractère. Un caractère à forte héritabilités a un CD d'index plus élevé et inversement. Elle dépend également du nombre d'informations connues et entrant dans le calcul de l'index et de la proximité génétique des performances qui lui sont reliées (ascendants, descendants ...). Elle dépend aussi des caractéristiques de la population de référence que sont la distribution génétique et phénotypique du caractère et ses relations génétiques avec les autres caractères indexés. Le CD d'un caractère augmente lors de l'évaluation génétique conjointe avec un autre caractère. Plus la corrélation génétique qui les unit est forte, plus l'augmentation du CD est forte.

La précision d'un index varie entre 0 et 1, un CD proche de zéro traduit un index imprécis alors qu'un CD proche de 1 indique un index très précis et l'ampleur des erreurs d'estimation est faible, (Fouilloux and Laloë 2009; Jussiau et al. 2013).

### **3.2.4.4 L'interprétation d'un index**

La valeur génétique d'un bovin est exprimée à une date donnée et est susceptible de changer avec l'arrivée de nouvelles performances ou lorsque d'autres animaux entrent en activité, (Guerrier et al. 2015).

L'index d'un bovin est la valeur numérique calculée pour classer ce bovin par rapport à d'autres bovins, généralement ceux de la population active en production. La valeur génétique d'un animal n'est pas importante en elle-même, c'est le classement vis-à-vis des autres bovins qui est intéressante. Pour comparer deux individus, les index doivent être exprimés dans la même base, (Boujenane 2003; Guerrier et al. 2015).

L'interprétation de l'index doit nécessairement tenir compte du coefficient de détermination. L'intervalle de confiance est la fourchette dans laquelle les valeurs génétiques vraies du reproducteur se situent. Par exemple, pour un taureau avec un index « lait » de +1000kg accompagné d'un CD de 0.70, sa vraie valeur génétique a 95% de chance de se trouver dans l'intervalle [463kg, 1537kg]. L'amplitude de l'intervalle diminue lorsque le CD de l'index augmente, (Jussiau et al. 2013).

Un index est l'estimation de la valeur génétique d'un animal pour une aptitude donnée. Elle est estimée en se basant sur les performances de l'animal ou sur la lecture de son génome. Un index est caractérisé par son héritabilité, son coefficient de détermination et sa corrélation avec les autres index. Il permet de comparer et de classer les bovins à condition qu'ils soient indexés dans la même base.

## **3.3 Calcul d'un index**

### **3.3.1 Calcul d'un index en sélection polygénique**

La sélection Montbéliarde a d'abord été menée sur les caractéristiques phénotypiques des animaux. Ces caractères sont mesurés par des pointeurs à l'aide d'une table de pointage éditée par les responsables raciaux. Des modèles statistiques sont utilisés pour décomposer le phénotype de l'animal à l'aide d'un modèle d'analyse afin d'en tirer la valeur génétique additive sur lequel se base le calcul de l'index. Les effets du milieu sont modélisés et intégrés dans l'équation, de même que les effets d'interactions entre les allèles. Le modèle inclut également un risque d'erreur.

Différents modèles statistiques existent pour indexer un bovin en sélection polygénique, le plus utilisé en race Montbéliarde est le modèle BLUP (Best Linear Unbiased Predictor). Le modèle BLUP repose sur un calcul matriciel qui permet de relier la performance de l'animal à sa valeur génétique additive. L'index est calculé quelle que soit la quantité d'informations disponible pour chaque bovin en résolvant des équations, toutes les relations de parentés sont utilisées (ascendants, descendants collatéraux). Le modèle BLUP est la référence internationale qui permet la comparaison et les échanges internationaux. Il concerne les mâles comme les femelles. L'inconvénient de ce

modèle est qu'il est complexe et coûteux notamment quand le phénotype ne peut pas être mesuré directement sur l'animal, c'est par exemple le cas des taureaux pour les caractères ne s'exprimant que chez les femelles. Quand le phénotype dépend essentiellement du milieu et donc que l'héritabilité est faible, l'efficacité du programme est limitée, (Colombani 2012; Jussiau et al. 2013; Launay 2015).

### **3.3.2 Calcul d'un index génomique**

La détermination d'un index génomique consiste à estimer la valeur génétique d'un animal à partir de la lecture de marqueurs moléculaires présents sur son génome. Elle repose sur différentes étapes.

La première étape commune aux deux types d'indexation est la constitution de la population de référence. Cette population est composée d'animaux génotypés et ayant des performances précises. La taille requise dépend de l'héritabilité du caractère, plus le caractère sera héritable, moins la taille requise de la population est importante et inversement, moins le caractère est héritable, plus la population de référence doit être grande. La deuxième étape est l'estimation des effets des allèles, par le biais de marqueurs moléculaires. Cette étape sera développée dans la partie suivante. La troisième étape est le calcul des index grâce à l'estimation de l'effet des allèles faite à partir de la population de référence. La prédiction génomique d'un index peut être complétée par les informations polygéniques, (Jussiau et al. 2013; S. Fritz et al. 2010).

Un index peut-être défini de deux façons, soit par calcul polygénique qui prend en compte les performances de l'animal et de ses apparentés, soit par calcul génomique qui prend en compte les performances de l'animal et de ses apparentés et de la lecture du génome de l'animal. Dans les deux cas, la définition de l'index repose sur des modèles statistiques.

## **3.4 Les différents index**

Les index présentés ci-dessous sont les index élémentaires et les index synthétiques. Les index élémentaires concernent un caractère précis de l'animal, il en existe une quarantaine. Les index synthétiques sont une combinaison des index élémentaires, ils traduisent les orientations de sélection de la race.

### **3.4.1 Les index élémentaires**

#### **3.4.1.1 Les index de production**

Les index de production sont quantitatifs et qualitatifs. Les principaux sont les suivants :

- Lait : Quantité de lait par lactation (kg)
- MP : Quantité de matières protéiques par lactation (kg)
- MG : Quantité de matières grasses par lactation (kg)
- TP : Taux protéique par lactation (g/kg)
- TB : Taux butyreux par lactation (g/kg)

#### **3.4.1.2 Les index morphologiques**

L'évaluation des caractères morphologiques repose sur l'examen des animaux avec la table de pointage. Elle concerne trente indicateurs élémentaires mesurés ou notés sur une échelle de 1 à 9. Les principaux caractères sont :

- Morphologie globale, qui regroupe quatre indicateurs que sont la taille, la largeur de poitrine, la profondeur de poitrine et la profondeur de flanc.
- Mamelle, qui regroupe six indicateurs, comme l'attache avant et arrière, la forme et la longueur des trayons, la vitesse de traite...
- Le corps et les aplombs, comprenant quinze indicateurs tels que l'équilibre, la longueur de bassin, la largeur aux hanches...

#### **3.4.1.3 Les index fonctionnels**

L'amélioration des caractères fonctionnels permet la diminution des coûts de production et l'augmentation de la productivité du travail. Ils concernent quatre familles d'aptitudes, (Ricordeau et al. 1992; Launay 2015; France génétique élevage 2011) :

- Santé de la mamelle, qui regroupe deux index :  
Les mammites cliniques, traduisant la résistance aux mammites.  
Le comptage cellulaire, traduisant indirectement la résistance aux mammites
- Reproduction, qui regroupe deux index :  
Fertilité des vaches et des génisses, qui traduit la fertilité post-partum des filles  
L'intervalle vêlage-première insémination, qui indique l'aptitude de retour en cyclicité post partum
- Longévité fonctionnelle traduisant l'aptitude des filles à avoir une longue carrière laitière indépendamment de leur niveau de production. L'objectif est de limiter les réformes involontaires.
- Les naissances et les vêlages qui regroupent :



Facilité de naissance et la facilité de vêlage, qui reflètent les conditions de naissance des veaux et les conditions de vêlages des filles des taureaux. Le but est d'éviter les accouplements à risques sur les génisses.

La vitalité à la naissance et aux vêlages, qui évalue la mortalité des veaux aux vêlages et 48h après la naissance.

### **3.4.2 Les index synthétiques**

#### **3.4.2.1 Généralités**

Pour aider les éleveurs dans leur choix de taureaux, les index élémentaires sont combinés en index de synthèse. Ils sont utilisés quel que soit le mode d'évaluation génétique classique ou génomique. Ils sont intéressants lorsque le nombre d'index devient important. Ils sont construits pour traduire au mieux les objectifs de sélection, ils doivent être partagés par tous les utilisateurs de la race. Plusieurs aspects sont pris en compte pour définir un objectif de sélection :

- Un aspect technique, par exemple privilégier des caractères pour faciliter le travail de l'éleveur, en prenant en compte les besoins futurs de la race
- Un aspect économique, le but étant de permettre à l'éleveur de gagner sa vie.

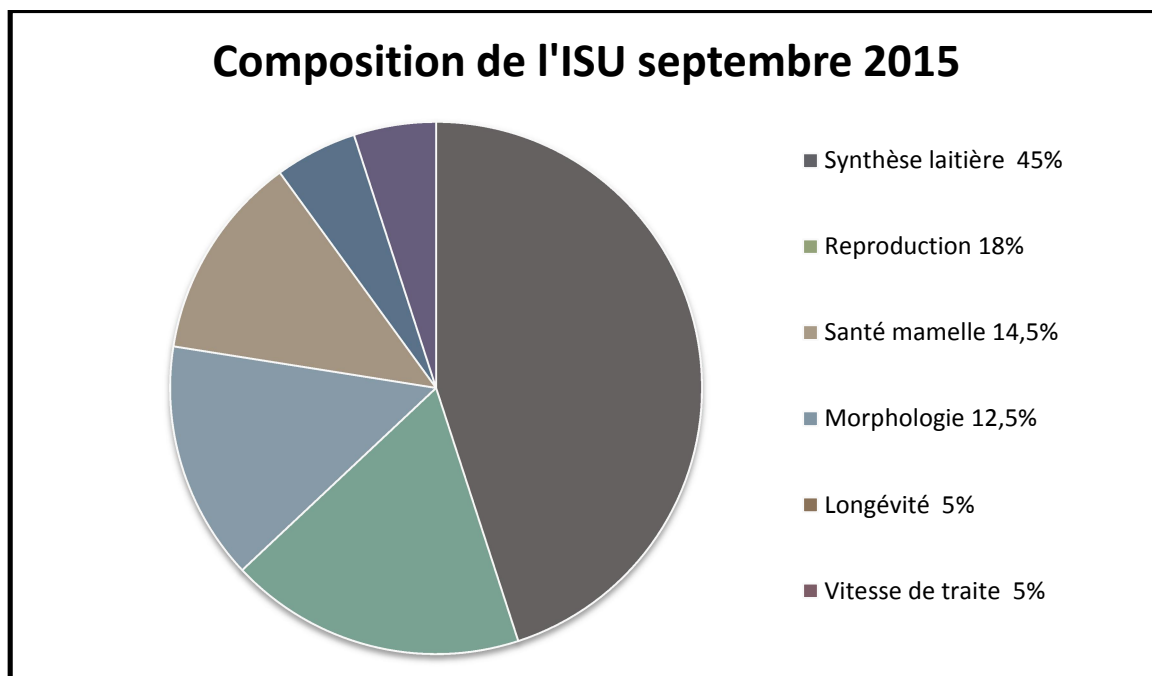
En pratique, l'index de synthèse est généralement utilisé pour effectuer un premier tri des reproducteurs avant de préciser son choix grâce aux index élémentaires selon les profils recherchés. La sélection s'appuyant sur les index de synthèse est plus efficace qu'une sélection par seuils successifs, c'est-à-dire en hiérarchisant les index par ordre d'importance. Elle permet aussi aux entreprises de sélection de proposer une gamme de reproducteurs avec des profils très différents aux éleveurs. En France, il existe deux index de synthèse, l'index de synthèse laitière ou INEL (index économique laitier) et l'index de synthèse de l'OS appelé ISU, (Leclerc 2009; Jussiau et al. 2013; Guerrier et al. 2015).

#### **3.4.2.2 L'Index de synthèse unique (ISU)**

L'ISU est un index complet combinant les caractères de production, les caractères fonctionnels et la synthèse des caractères morphologiques. Le poids laissé à chaque critère est spécifique pour chaque race selon les objectifs de sélection que l'OS a défini. L'objectif est de synthétiser l'information donnée par les différents index afin d'apprécier la valeur génétique globale des animaux de façon juste et rapide. L'ISU est identique pour les mâles et les femelles, même si certains caractères ne sont indexés que chez le mâle. Actuellement, l'ISU de la Montbéliarde prend en compte les caractères de reproduction, fonctionnels, morphologiques et de longévité avec un poids pour chaque critère évalué en tenant compte des corrélations entre les caractères, (Leclerc H 2009).

L'ISU montbéliarde en 2016 apporte la part la plus importante à la production laitière en quantité et qualité (tableau 6), à hauteur de 45%. Le deuxième caractère le plus représenté est la

reproduction, au titre de 18%. Les caractères de morphologie et de santé des mamelles prennent une part équivalente à hauteur de 13% environ. La longévité et la vitesse de traite sont représentés à hauteur de 5% chacun (figure 7 et tableau 6), (OS Montbéliarde 2016).



#### 7. Composition de l'ISU Montbéliard

Tableau 6 : Composition de l'ISU Montbéliard

Index de synthèse	Composition
Synthèse laitière	0.1 Matières protéiques + 0.1 Matières Grasses + 0.5 Taux butyreux + 0.3 Taux protéique
Reproduction	0.5 fertilité vache + 0.25 fertilité génisse + 0.25 IV-IA1
Santé mamelle	0.6 cellules + 0.4 mammites cliniques
Morphologie	0.4 mamelle + 0.3 corps + 0.15 aplombs + 0.1 bassin + 0.05 valeur bouchère

### 3.4.3 L'Index économique laitier (INEL)

L'index économique laitier ou INEL est la combinaison des index élémentaires ayant un impact économique direct pour l'éleveur (quantité de matières protéiques et de matières grasses ; taux protéique et butyreux). Alors que l'ISU est construit pour répondre aux objectifs de sélection de la race, l'objectif de l'INEL est de maximiser la marge globale d'une exploitation. L'INEL est commun à toutes les races. Il est aujourd'hui défini de la façon suivante :  $INEL = 0.98 (MP + 0.2 MG + TP + 0.5 TB)$ , (Leclerc 2009; France génétique élevage 2015).

Une quarantaine de caractères sont aujourd’hui indexés, ce sont les index élémentaires, et de nouveaux index sont d’ores et déjà à l’étude. Les index de synthèse sont construits à partir des index élémentaires de façon à traduire l’orientation de sélection de la race définie par l’organisme de sélection Montbéliard.

L’interprétation d’un index doit tenir compte de sa précision et la valeur d’un index ne doit pas être considérée au sens strict mais doit être comparée au reste de la population.

## **4. Les différentes méthodes de sélection**

### **4.1 La sélection classique**

#### **4.1.1 La sélection individuelle**

La sélection individuelle consiste à choisir les reproducteurs en fonction de leurs performances individuelles. La valeur génétique de l’animal est estimée uniquement à partir des performances propres de l’animal, (Verrier et al. 2009). Elle n’implique pas la tenue d’un état civil, ce qui est un avantage dans certaines situations. C’est également la méthode de sélection la plus simple à mettre en œuvre. Au niveau génétique, c’est une méthode qui permet une forte intensité de sélection avec un intervalle de génération court, (Jussiau et al. 2013). Son coût est réduit comparé aux autres méthodes. Le principal inconvénient est que l’on ne peut pas l’appliquer aux caractères qui ne s’expriment que dans un sexe ou que l’on mesure après l’abattage, (Verrier et al. 2009).

C’est une sélection à préconiser pour des caractères à héritabilité moyenne à élever dans la mesure où ils sont mesurables sur les candidats eux même, (Jussiau et al. 2013). La précision des index ainsi définie dépend directement de l’héritabilité, (Verrier et al. 2009).

#### **4.1.2 La sélection sur ascendance**

La sélection sur ascendance consiste à choisir les reproducteurs en fonction des informations dont on dispose sur leurs parents ou sur des ancêtres plus éloignés. Son intérêt principal réside dans la possibilité de faire un premier choix très précoce des reproducteurs, ce qui permet de minimiser l’intervalle de génération. C’est une méthode utilisée pour réaliser sans perte de temps, un premier tri des reproducteurs. Elle est simple et peu coûteuse, (Verrier et al. 2009). Cette méthode repose sur la disponibilité de fichiers d’état fiables et à jour. La précision de la sélection étant modérée, il est nécessaire d’éviter d’effectuer une forte pression de sélection à cette étape, (Launay 2015).

#### **4.1.3 La sélection sur descendance**

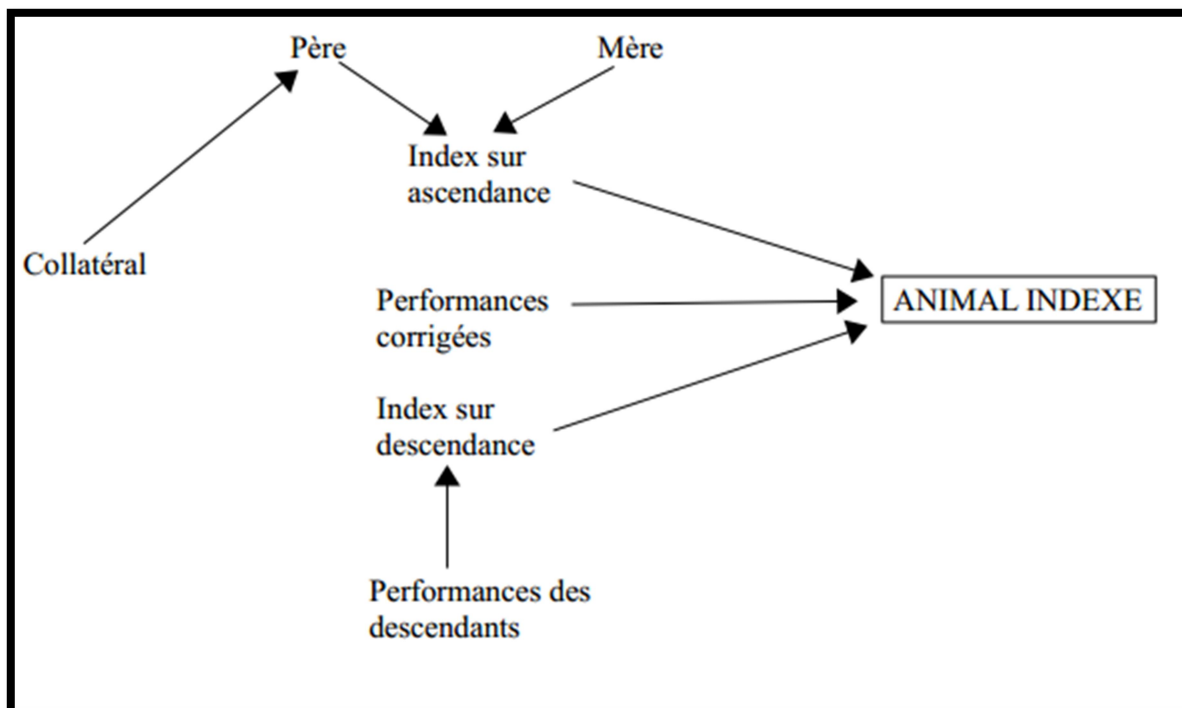
C'est la méthode habituellement utilisée par les entreprises de sélection. Elle consiste à indexer un individu grâce aux performances de leurs descendants. Le nombre de descendants conditionne la précision de l'index. L'avantage est que la précision de la sélection est élevée. Cette méthode permet d'obtenir des index pour tous les caractères. L'inconvénient est qu'elle est tardive surtout si la mesure du caractère nécessite que les descendants eux-mêmes se soient reproduits. Les résultats arrivent lorsque les pères sont déjà âgés (6 ans pour les Montbéliards). L'intervalle de génération est allongé. L'organisation de la sélection demande un travail de coordination et une logistique importante. Le nombre de descendants doit être élevé et donc le prix de cette sélection est par conséquent important. Cette méthode s'impose pour les caractères faiblement héritable et sur les caractères fortement héritable mais non mesurables sur le candidat, (Jussiau et al. 2013).

#### **4.1.4 La sélection sur collatéraux**

La valeur génétique est estimée à partir de la performance d'un échantillon de collatéraux (frères, sœurs, demi frères, demi sœurs). C'est une méthode non utilisée en bovin laitier, du fait de son manque de précision, (Jussiau et al. 2013)

#### **4.1.5 Combinaison des méthodes et évaluation génétique**

Trois sources d'informations sont pondérées selon l'intérêt relatif qu'elles présentent dans le calcul de l'index : son index sur ascendance, ses performances corrigées et son index sur descendance (figure 8). L'index des mâles dépend surtout de la descendance, tandis que l'index des femelles dépend surtout de l'ascendance et des performances propres de l'animal, (Bonaiti et al. 1990).



#### 8. Prise en compte des différentes sources d'information dans l'indexation d'un bovin

Dans le cas où seule l'ascendance est connue, la valeur génétique de l'individu est égale à la moyenne de la valeur génétique de ses deux parents. Le tableau suivant présente la contribution de chaque source d'information en fonction du nombre de descendants de l'individu (en partant de l'hypothèse que les parents du taureau sont connus). Lorsque le nombre de filles est suffisant, le poids de l'ascendance est quasiment nul, (Bonaiti et al. 1990).

Tableau 7 contribution de chaque source d'information en fonction du nombre de descendant de l'individu

Situation considérée	Poids de l'ascendance	Poids de la descendance	Contribution relative %	
			Ascendance	Descendance
20 filles de mère connue	2	10	17	83
50 filles de mères connues	2	25	7	93
1000 filles de mère connue	2	500	0.4	99.6

Chez les femelles, la contribution des différentes sources d'information dépend du caractère. Pour les caractères héritables, les performances de l'animal ont une contribution importante tandis que pour les caractères peu héritables, le poids de l'ascendance reste important, (Bonaiti et al. 1990).

La sélection polygénique consiste à définir la valeur génétique des bovins à partir des performances de l'animal et de celles de ses apparentés. Plus la quantité d'information est importante, plus l'indexation sera précise. C'est la méthode de sélection classiquement utilisée dans les programmes de sélection.

## 4.2 La sélection génomique

### 4.2.1 Notions préalables

#### 4.2.1.1 Les marqueurs génétiques

Les marqueurs génétiques sont de courts segments d'ADN sans fonction connue, situés dans des parties non codantes du génome, donc sans effets sur les caractères phénotypiques. Les marqueurs ont plusieurs propriétés essentielles, (Degryse 2015b).

- Ils sont très polymorphes, c'est-à-dire qu'il y a un nombre d'allèles important au sein d'une population et que leur fréquence est assez proportionnelle entre les individus.
- Ils sont facilement repérables et génotypables
- Ils ont une faible distance génétique avec le gène d'intérêt
- Ils sont en déséquilibre de liaison avec le gène d'intérêt, c'est-à-dire que le marqueur est lié préférentiellement au gène d'intérêt.

Les principaux marqueurs exploités en génomique animale sont les microsatellites et les SNP (Single Nucléotide Polymorphisme).

Les microsatellites sont des séquences d'ADN contenant une répétition d'un motif très court de 2 à 5 bases (répété 10 à 20 fois en moyenne). Leur polymorphisme est très élevé (il y a de nombreux allèles), par conséquent ils sont très informatifs. Cependant leur fréquence d'apparition est limitée le long du génome et non uniforme. De plus le coût de génotypage des microsatellites est important ce qui justifie leur faible utilisation, (Jussiau et al. 2013).

Les SNP, il s'agit de mutation ponctuelle d'une seule base. Leur polymorphisme est limité à deux allèles. Ils sont intéressants de par leur abondance dans le génome, il y a donc une faible distance entre le marqueur et le gène d'intérêt. Le coût de génotypage est réduit, (Jussiau et al. 2013).

Le rôle de ces marqueurs est essentiel puisqu'ils permettent le balisage du génome en constituant des repères sur les molécules d'ADN. Ils servent également au marquage de zones chromosomiques qui permet de les suivre à travers les générations. Les marqueurs génétiques sont repérés facilement grâce à des puces à ADN. Les puces sont des lames de verre ou de silicium sur lesquelles sont creusés des puits ou se trouvent des sondes à ADN. Avec ces sondes, les marqueurs d'hybrident s'ils sont présents dans le génome. Les puces à ADN sont un outil à l'analyse des SNP, (Jussiau et al. 2013).

#### **4.2.1.2 Les QTL**

Les QTL, pour quantitative trait locus, sont des segments chromosomiques qui gouvernent en partie un caractère quantitatif. Les allèles qui occupent le QTL ne sont pas identifiés, mais ils sont impliqués dans le déterminisme du caractère. Les QTL sont repérés grâce aux marqueurs génétiques qui les entourent, (Jussiau et al. 2013). La recherche de QTL repose sur le principe que les allèles du marqueur sont liés au QTL, et donc ne se séparent pas pendant la méiose et sont transmis ensemble à la génération suivante. De cette façon on peut associer la transmission d'un allèle du marqueur, et donc d'un allèle du QTL, à un niveau de performances chez les descendants. Les marqueurs permettent donc de positionner et de suivre les QTL, (Colombani 2012).

#### **4.2.1.3 Déterminisme génétique d'un caractère à partir des marqueurs moléculaires**

Les premières tentatives de déterminisme génétique d'un caractère ont consisté à remonter la chaîne qui va de la protéine au gène, en vérifiant l'effet possible d'un gène candidat. Cette méthode a connu du succès pour certains caractères tels que le rôle du gène alpha-caséine dans la composition du lait, mais se révèle insuffisante pour les caractères complexes en raison du grand nombre de gènes candidats et du fait qu'on ne les connaisse pas tous. La recherche à l'aide de marqueurs moléculaires est souvent préférable, bien qu'elle ne permette pas d'identifier le gène responsable d'un caractère, mais seulement sa localisation, qui suffit à son utilisation, (Boichard et al. 1998).

La méthode générale de l'évaluation d'un caractère par la génomique repose sur la constitution d'une population de référence suffisamment grande. Elle est constituée d'individus qui disposent à la fois des phénotypes et des génotypes des marqueurs pour l'ensemble du génome. Cette population permet d'analyser les relations entre phénotypes et marqueurs. C'est un outil de prédiction du génome, la valeur de chaque segment chromosomique pour un caractère donné est estimée. A partir de ces estimations, la valeur phénotypique d'un individu peut être déduite de l'analyse de son ADN à partir des marqueurs, (Boichard, Guillaume, Baur, Colleau, Croiseau, et al. 2010).

### **4.2.2 La mise en place de la sélection génomique**

#### **4.2.2.1 Programme français de détection des QTL**

Les schémas de sélection bovine laitière ont été les premiers à utiliser la génomique. De nombreux travaux de détection des QTL ont été mis en place dans le monde pour les races laitières. Le but était de préciser la localisation des QTL et la variance génétique expliquée par ceux-ci. En France, le programme de détection de QTL a été mis en place de 1996 à 1999, dans les trois principales races laitières. Il a abouti à la mise en évidence de plusieurs centaines de QTL, pour 24

caractères d'héritabilité variée. Dans cette première étude, les marqueurs moléculaires utilisés étaient des microsatellites. Il a permis d'étudier en détails le déterminisme génétique de caractères portant sur la production, la composition du lait, la longévité, la fertilité (taux de réussite à l'insémination) et la résistance aux mammites (estimée par la numération cellulaire du lait). Au total, 1554 taureaux issus de 14 pères dont deux montbéliardes ont été génotypés sur 169 marqueurs microsatellites. Malgré ces premiers résultats encourageants, la localisation des QTL et leurs parts de variances qu'ils expliquaient nécessitaient confirmation, (Boichard et al. 2003 ; Fritz et al. 2003).

#### ***4.2.2.2 La sélection assistée par marqueurs de 1<sup>ère</sup> génération ou SAM1***

La mise en place du programme SAM a été motivée par les résultats encourageants du programme de détection de QTL. Ce programme a été réalisé de 2001 à 2008 pour les races Holstein, Normande et Montbéliarde, (Guillaume et al. 2011).

Entre 2001 et 2007, l'évolution du programme porte sur différents points :

- L'évolution des connaissances sur les QTL, le génotypage d'un grand nombre de bovins a permis de valider en grande partie les résultats obtenus lors du programme précédent. Les différences obtenues concernent les caractères à faible héritabilité. Le programme permet de suivre 43 marqueurs microsatellites pour suivre 14 régions QTL impliquées dans le déterminisme génétique de 7 caractères.
- Des efforts de génotypage, qui permettent le suivi des QTL de génération en génération, permettent au programme de gagner en efficacité au fil du temps. Les effets des QTL s'appuyaient sur 1600 taureaux génotypés en 2002, et en 2007 sur 7636 animaux. La situation est donc beaucoup plus favorable aujourd'hui pour estimer l'effet des QTL.
- L'augmentation de la précision des index, permis par l'intégration des QTL dans le modèle d'évaluation génétique. Le gain de CD calculé dans le cadre de la SAM mesure les précisions gagnées par rapport au modèle polygénique, (Fritz et al. 2003; Fritz et al. 2007).

Le programme SAM 1 aura permis le génotypage de plus de 70 000 bovins dans les trois races laitières nationales. Il aura été le support de nombreuses détections de QTL. Il a également été utile pour préparer les entreprises de sélection à intégrer la SAM dans leur schéma de sélection, (Guillaume et al. 2011).

#### ***4.2.2.3 La sélection assistée par marqueurs de 2<sup>e</sup> génération ou SAM2***

Le programme d'évaluation assistée par marqueurs mis en place en 2008 est dans la continuité du premier. La principale évolution est l'utilisation d'haplotype de marqueurs. Un haplotype est une combinaison de gènes non allèles situés sur un même chromosome, transmis en bloc à la descendance, (Jussiau et al. 2013). L'effet des QTL est suivi à l'aide d'haplotype de six SNP. Le déséquilibre de liaison entre un caractère et un haplotype est plus élevé qu'avec un marqueur seul, ainsi un haplotype peut être associé de manière quasi unique à un allèle du QTL. Le nombre de



caractères ainsi mesuré passe de 15 en début de programme à 25 caractères en fin de programme. Le modèle suit l'effet de 20 à 35 QTL, intégré avec les effets polygéniques dans l'indexation des bovins, (Guillaume et al. 2009).

La fin de ce programme est marquée par l'autorisation de l'utilisation du modèle sur le terrain. Dès 2008, les évaluations génomiques montbéliardes étaient à dispositions des entreprises de sélection en utilisant ce modèle. En 2009, la diffusion de taureaux connus uniquement par leur index génomique est autorisée, (Fritz et al. 2010).

#### ***4.2.2.4 La sélection génomique***

Un nouveau projet mis en place en 2010 a permis d'améliorer les outils existants et de basculer vers la sélection génomique pour tous les caractères évalués en sélection polygénique, (Guillaume et al. 2009).

L'évaluation génomique apporte des changements dans la méthode d'indexation, la population de référence sur laquelle repose l'évaluation génomique est composée de 1500 taureaux Montbéliards. Les génotypages sont réalisés en routine par la puce « BovineSNP50 », qui contient 54001 marqueurs SNP. D'autres puces à basse ou moyenne densité sont également à disposition des entreprises, elles sont moins puissantes et le coût est moindre. La méthodologie utilisée pour l'évaluation génomique est le modèle BLUP-QTL qui prend en compte conjointement l'effet de la composante génomique et l'effet de la composante polygénique restante. Au total entre 300 et 700 QTL sont utilisés pour l'évaluation génétique d'un caractère donné, (Fritz et al. 2010).

L'outil de sélection génomique s'est ouvert aux femelles en 2011. Elle permet de bénéficier d'index aussi précis pour les jeunes femelles que pour les jeunes mâles. Malgré la précision grandissante de la sélection génomique, le contrôle des performances reste essentiel pour garantir l'efficacité des évaluations à long terme. Il est également nécessaire que la population de référence soit renouveler régulièrement, (Fritz et al. 2010).

#### ***4.2.2.5 Evolution de la sélection génomique***

Depuis sa mise en place, la méthode de sélection génomique continue d'évoluer et de s'améliorer régulièrement. Son évolution repose sur différents points.

##### **Accroissement de la population de référence**

En 2009, l'évaluation génomique était fondée sur une population de référence constituée de taureaux. A chaque taureau est attribuée une performance, appelée DYD pour « Daughter Yield Déviation » qui correspond à la performance moyenne de ses filles. L'évolution de la population de référence était limitée jusqu'en 2015 aux taureaux mis en service chaque année, car c'était les seuls individus pour qui les connaissances nécessaires étaient acquises. A partir de 2011, le génotypage des femelles s'est développé de sorte qu'en 2014, il y a un nombre conséquent de femelles avec performances, qui sont intégrées dans la population de référence. Même si une femelle est moins

informative qu'un taureau (tableau 8), l'augmentation de l'effectif permet une augmentation de la précision des indexations, (Ducrocq and Fritz 2015). La prise en compte des femelles et des mâles dans la population de référence n'est pas la même. Le poids accordé aux femelles dans cette population dépend de l'héritabilité du caractère. L'équivalence entre un taureau avec descendance et des vaches avec une performance est présentée dans le tableau suivant. Les performances des femelles influencent directement leur index génomique. La prise en compte de leurs performances est intéressante surtout pour les caractères hérissables comme la production laitière, la morphologie et les comptages cellulaires. En revanche, pour les caractères peu hérissables comme la fertilité, l'impact est faible, (Ducrocq and Fritz 2015).

Tableau 8 : équivalence entre un taureau avec descendance et des vaches avec une performance

CD taureau hors ascendance	H <sup>2</sup> =0.05	H <sup>2</sup> =0.1	H <sup>2</sup> =0.2	H <sup>2</sup> =0.3	H <sup>2</sup> =0.4	H <sup>2</sup> =0.5
0.40	12.7	6	2.7	1.6	1	0.7
0.50	19	9	4	2.3	1.5	1
0.60	28.5	13.5	6	3.5	2.3	1.5
0.70	44.3	21	9.3	5.4	3.5	2.3
0.80	76	36	16	9.3	6	4
0.90	171	81	36	21	13.5	9

On peut voir que pour les caractères hérissables tels que la production laitière quantitative (h<sup>2</sup>=0.3 et CD=0.7), on a un équivalent de 1 taureau avec descendance pour 5.4 vaches avec performance. Cela permet de multiplier la population de référence par 2.5. En revanche pour un caractère peu hérissable comme la facilité de vêlage, (h<sup>2</sup>=0.05 et CD=0.60) on a une équivalence de 1 taureau pour 28.5 vaches, l'augmentation est donc moins importante.

## Méthodologie

Le nombre de QTL par caractère a fortement augmenté pour atteindre 3000 QTL. Ils sont suivis par des haplotypes de 4 SNP dont la construction a été optimisée, (Ducrocq and Fritz 2015).

### **4.2.2.6 Bilan, évolution de la sélection génomique**

L'évolution de l'efficacité de la sélection génomique est liée à l'évolution de sa population de référence, et aux nombres de QTL mis en évidence et des marqueurs qui permettent leur suivi.

Evolution de la population de référence :

La population de référence évolue, le nombre de taureaux augmente, en passant de 700 à 2650 (tableau 9), (INRA prod animal 2015).

Tableau 9 : Composition de la population de référence

Période	2008-2008	2010-2014	2015
Taille population de référence	700 taureaux	1500 taureaux	2650 taureaux 22000 vaches

### Evolution du nombre de QTL et de marqueurs

Le nombre de QTL utilisé par caractère a considérablement augmenté, de même que le nombre de marqueurs. De nombre de caractères indexés est passé de 7 en 2001 à 40 en 2015 (tableau 10), (INRA prod animal 2015).

Tableau 10 : Evolution des méthodes

Programme	Années	Nombre moyen de QTL utilisés par caractères	Nombre de marqueurs	Nombre de caractères indexés
<b>SAM1</b>	2001-2007	14	43 microsatellites	7
<b>SAM2</b>	2008-2009	50	Haplotype 6 SNP par QTL	25
<b>SAMG</b>	2010	500	54001 SNP (haplotype 4 SNP par QTL)	40
<b>SAMG 2015</b>	2015	3000	54001 SNP (haplotype 4 SNP par QTL)	40

### Evolution de la précision des index de la nouvelle évaluation génomique 2015

Pour la voie mâle, la nouvelle méthode d'évaluation génomique permet une amélioration nette de la précision des index. En particulier pour les jeunes mâles de moins d'un an dont les CD gagnent de l'ordre de 9 à 13 points. Pour les taureaux sans fille, le gain de CD est moins important, en moyenne 6 à 7 point (tableau 11). Cette évolution de la précision des index est due principalement à l'inclusion des femelles dans la population de référence. En revanche, le CD moyen des taureaux confirmés ne change pas, (Fritz et al. 2010; Ducrocq and Fritz 2015).

Tableau 11 : Evolution de la précision des méthodes, gain de CD avant (déc. 2014) et après (mars 2015) d'une population de jeunes veaux de moins d'un an

Caractère	CD de la sélection génomique méthode 2010	CD de la sélection génomique méthode 2015
<b>Production</b>	64	68
<b>Morphologie</b>	54	67
<b>Repro</b>	53	60
<b>Longévité</b>	47	56
<b>Moyenne</b>	53	63

Pour la voie femelle, le changement principal est la prise en compte et la valorisation des performances des femelles génotypées. Les index des vaches évoluent tout au long de leur carrière. Les performances des femelles modifient les évaluations génétiques et apportent une information plus précise (tableau 12). Cette nouveauté concerne les caractères héritables comme la production, la morphologie, le comptage cellulaire. Pour les autres caractères seules les performances moyennes des descendance sont utilisées.

Pour les caractères non pris en compte, les CD moyens des index sont proches de ceux des jeunes taureaux sans filles, et augmentent de la même manière. Le CD gagne de l'ordre de 9 à 13 points. Il en est de même pour les caractères pris en compte mais pas encore exprimés. La prise en compte des performances individuelles permet ensuite la progression des CD, (Ducrocq and Fritz 2015).

Tableau 12 : Evolution de la précision des index avec la nouvelle évaluation génomique des femelles

	CD moyens 2014	CD moyens 2015	Variation CD
<b>Lactation 0- INEL</b>	61	70	+9
<b>Lactation 1 – INEL</b>	64	74	+10
<b>Plus de deux lactations – INEL</b>	65	78	+13
<b>Morphologie</b>	65	74	+9
<b>Longévité</b>	52	59	+7
<b>Fertilité</b>	56	62	+6

#### 4.2.3 Efficacité de la méthode

La validation de la méthode se fait en comparant les performances des animaux aux performances attendues par l'évaluation génomique. C'est l'étude de la corrélation entre l'index et la production réelle. Pour les jeunes taureaux, les corrélations entre index et performances sont de 0.74 en moyenne, et de 0.73 pour l'ISU. Individuellement les variations d'index peuvent-être

importantes, avec des fourchettes de +/-20 points d'ISU et de +/-18 points d'INEL pour 95% des taureaux environ. Pour les taureaux confirmés nés entre 2006 et 2009, les corrélations entre performances et les index sont très satisfaisantes. Par exemple elle est de 0.95 pour l'ISU, et 0.97 pour l'INEL. Pour les femelles, la corrélation et les variations sont comparables à ceux des taureaux sans filles, (Ducrocq and Fritz 2015).

La sélection génomique repose sur la détection dans le génome de régions responsables d'une partie de la variabilité génétique d'un caractère. Ces régions sont les QTL (pour Quantitative Trait Locus), ils présentent des formes (allèles) associées à des effets différents sur les caractères. Le suivi des différents allèles d'un QTL de génération en génération est réalisé à l'aide de marqueurs situés dans la même région du génome. La population de référence est un groupe d'animaux dont on connaît à la fois le génotype et le phénotype, et permettent de faire la correspondance entre les groupes de marqueurs et leur effets apparents sur le phénotype. La méthode, développée dans les années 1990, n'a cessé de progresser et d'évoluer, son efficacité a augmenté.

Le génotypage nécessite un prélèvement biologique (sang, cartilage), à partir duquel l'ADN est extrait. Les marqueurs sont ensuite repérés grâce à une puce qui balise le génome. Les puces les plus répandues aujourd'hui ont un maillage de 54 000 SNP et permettent d'encadrer des régions contenant en moyenne deux gènes.

## **4.3 Comparaison des méthodes de sélection**

### **4.3.1 Comparaison des CD**

Le gain de CD permis par les méthodes récentes de sélection concerne les caractères héréditaires, comme les caractères peu héréditaires. Le tableau 13 compare la précision des index polygéniques et génomiques pour les index de production laitière (héréditarité moyenne) et pour la fertilité (faible héréditarité) chez les vaches et les taureaux, (Jussiau et al. 2013).

Tableau 13 : Comparaison de la précision des index polygénomiques et génomiques pour la fertilité (héritabilité faible) et le lait (forte héritabilité)

			Age du bovin			
			0	4 ans	5 ans	6 ans
VACHE	CD de l'index fertilité	Polygénomique	0.20	0.25		
		Génomique	0.55	0.60		
	CD de l'index lait	Polygénomique	0.35	0.50		
		Génomique	0.65	0.70		
TAUREAU	CD de l'index fertilité	Polygénomique	0.20		0.45	0.95
		Génomique	0.55		0.95	0.95
	CD de l'index lait	Polygénomique	0.35		0.75	0.95
		Génomique	0.65		0.95	0.95

A la naissance, la précision des index génomiques est très supérieure à la précision des index polygénomiques sur ascendance, chez les mâles comme chez les femelles. Le gain de précision est plus important concernant les caractères à faibles héritabilité, +175% pour la fertilité et +86% pour le lait. Chez les femelles, la prise en compte de la première lactation (4ans) permet de gagner quelques points de CD avec les deux méthodes.

Pour les taureaux, la génomique est bénéfique pour la précision des caractères peu héréditaires. La précision des index génomiques à la naissance est supérieure à celui des index polygénomiques après testage (5ans). Avec l'intégration des lactations des premières filles (5ans), la précision de l'index génomique est très bonne (0.95) alors qu'il faut attendre l'âge de huit ans pour bénéficier d'index aussi précis en sélection polygénomique. Concernant les caractères moyennement héréditaires comme la production laitière, les index initiaux à la naissance sont moins précis que les index des taureaux issus de testage (5ans). En revanche, en accumulant toutes les informations, on atteint des précisions de 0.95 à 5ans au lieu de 8, (Jussiau et al. 2013).

#### 4.3.2 Comparaison de l'intervalle de génération

L'intervalle de génération correspond à l'âge moyen des parents à la naissance de leurs descendances susceptibles d'être conservés comme reproducteurs. L'intervalle de génération influence la quantité du progrès génétique. Plus l'intervalle de génération est court, plus le progrès génétique est rapide. La diminution de l'intervalle de génération a parfois un effet négatif sur la précision de l'estimation, c'est pourquoi il est nécessaire de trouver un compromis entre minimiser l'intervalle de génération et avoir une précision satisfaisante, (Jussiau et al. 2013; Boujenane 2003).

L'intervalle de génération dépend de :

- L'âge de mise en service des reproducteurs
- La durée de gestation
- La durée d'utilisation des reproducteurs d'une génération

L'utilisation de la génomique permet de réduire l'âge de mise en service des taureaux et joue sur la durée de leur utilisation, (tableau 14), (Boichard, Guillaume, Baur, Colleau, Coiseau, et al. 2010).

Tableau 14 : Représentation d'un programme de sélection de bovin laitier conventionnel avec testage sur descendance ou sélection génomique

Années	Sélection classique avec testage	Sélection génomique sans testage
0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Choix des pères (6ans, testés)</li> <li>- Choix des mères (information réduite)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Choix des pères (1.5 ans, génotypés, non testés, nombreux)</li> <li>- Choix des mères (1.5 ans, génotypées)</li> </ul>
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Naissance, achat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Naissance, génotypage, évaluation génomique, sélection</li> </ul>
2.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en testage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diffusion des jeunes taureaux</li> </ul>
3.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Naissance des filles de testage (100)</li> </ul>	
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Performances des filles</li> <li>- Indexation sur descendance</li> <li>- Sélection et diffusion des taureaux</li> </ul>	

La génomique permet de connaître la valeur des futurs reproducteurs très tôt dans leur vie avec une fiabilité supérieure à celle obtenue au même âge par la sélection classique. L'intervalle de génération est réduit de moitié et le progrès génétique est donc plus rapide, (Degryse 2015b).

#### 4.3.3 Corrélations entre performances et index, et efficacité de la méthode

Le tableau ci-dessous présente les corrélations entre les index génomiques précoces et la performance des filles concernant 500 taureaux Montbéliards selon trois méthodes. L'efficacité s'améliore avec l'évolution des méthodes, (tableau 15), (Ducrocq and Fritz 2015).

Tableau 15 : Corrélations entre les index et les performances des taureaux, en sélection polygénique et génomique

	Sélection polygénique (80 filles)	SG2010	SG2015
ISU (pts)	0.96	0.50	0.74
Lait (kg)	0.97	0.54	0.56
INEL (pts)	0.97	0.40	0.43
Longévité	0.82		
Fertilité	0.90		
Cellule	0.98		
Morphologie	0.98		

Chez les femelles, les corrélations entre index et performances varient de 0.65 à 0.79 (tableau 16). Les plus fortes corrélations concernent les caractères morphologiques et la fertilité tandis que les plus faibles corrélations concernent les caractères laitiers et la longévité. Les corrélations entre index génomiques et performances sont présentées dans le tableau ci-dessous, (Ducrocq and Fritz 2015).

Tableau 16 : Corrélations entre index génomiques et performances chez les femelles

Caractères	Corrélation entre index génomique 2015 et performances
ISU (pts)	0.75
Lait (kg)	0.69
INEL (pts)	0.70
Longévité	0.65
Fertilité	0.78
Cellule	0.75
Morphologie	0.79

#### 4.3.4 Bilan

- Voie mâle :

Chez les jeunes taureaux sans fille, la génomique permet d'obtenir des index plus fiables et dès leur plus jeune âge, ce qui permet de mettre les jeunes taureaux en service plus tôt, et donc de diminuer l'intervalle de génération. Le testage sur descendance est toutefois nécessaire pour obtenir des index avec une fiabilité optimale, (tableau17), (Degryse 2015b).

Tableau 17 : Comparaison de l'indexation des mâles en sélection polygénique et génomique.

Age	Indexation sur descendance		Indexation génomique	
	Etape	CD	Etape	CD
1.5 an	Mise en testage	0.30	Diffusion d'après index SAM	0.50 à 0.60
5 ans	Fin de testage et diffusion	0.70 à 0.80	Index suite à la première diffusion	0.95 (+200filles)
8 ans	Index des filles de service	0.95		

- Voie femelle



La sélection génomique permet d'obtenir des index fiables pour les jeunes femelles, qui évoluent en fonction de leur carrière et de leur performance, (Degryse E 2015a).

La sélection génomique permet d'obtenir une évaluation de la valeur génétique d'un bovin dès le plus jeune âge et de diminuer l'intervalle de génération en permettant aux taureaux d'être utilisés dès leur maturité sexuelle sans attendre leur descendance. Malgré tout, elle possède une fiabilité inférieure à la sélection par testage sur descendance.

## 5. Perspectives d'utilisation

### 5.1 Gestions des populations et variabilité génétique

#### 5.1.1 Etude de Colleau

Face à l'arrivée de la génomique, il est vite apparu nécessaire de fournir des recommandations aux entreprises de sélection sur son utilisation pour limiter ses effets négatifs sur la diversité génétique tout en optimisant le progrès, (Guillaume et al. 2011).

L'étude présentée ci-dessous est une simulation de programmes de sélection. Trois schémas de sélection sont simulés, le progrès génétique et la diversité génétique sont ensuite comparés. Dans cette étude, la sélection est supposée s'exercer pendant 20 ans sur l'index synthétique ISU ( $h^2=0.20$ ), (Colleau et al. 2015).

Trois scénarios sont étudiés :

- Le scénario de référence : dans ce cas, la génomique est utilisée mais le programme habituel de contrôle sur descendance est continué. Cent trente taureaux, choisis grâce à la génomique, sont testés par an, mais ne pratiquent que 11% des inséminations artificielles, le but étant d'avoir 80 filles adultes par taureau. D'après les résultats des 80 filles, les 15 meilleurs taureaux sont utilisés en pères à taureaux et père à vaches pendant 2 ans.
- Le scénario dit d'accélération maximum : ce scénario utilise que des jeunes taureaux. Ces derniers, au nombre de 80 sont issus de 80 pères différents et constituent la génération suivante, c'est-à-dire chaque père à taureau à un fils qui sera diffusé. Leur diffusion est homogène, les 80 taureaux ont le même nombre de dose et sont utilisés de manière équivalente.
- Le scénario mixte : ce scénario est un mixte entre le scénario de référence et le scénario d'accélération maximum. Il est semblable à la stratégie de diffusion des taureaux des entreprises de sélection en 2009. La moitié des inséminations est assurées par 80 jeunes taureaux génomiques. Les 20 meilleurs sont utilisés pour une diffusion large (environ 1300 filles par taureau) et les 60 autres sont en diffusion limitée (environ 400 filles par taureau). A

partir des informations sur la descendance de ces taureaux, six ans plus tard, les 20 meilleurs sont réutilisés pendant 2 ans, et produiront 2500 filles environ. Ainsi pour une année donnée, 60 pères à taureau sont utilisés, la moitié des IA est réalisée avec les 20 meilleurs jeunes, un quart des IA avec les 20 meilleurs taureaux de 6 ans et le dernier quart avec les 20 meilleurs taureaux de 7 ans.

Ces différents scénarii sont comparés, deux aspects sont analysés : le progrès génétique réalisé et l'évolution de la consanguinité. Tout d'abord, les deux scénarios d'accélération maximale et mixte permettent une augmentation supérieure de 80 % du progrès génétique annuel par rapport au scénario de référence. Le scénario d'accélération maximale est beaucoup plus favorable au maintien de la variabilité génétique que le scénario mixte. Le coût du scénario d'accélération maximale a été estimé et n'est pas supérieur au scénario de référence, en place aujourd'hui.

Les résultats de cette étude concluent donc que le testage sur descendance peut-être abandonné sans risque d'altérer le progrès génétique. D'un point de vue du maintien de la variabilité génétique, l'optimum est d'utiliser un grand nombre de taureaux à la fois en père de service et en père à taureau, tout en assurant l'homogénéité de diffusion des mâles, (Colleau et al. 2015).

### **5.1.2 Les conséquences pratiques**

L'étude précédente met en évidence les pratiques idéales pour optimiser l'utilisation de la génomique et empêcher une détérioration de la variabilité génétique. Il est jugé nécessaire que les entreprises de sélection modifient leurs pratiques, (Boichard D, Guillaume F, Baur A, Colleau J.J, Coiseau P, et al. 2010). Le point essentiel mis en évidence dans cette étude est que la gestion des accouplements ne doit plus se faire selon la logique de la « star system ». Cette pratique consistait à utiliser les doses d'un très petit nombre de taureaux considérés comme les leaders nationaux pendant plusieurs années consécutives. Ce système, permis par l'insémination artificielle, a eu des conséquences négatives sur la variabilité génétique mais aussi sur l'apparition d'anomalies génétiques. L'utilisation massive d'un nombre limité de taureau a également eu pour conséquence la dégradation de certains caractères non sélectionnés, comme les caractères fonctionnels, (Labatut et al. 2014).

L'étude de Colleau préconise l'utilisation d'un grand nombre de taureaux, la fiabilité des index génomiques étant limitée il est nécessaire de limiter le nombre de dose de chaque bovin non confirmé, (Labatut et al. 2014).

La sélection s'est très longtemps faite au détriment de la variabilité génétique de la population. C'est aujourd'hui une préoccupation pour les acteurs de la race Montbéliarde. Pour optimiser la variabilité, Colleau et al préconisent de n'utiliser que des jeunes taureaux, issus de pères différents. Chaque taureau aura un fils qui constituera la génération de reproducteur suivante. La variabilité génétique ne sera ainsi pas détériorée et le progrès génétique sera positif.

## 5.2 Le génotypage des mâles

La connaissance des jeunes taureaux est possible sur tous les caractères dès la naissance et même au stade embryonnaire. L'utilisation des taureaux dès qu'ils sont capables de produire de la semence est possible, leur évaluation est plus précise que les taureaux sélectionnés sur ascendance mais moins que ceux testés sur descendance. Ainsi il est tout de même nécessaire d'utiliser les taureaux génotypés avec précaution. Ce manque de précision peut-être pallié en utilisant un grand nombre de jeunes taureaux, (Chesnais 2015). Une étude menée par Schaeffer a montré que le gain de progrès génétique était supérieur avec un schéma n'utilisant que la sélection génomique sans testage, mais en utilisant un grand nombre de reproducteurs, qu'avec le schéma de sélection sur descendance classique. Cela s'explique par la diminution de l'intervalle de génération, (Schaeffer 2006).

## 5.3 Le génotypage des femelles

La sélection génomique permet pour l'éleveur de connaître, avec une fiabilité nettement augmentée (0.5 à 0.7 contre 0.15 à 0.3 sur ascendance), les index de ses génisses à la naissance. Tous les caractères sont évalués dès le premier âge, y compris sur les caractères qu'elles n'expriment pas encore et sur les caractères peu hérissables, (Dassonneville et al. 2009). Le génotypage des femelles est intéressant pour l'éleveur producteur et pour l'éleveur sélectionneur.

Pour l'éleveur sélectionneur, la connaissance d'index plus fiable peut lui permettre de mieux valoriser ses bonnes génisses à la vente. Cela peut optimiser la réalisation des accouplements plus fins et ciblés et de choisir des taureaux adaptés dès le premier accouplement. La connaissance des index lui permet également de choisir ses génisses pour les transplantations embryonnaires. C'est un moyen de mettre en avant ses meilleurs animaux, (Chesnais 2015).

Pour le producteur, le génotypage permet à l'éleveur de bénéficier d'un outil plus fiable dans le choix de ses génisses de renouvellement. A noter qu'il est peu intéressant de faire génotyper que quelques génisses d'un lot, au risque de passer à côté de bonnes génisses que l'on croyait mauvaise par exemple, ou inversement. Le génotypage des génisses permet également une meilleure valorisation du produit, en choisissant par exemple lesquelles seront utilisées pour produire des futures productrices et en les inséminant en semences sexées. Les génisses à moins forts potentiels génétiques peuvent être utilisées en croisement et ainsi le veau sera mieux valorisé, (Chesnais 2015).

Dans le schéma traditionnel, la sélection des génisses pour le renouvellement des troupeaux contribue à hauteur de 3 à 5% au progrès génétique total de la race. Cette faible contribution s'explique par le fait que leur intensité de sélection est faible car on doit conserver un fort pourcentage en renouvellement et que la sélection sur ascendance a une faible précision. Le génotypage des femelles permet d'augmenter la précision de sélection des femelles comme celles des autres voies de sélection et de diminuer l'intervalle de génération. Au final la contribution

relative de la sélection des génisses pour le renouvellement des troupeaux augmente peu, de 5 à 7%, (Chesnais and Jacques 2011).

La génomique ouvre des perspectives intéressantes dans la voie mâle et femelle, malgré tout il faut l'utiliser avec prudence en raison de sa fiabilité.

## **5.4 Caractères visés**

Les progrès génétique réalisés concernant la production et la conformation des bovins sont déjà élevés avec la méthode de testage sur descendance. L'intérêt de la génomique concerne les caractères à faible héritabilité tels que les caractères de santé, la qualité du lait, la robustesse des bovins et la durabilité des élevages.

### **5.4.1 Les caractères de santé**

#### **5.4.1.1 Généralités**

L'augmentation de la production laitière a conduit à la dégradation des caractères de santé du fait de la corrélation négative de ces caractères. L'intégration des caractères de santé dans les objectifs de sélection paraît évidente pour des raisons économiques, pour l'éleveur par les pertes de production et le coût des traitements, mais aussi pour l'ensemble de la filière en cas de perturbation des marchés en cas de blocus de vente par exemple. L'enjeu est aussi environnemental, par les rejets des animaux traités dans l'environnement, et de santé publique en ce qui concerne les zoonoses et les antibio-résistances. Enfin l'enjeu qui peut paraître moins évident mais qui n'en est pas moins important concerne le bien-être animal.

Pour pouvoir inclure la résistance à une maladie comme critère de sélection, il faut qu'elle comporte une composante génétique. Une fois la composante génétique identifiée, la seconde étape est de trouver les gènes ou les régions chromosomiques en cause dans cette résistance. C'est une étape coûteuse et longue à mettre en place. Ensuite, il faut que ce soit une maladie qui puisse fournir des informations enregistrables facilement et à faible coût. Les étapes suivantes sont les mêmes que pour un caractère classique, il faut phénotyper et génotyper les individus au sein d'une population présentant différents phénotypes dans le but d'associer des marqueurs à une réponse particulière à un pathogène. A noter que le levier génétique dans la mise en place de résistance aux maladies reste limité et ne doit pas être le seul levier d'action, (Degryse 2015a).

### **5.4.1.2 Santé des mamelles**

La qualité du lait est liée à la maîtrise des mammites, qu'elles soient cliniques ou subcliniques. Depuis 1997, des index « cellules » sont disponibles dans les races laitières. Ces index reflètent la concentration en globules blancs dans le lait et donc la présence d'infection, au cours de la carrière de l'animal. L'héritabilité des infections mammaires est très faible de l'ordre de 0.024, mais est corrélés à hauteur de 0.72 au caractère de concentrations de cellules somatiques, qui possède une héritabilité de 0.17, (Rupp and Boichard 2001). Les données facilement enregistrables par le contrôle laitier permettent de disposer d'informations fiables et nombreuses sur les bovins. Le caractère de cellule somatique a donc été intégré rapidement aux objectifs de sélection et à l'ISU en 2001. La découverte de QTL intervenant dans la résistance à mammites, associées à des marqueurs a permis d'approfondir la sélection sur ce critère. Le frein principal à cette sélection est la corrélation négative de ce caractère avec la production laitière, (Boichard 2010).

### **5.4.1.3 Autres caractères de santé**

Parmi les autres caractères à l'étude, des recherches concernant la santé du pied sont menées depuis 2014. Les deux prédicteurs sont la résistance à certaines lésions, et la robustesse du pied qui traduit le besoin de parage du pied. Les recherches portent également sur la découverte des gènes de résistance à la paratuberculose, (Degryse 2015a).

## **5.4.2 La qualité du lait**

### **5.4.2.1 Principes**

La sélection sur la composition du lait est traditionnellement traduite sous forme du taux butyreux et du taux protéique. Ces caractères ont une forte héritabilité de 0.5 pour un taux moyen par lactation. La corrélation entre les deux taux positifs est forte de l'ordre de 0.6 à 0.7, par conséquent la sélection dans des sens opposés des taux est difficile et demande des efforts de sélection importants.

L'étude du déterminisme génétique de la composition fine du lait a longtemps été limitée par l'impossibilité de la mesurer à grande échelle. Dans le cadre du projet phénophinlait, des équations de prédiction du profil en acide gras et en protéines du lait à partir des spectres en moyen infra-rouge ont été développées. Les prédictions sont suffisamment précises pour une trentaine d'acide gras et pour six protéines majeures. Les acides gras saturés et les protéines présentent une héritabilité élevée alors que les acides gras insaturés sont plus sensibles à l'alimentation. Plusieurs dizaines de QTL affectant les taux ont été cartographiés. L'accès aux éléments de composition fine du lait permet de prédire les évolutions de profil en fonction de la sélection actuellement pratiquée. La composition fine du lait n'est pas dans les objectifs actuels de sélection, mais elle peut varier sous l'effet de la sélection si elle est corrélée à des caractères de l'objectif. Par exemple une augmentation

du taux butyreux est corrélée positivement à l'augmentation des acides gras saturés. Inversement, la sélection pour la productivité laitière s'accompagne d'un taux d'acide gras insaturés plus élevé. La fromageabilité du lait a également fait récemment l'objet d'étude, par la recherche de prédicteurs de l'aptitude fromagère à partir des spectres MIR, (Boichard 2010).

Ces nouveaux outils devraient être disponibles à l'avenir en sélection et ouvriront des perspectives importantes pour la maîtrise de la composition du lait par la génomique et sur les propriétés techno-fonctionnelles du lait, (Boichard 2010; Degryse 2015b).

#### **5.4.2.2 Intérêts**

Les produits laitiers apportent 40% des matières grasses ingérées par l'homme. Lorsqu'ils sont consommés en excès, ils sont considérés comme facteurs de risque pour les maladies chroniques du fait de leur forte teneur en acide gras saturés. De ce fait, ces produits ont une image assez négative dans la société actuelle. Les produits laitiers contiennent en quantité moindre des acides gras polyinsaturés, bénéfiques pour la santé humaine. Ils sont sources également d'AG mineurs ayant des propriétés anti-cancéreuses et antiathérogènes. Mieux comprendre les facteurs influençant la composition du lait et ses facteurs de variation permet d'adapter la production aux attentes sociétales actuelles, (Hocquette et al. 2009).

#### **5.4.3 La robustesse des bovins**

La robustesse fait référence à la capacité de l'animal à optimiser sa production tout en minimisant sa sensibilité aux perturbations environnementales. Elle reflète sa capacité à s'adapter, et ainsi à éviter les conséquences négatives d'un stress sur sa santé, sa production et son bien-être. La difficulté d'un tel concept est la difficulté de mesurer la robustesse sur un animal. En race Montbéliarde, la robustesse concerne la santé, le comportement ou encore la qualité des aplombs. Ces caractères ont pour la plupart un déterminisme génétique complexe et les interactions avec l'environnement sont importantes, ce qui complique d'autant plus sa sélection. La prise en compte des attentes sociétales en matière de bien-être animal et l'intégration depuis plusieurs années des caractères fonctionnels aux objectifs de sélection traduisent un intérêt grandissant pour la robustesse des Montbéliardes, (Mormede 2015).

#### **5.4.4 La durabilité des élevages**

##### **5.4.4.1 Problématique**

Un des objectifs des recherches actuelles est de contribuer au développement des systèmes d'élevages durables en accord avec les attentes sociétales, c'est à dire en associant la viabilité socio-économique, le respect de l'environnement, la qualité des produits et le bien-être animal, qui sont

les cinq critères les plus préoccupants pour les consommateurs aujourd'hui, (VERRIER et al. 2010). Le génotypage à haut débit permet de détecter les gènes potentiellement intéressants et pouvant être utilisés comme biomarqueurs pour la qualité des produits et l'état physiologique des animaux, (Hocquette et al. 2009).

#### ***5.4.4.2 L'efficacité métabolique pour limiter les rejets***

Pour augmenter la production des bovins et améliorer les rendements, la quantité d'azote dans la ration des ruminants a augmenté. Le cycle de l'azote en élevage génère de nombreux déchets polluants et l'augmentation de ses déchets dans l'environnement a pour conséquence une pollution des nappes phréatiques par les nitrates et l'émission d'oxyde d'azote responsable de l'acidification des sols. La génomique permet l'étude des gènes associés au devenir métabolique des nutriments et qui permettent l'optimisation de leur utilisation et la limitation de leurs rejets, (Hocquette et al. 2009).

#### ***5.4.4.3 La régulation de l'expression des gènes par les nutriments***

La génomique et son arrivée à grande échelle ont rendu possible une vue globale du métabolisme et de la physiologie par l'étude de milliers de gènes, de protéines et de métabolites. La génomique permet ainsi un nouveau regard sur les liens moléculaires entre la nutrition et la physiologie, notamment les interactions entre les gènes et les nutriments. Des études, ayant pour but de comprendre comment les facteurs génétiques et environnementaux peuvent réguler l'expression des gènes, consistent à identifier les gènes susceptibles de contrôler le métabolisme et sa capacité à utiliser les nutriments. Par exemple, l'expression des gènes peut être comparée à différentes phases de lactation en fonction de l'alimentation. La génomique a également permis d'analyser l'influence des facteurs de production, comme le type de conduite, sur l'expression des gènes dans le tissu musculaire, précurseur de la viande. L'influence du rythme de croissance et du type de ration a été évaluée et l'expression des gènes a été mise en relation avec l'alimentation et le type d'élevage. Cela permettrait d'adapter l'alimentation pour un élevage plus durable, (Hocquette et al. 2009).

La génomique ouvre la porte à de nouvelles opportunités, comme celle de sélectionner de nouveaux caractères. Parmi ceux-ci, sont à l'étude la composition fine du lait, la résistance aux maladies, et les caractères en lien avec la durabilité des élevages comme les rejets azotés...
--

## **6. Les limites de la génomique**

### **6.1 La pérennité de la méthode**

Les déséquilibres de liaison entre les marqueurs génétiques et les QTL sont susceptibles de changer au cours des années. Il est donc important que la méthode soit réévaluée régulièrement pour qu'elle ne perde pas d'efficacité. Pour que la sélection génomique garde une bonne précision, il faut également que la population de référence soit représentative de la population de sélection, et qu'elle présente une diversité génétique. Plus l'individu est apparenté à la population de référence, plus son évaluation génétique est précise. Le contrôle des performances et le génotypage doivent être maintenus, (Degryse 2015b).

### **6.2 Notion d'épigénétique**

L'épigénétique est la science qui étudie les interactions entre le génome et son environnement, et plus précisément la manière dont l'environnement d'un individu peut faire évoluer l'expression de ses gènes. L'environnement joue à différents niveaux, il fait varier le niveau de condensation de l'ADN et modifie le rôle de certaines composantes de la molécule. Elle agit notamment sur les histones, qui sont les molécules agissant sur l'enroulement de la molécule d'ADN, et qui modulent donc le niveau d'expression des gènes. Les données épigénétiques ne sont pas intégrées dans l'analyse génétique des populations bovines et les effets de l'environnement sur l'expression génétique ne sont pas maîtrisés, (Jammes and Renard 2010).

### **6.3 Le coût**

Longtemps considéré comme une limite à l'utilisation de la génomique sur le terrain, le coût n'est plus considéré comme une limite à la mise en place de la méthode aujourd'hui. La maîtrise de la méthode et le passage à l'échelle industrielle a permis la réduction du coût qui est aujourd'hui abordable pour les utilisateurs, (Guillaume et al. 2011).

Malgré tout, la génomique n'est pas une méthode parfaite, sa fiabilité reste limitée et pour que la méthode soit pérenne, il faut qu'elle soit réévaluée régulièrement. De plus, la génomique n'explique pas tout, et l'expression des gènes est régulée par d'autres facteurs encore inconnue.



# Problématique

---

La vache Montbéliarde a beaucoup évolué depuis son apparition il y a plus d'un siècle. La sélection génétique menée par l'homme a permis à la Montbéliarde de produire toujours plus de lait, au prix de sa robustesse, de sa fonctionnalité et de la variabilité génétique de la population. Le désir d'avoir des vaches plus fonctionnelles et la prise en compte de la nécessité de stopper la dégradation de la diversité génétique ont été intégrés depuis quelques années dans les critères de sélection.

La génomique est entrée dans les élevages et a révolutionné la sélection génétique en très peu de temps. Elle permet d'avoir une estimation de la valeur génétique fiable très rapidement et donc d'accélérer le progrès génétique de façon considérable. La génomique est donc une réelle opportunité pour la filière à condition qu'elle soit utilisée à bon escient.

Cette première partie a permis de mettre en évidence les opportunités offertes par la génomique ainsi que ses limites. La problématique qui ressort de cette étude est comment la génomique a-t-elle été intégrée sur le terrain par les différents acteurs de la filière et quels sont les changements associés ?

Pour répondre à la problématique, une enquête a été réalisée auprès de différents acteurs de la sélection de la race : l'organisme de sélection, des entreprises de sélection et des éleveurs. Dans un premier temps, le choix du type d'enquête sera expliqué et les enquêtés seront présentés. Ensuite, seront exposés les résultats obtenus. Pour finir, les résultats seront discutés et confrontés aux propos de cette première partie.

# Chapitre 2 : Enquête qualitative

---

## 7. Matériels et méthodes

### 7.1 Présentation de l'enquête

#### 7.1.1 Objectifs

L'enquête mise en place dans le but de répondre à la problématique s'est déroulée en deux parties. Dans un premier temps, les responsables de l'organisme de sélection Montbéliarde ont été rencontrés, pour avoir une vue d'ensemble de la filière génétique de la race, d'en comprendre l'organisation et les objectifs. Dans un deuxième temps, deux entreprises de sélection ont été rencontrées, dans le but de concevoir leur objectif et l'intégration de la génomique dans leur programme de sélection et sur le terrain. Dix-huit éleveurs ont également participé à l'enquête, afin d'appréhender leur perception de la génomique, les changements associés et leur implication dans l'amélioration de la méthode. Le but était d'obtenir une vue terrain de la sélection génomique.

#### 7.1.2 Choix du type d'étude : qualitative vs quantitative

Pour un tel sujet, deux types d'études sont possibles : l'étude qualitative ou l'étude quantitative, le choix de l'un ou l'autre dépend de l'objectif recherché. Le principe de l'enquête qualitative consiste à interroger un petit nombre de personnes, qui s'expriment longuement, par entretien. Le but est de comprendre les motivations des personnes, ce qui les fait agir de telle ou telle manière. On peut ainsi étudier le mode de raisonnement et les logiques dans différentes catégories de population. Les enquêtés peuvent expliquer leurs motivations, leurs hésitations, ou encore leurs espoirs. L'inconvénient de ce type de démarche est que le nombre réduit de personnes interrogées pénalise la représentativité de l'enquête. A l'inverse, les enquêtes quantitatives permettent d'avoir des résultats chiffrés et de répondre aux questions « qui » et « combien ». Le nombre de personnes interrogées doit être important pour assurer une bonne représentativité. Le but est de dénombrer les pratiques, les comportements dans une population et de quantifier la pensée des individus, (Wahnich 2006; Bréchon 2008).

Pour répondre à la problématique du travail, le questionnaire qualitatif est plus adapté. Son avantage est d'obtenir les opinions des éleveurs interrogés et non pas seulement des idées entendues sur le sujet. L'inconvénient est que ce choix nous empêche de tirer des conclusions s'appliquant à l'ensemble de la population cible.

### **7.1.3 Choix du type d'entretien**

L'important dans une étude qualitative n'est pas le nombre de personnes interrogées mais la manière de les interroger et d'analyser leurs propos.

Dans le cadre d'une enquête de terrain trois types d'entretiens sont possibles :

- L'entretien directif : Il se rapproche du questionnaire oral, chaque question est posée dans un ordre pré-établi qui sert de guide pour l'enquêteur. Il a très peu de marge de manœuvre. L'enquêté se contente de répondre à la question sans aller plus loin.
- L'entretien semi-directif : Il permet à la personne de s'exprimer plus librement sur le sujet. L'enquêteur a plus de liberté par rapport à son questionnaire : il peut modifier la formulation ou l'ordre des questions. L'interviewé parle ouvertement, avec le vocabulaire qu'il souhaite.
- L'entretien libre : Il se déroule comme une conversation naturelle. La personne interrogée est libre de ses propos, (Lefevre Nicolas, 2008).

Dans le cadre de mon travail, l'entretien semi-directif est le plus adapté. Il permet aux éleveurs et aux entreprises de sélection interrogées de s'exprimer librement sur le sujet sans être limité par le cadre de questions fermées. Il permet pour chaque personne interviewée d'aborder l'ensemble des thèmes prédéfinis.

## **7.2 Enquête préliminaire auprès de l'OS Montbéliarde**

### **7.2.1 Objectifs**

Le premier entretien était avec le directeur et le responsable racial de l'organisme de sélection Montbéliarde. L'objectif de ce premier entretiens était de faire un état des lieux des outils génomiques disponibles et utilisables sur le terrain aujourd'hui et de comprendre les choix fait dans l'utilisation de ces méthodes.

Ce premier entretien m'a aussi permis de m'orienter vers les bonnes personnes pour mes entretiens suivants et de préparer mes rencontres avec les entreprises de sélection et les éleveurs.

### **7.2.2 Déroulement de l'enquête**

Les responsables raciaux ont été contactés par mail. La rencontre a eu lieu dans les locaux de l'OS Montbéliarde et a duré 2h20. L'enquête s'est déroulée sous la forme d'un entretien libre, qui semblait plus adapté pour comprendre la situation et les trajectoires prises par les responsables raciaux. L'enquête s'est donc déroulée comme une conversation naturelle, avec un certain nombre

de sujets prédéfinis préalablement à aborder. L'entretien a été enregistré au dictaphone, puis a été retranscrit entièrement.

Les personnes que j'ai rencontrées simultanément sont le directeur et le responsable racial de l'OS Montbéliarde.

### **7.2.3 Thèmes abordés**

Les différents sujets qui ont été abordés lors de cet entretien sont les suivants :

- L'état des lieux actuel de l'utilisation de la génomique dans la race
- L'évolution des objectifs de sélection et comment la génomique permet d'y répondre
- La compréhension des choix et des directions prises par les acteurs de la filière concernant la génomique

## **7.3 Enquêtes auprès des entreprises de sélection**

### **7.3.1 Objectifs**

L'objectif de ma rencontre avec les entreprises de sélection était d'étudier de quelle manière elles avaient intégré la génomique dans leur programme de sélection, quelles étaient leurs motivations et leurs réticences. Les entretiens ont également permis de comprendre les objectifs des entreprises.

### **7.3.2 Déroulements de l'entretien**

#### **7.3.2.1 Les enquêtés**

Deux entreprises de sélection ont été rencontrées, Jura Bétail et La comtoise MLS. Ces entreprises sont des coopératives agricoles, c'est-à-dire qu'elles appartiennent aux éleveurs qui en sont actionnaires.

#### ➤ Première entreprise

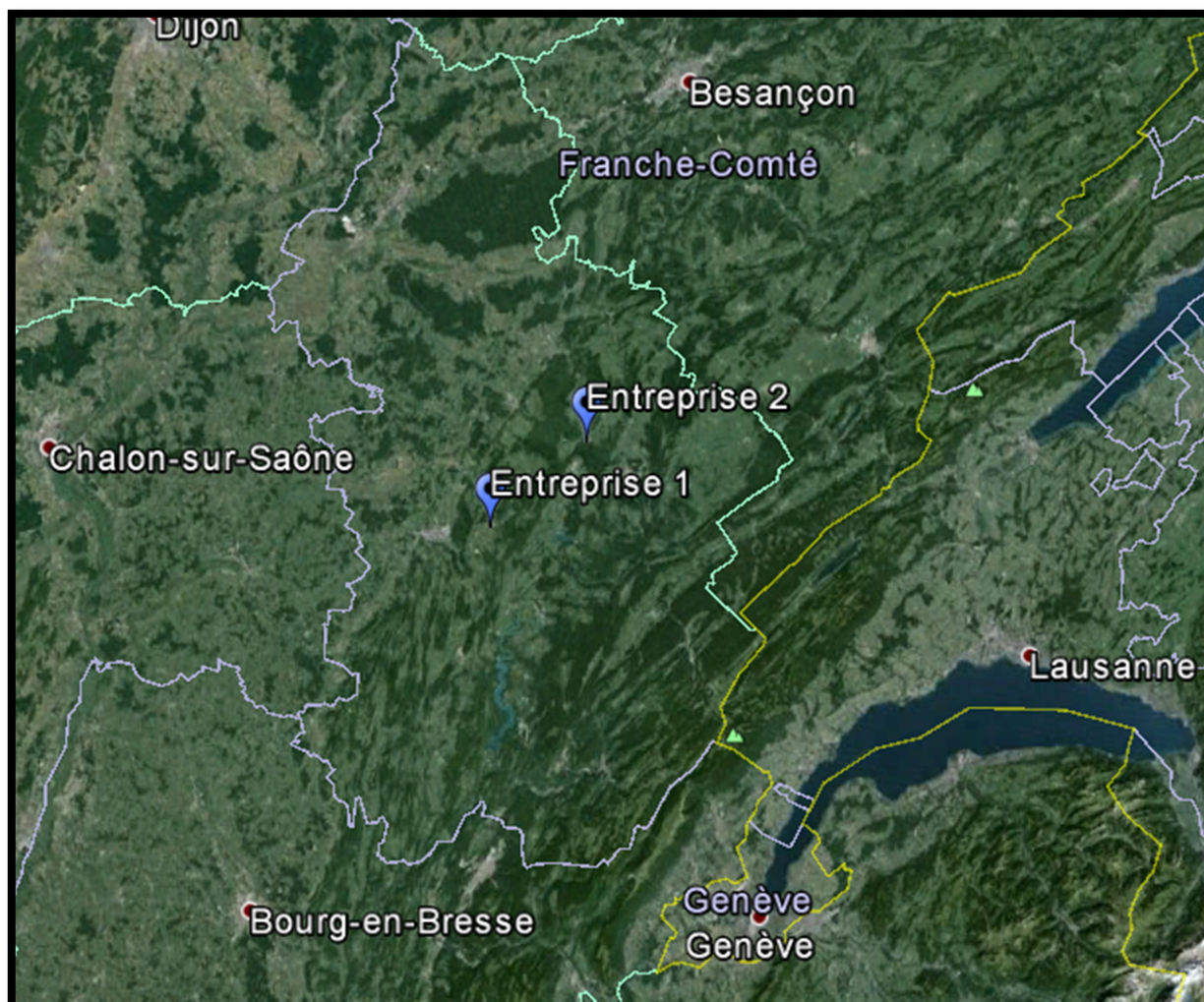
Cette entreprise est implantée dans le Jura (figure 9). Elle a été créée en 1948, et n'a cessé de se développer depuis. La zone statuaire de la coopérative s'étend à neuf régions administratives françaises, ainsi qu'en Suisse et aux Pays-bas. Des doses de semence sont exportées vers 30 pays situés sur tous les continents. Dans le Jura, l'entreprise possède 80% du marché. Au total plus de 1300 éleveurs utilisent des doses de l'entreprise. La caractéristique de ce centre d'insémination est sa grande spécificité, puisque 91% des inséminations sont réalisées avec de la semence de taureaux de race Montbéliarde. Elle assure également un service de commercialisation de femelles Montbéliarde, en France ou à l'étranger. Les choix de l'entreprise sont décidés par le conseil d'administration composé de 21 éleveurs.

➤ Deuxième entreprise

C'est une entreprise de sélection dont le siège social est également basé dans le Jura (figure 9). Elle a été créée en 1978. Le fondateur de l'entreprise a d'abord créé l'association « Montbéliarde Sélection » pour promouvoir son travail de sélection, qui repose sur le principe de la sélection linéaire. L'entreprise est ensuite constituée en 1997 pour permettre aux éleveurs de disposer des taureaux de l'association montbéliarde sélection. La SARL est constituée d'un seul associé, en l'occurrence l'association « Montbéliarde sélection », dont le conseil d'administration est constitué d'éleveurs issus de toute la France. Le but de cette association est de permettre aux éleveurs de s'impliquer dans les décisions de l'entreprise et de promouvoir la marque génétique « Montbéliarde sélection ».

Elle représente 15% du marché dans le Jura, avec 250 élevages répartis sur le Doubs et le Jura et une cinquantaine en dehors de Franche comté. Elle représente 2% des IA.

Depuis sa création, elle est fidèle au principe de la sélection linéaire. Cette méthode consiste à travailler sur différentes lignées en fixant les caractères les uns après les autres.



9. Situation géographique des entreprises de sélection

Le choix de ces deux entreprises a été conseillé par les responsables raciaux, car elles ont des méthodes de travail et des points de vue différents. Elles illustrent deux stratégies de sélection différentes. Elles sont de taille différente et la deuxième ne représente pas une grosse part des activités de sélection de la race, mais l'objectif de cette enquête était de comprendre les différents choix et points de vue de chacun, les résultats recherchés n'étant pas quantitatifs. A noter que les taureaux des deux entreprises enquêtées sont issus des mêmes souches historiques.

### **7.3.2.2 Déroulement de l'entretien**

Les entretiens étaient semi-directifs, c'est-à-dire qu'une liste de question concernant les thèmes à aborder a été préparée mais l'enquêté était libre de développer les sujets qu'il souhaitait aborder. Les responsables de chaque entreprise ont d'abord été contactés par mail et ont tous deux acceptés de participer à l'enquête. Les entretiens se sont déroulés dans les bureaux de chaque entreprise. Les entretiens ont duré 1h et 1h20. Ils ont été enregistrés à l'aide d'un dictaphone.

### **7.3.3 Thèmes abordés**

Les sujets développés dans chacun des entretiens avec les entreprises de sélection ont été les suivants :

- Le choix des objectifs de chaque entreprise
- Les choix de l'utilisation de la génomique par l'entreprise et son intégration dans les schémas de sélection
- Leurs relations avec les éleveurs

## **7.4 Enquêtes auprès des éleveurs**

### **7.4.1 Objectifs**

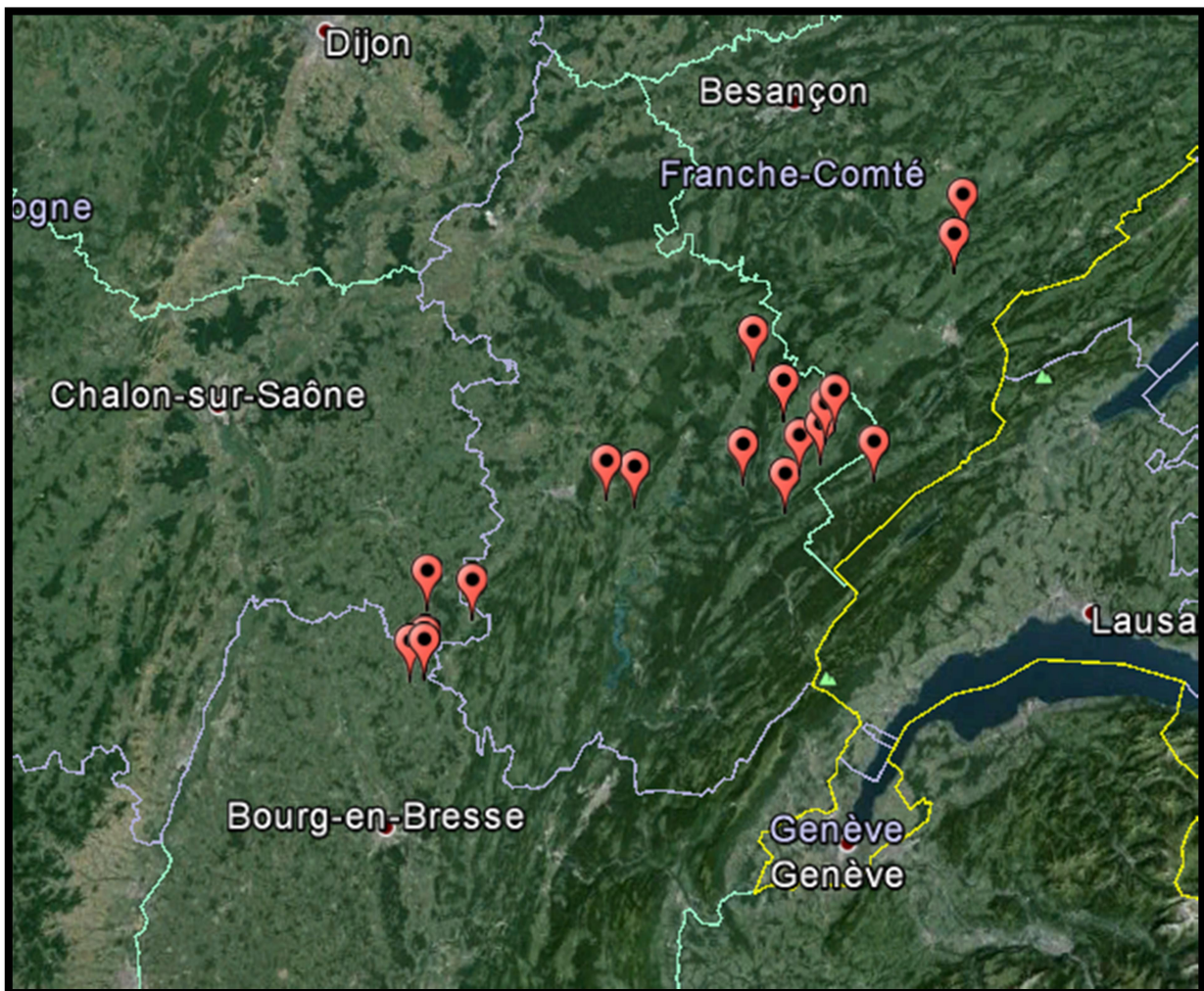
La rencontre des éleveurs avait pour but d'analyser leur perception de la génomique et comment ils perçoivent les changements actuels dans la filière depuis l'arrivée de la méthode. Une partie de l'enquête a consisté à comprendre comment ils intègrent la génomique dans leur conduite d'élevage.

### **7.4.2 Déroulements des entretiens**

#### **7.4.2.1 Eleveurs rencontrés**

Les éleveurs enquêtés étaient au nombre de 18. L'âge des exploitants variaient entre 24 et 58 ans, 8 avaient entre 24 et 35 ans, 5 entre 35 et 45 ans et 5 entre 45 et 58 ans. Six des éleveurs sont installés seuls, sept sont associés dans des structures de deux associés, cinq sont dans une structure de trois ou quatre associés. Tous ont acceptés de participer spontanément à l'enquête.

Les exploitations sont situées dans l'est de la France sur 3 départements : l'Ain, le Jura et le Doubs (figure 10). Douze des exploitations produisent du lait destiné à une transformation AOC et six produisent du lait standard.



10. Situation géographique des élevages enquêtés

#### ***7.4.2.2 Déroulement de l'enquête***

Les entretiens se sont déroulés, de la même manière que pour les entreprises de sélection, de façon semi-directive. La conversation a été enregistrée par dictaphone. Les enquêtes se sont déroulées au domicile des éleveurs ou sur l'exploitation. La durée de l'enquête a été très variable selon les interviewés, de 20 minutes à 1h.

### 7.4.3 Thèmes abordés

Les différents sujets abordés ont été les suivants :

- L'importance de la sélection dans leur élevage et l'implication personnelle des éleveurs
- La compréhension de la méthode et la confiance qu'ils leur accordent
- Le choix d'utilisation de la génomique dans leur cheptel

## 8. Résultats

### 8.1 L'intégration de la génomique dans les programmes de sélection Montbéliard

#### 8.1.1 La Montbéliarde et le développement de la génomique

Le développement rapide de la génomique dans une race telle que la montbéliarde, qui représente seulement 16.6% du cheptel laitier français, a été rendu possible, selon les responsables raciaux, par le fort investissement des entreprises de sélection. Les entreprises les plus influentes de la région Franche comté, berceau de la race, ont fortement contribué au développement de la génomique. Ils ont sensibilisé dès le début les éleveurs à la génomique et ont mis en place des politiques tarifaires incitatives.

*« Il y a aussi le fait que les techniciens et inséminateurs ont très bien vendu le truc, il y a eu une présence sur le terrain importante et un très bon maillage terrain » explique le responsable racial.*

*« Ils y ont bien crus dès le départ et ont continué d'y croire après la mise en place » rajoute le directeur de l'OS Montbéliarde.*

Le deuxième facteur non anodin, relevé par les responsables raciaux, est que les moyens financiers des éleveurs ne sont pas les mêmes entre les zones géographiques. Le directeur de l'OS Montbéliarde remarque que la carte de France des génotypes de la race est assez calquée sur les zones AOP, où le pouvoir d'achat est plus élevé. Cette théorie devrait être confirmée en 2015 par une diminution du nombre de génotype en zone lait industriel face à une année difficile vis-à-vis du prix du lait.

Les deux entreprises rencontrées utilisent la génomique, depuis fin 2008 pour la première, et depuis 2014 pour deuxième. Cette dernière possède un peu moins de recul que sa concurrente qui a 7 ans d'expérience dans ce domaine.



*« C'était nouveau pour nous, il a fallu trouver la bonne vitesse de croisière qu'on a trouvé depuis deux ou trois ans » estime le directeur d'une entreprise de sélection.*

## **8.1.2 Les éleveurs et la génomique**

Parmi les dix-huit enquêtés, neuf estiment la sélection comme quelque chose de très important dans leur élevage, tandis que six l'estiment comme important et pour trois d'entre eux, la sélection n'est pas un objectif prioritaire. Huit éleveurs enquêtés participent au moins une fois par an à un concours bovin (comice, pointage...) et douze éleveurs ont déjà participés au moins une fois à un concours bovin. Huit éleveurs travaillent avec la première entreprise de sélection, cinq avec la deuxième entreprise, cinq utilisent des taureaux des deux entreprises.

Parmi les éleveurs enquêtés, tous ont déjà entendu parler de la génomique et ont une idée, plus ou moins vraie de sa définition. Deux catégories d'éleveurs ressortent clairement de l'enquête, ceux qui adhèrent à l'entreprise utilisant la génomique depuis plusieurs années, et ceux adhérant à l'entreprise qui a intégré la génomique récemment et qui l'utilise encore avec prudence. La majorité des éleveurs de la première catégorie possèdent une idée claire et juste de la définition du génotypage d'un bovin. Les éleveurs de la deuxième catégorie ont, en revanche, une idée floue et parfois fautive du génotypage.

## **8.1.3 Etat des lieux**

### **8.1.3.1 Généralités**

Les responsables raciaux ont présenté quelques chiffres, en 2014, la race montbéliarde a fait, mâles et femelles confondus, 25 000 génotypages. Parmi ces génotypages, 17 000 ont été réalisés par des éleveurs sur des femelles principalement et 8000 ont été fait par des entreprises de sélection, pour des femelles ou des mâles d'intérêts. Sur ces 25 000 génotypages, il y a environ 20 000 femelles. La montbéliarde fait ainsi 33.6% des génotypage totaux en élevage. Le taux de pénétration est donc deux fois supérieur à ce que représente la race dans les élevages.

Pour les mâles à destination de la reproduction, l'utilisation de la puce 54k QTL est obligatoire. Pour les femelles ou les mâles non destinés à la reproduction, l'utilisation d'une puce de 7 ou 10k est parfois préférée, elle apporte moins de précision mais elle est de par son prix plus abordable en élevage.

*« L'utilisation d'une plus petite puce fait perdre environ cinq points de CD mais c'est un bon compromis cout/efficacité. » estime le responsable racial de l'OS Montbéliarde.*

### 8.1.3.2 Voie mâle

Dans l'offre raciale, le directeur de l'OS montbéliarde estime que 60% des inséminations sont faites avec des taureaux génotypés. Il y a une place encore non négligeable à l'utilisation de taureau issu d'évaluation sur descendance. En revanche tous les taureaux en service ont eu un génotypage. L'introduction des taureaux dans le schéma de sélection se fait, pour les deux entreprises de sélection rencontrées par génotypage.

Parmi les éleveurs enquêtés, cinq n'ont jamais utilisé de taureaux connus uniquement sur index génomique. La raison est qu'ils appartiennent à une entreprise qui ne diffuse pas de taureaux uniquement connu par leurs index génomiques. Parmi ces cinq enquêtés, trois affirment ne pas avoir assez confiance en la génomique pour utiliser un taureau génotypé et deux seraient prêts à inséminer quelques vaches s'il en avait la possibilité.

Les treize autres enquêtés ont tous déjà inséminé leurs vaches avec de la semence issue de taureaux connus uniquement sur génomique. Les usages et les réactions sont assez variés vis-à-vis de ces taureaux, cinq des éleveurs les utilisent avec méfiance notamment ceux pour qui le nombre de filles de testage était un élément pris en compte dans le choix du reproducteur.

*Un éleveur de la première entreprise explique : « On les utilise sur les génisses, ou sur les vaches dont on ne veut pas garder la descendance ».*

Tous les éleveurs s'accordent sur le fait qu'ils font plus confiance à des taureaux confirmés.

*« Sur mes bonnes vaches, dont je veux assurer la descendance, je mets systématiquement des taureaux confirmés », confirme cet éleveur.*

Quatre des éleveurs enquêtés n'ont aucune réticence à utiliser des taureaux connus uniquement sur génomique, ils les intègrent de la même manière dans leur plan d'accouplement. Pour une partie des éleveurs, c'est le technicien qui fait les plannings d'accouplement, et qui choisit les reproducteurs. Les éleveurs ne s'en occupent pas et laissent le choix des taureaux à l'inséminateur.

*« Nous utilisons les taureaux avec index génomiques au même titre que les autres, nous n'avons jamais été déçu » explique un éleveur confiant, « on ne voit pas de raison de s'en méfier » confirme son associé.*

### 8.1.3.3 Voie femelle

Les responsables raciaux estiment que la race Montbéliarde est encore en retard dans le génotypage en ferme des femelles par rapport aux autres races nationales. Sur une année de naissance, 10% des femelles environ sont génotypées, sur 200 000 génisses. Le taux de pénétration du génotypage femelle en élevage reste relativement modeste.

*« On a encore un système historique très présent, avec des accouplements à l'ancienne » estime le directeur de la race Montbéliarde*

Pour l'entreprise Jura Bétail, le nombre de femelles génotypes en 2015 est de 2500.

*« C'est un peu comme le sexé, les éleveurs y adhèrent ou y adhèrent pas » remarque le directeur de l'entreprise.*

*« La connaissance fine de la valeur génétique des femelles dès le plus jeune âge est l'un des atouts principaux de la génomique aujourd'hui » estime le directeur de l'OS montbéliarde.*

Parmi les éleveurs enquêtés, quatre génotypent toutes leurs génisses, trois prévoient de le faire dans les années à venir. Cinq sont opposés au génotypage de leurs génisses, par manque d'intérêt principalement. Le reste des éleveurs trouvent la méthode intéressante mais ne voient pas l'intérêt pour leur élevage.

*« la génétique n'est pas notre objectif principal, on préfère jouer sur d'autres facteurs comme l'alimentation pour améliorer notre production » estime un éleveur réticent à l'utilisation de la génomique.*

#### **8.1.3.4 Le cout**

L'évolution de la méthode a entraîné une diminution du coût depuis 2009, le prix d'un génotypage est aujourd'hui de 50 euros environ pour un mâle, il a été divisé par quatre en sept ans. Pour les femelles, le prix d'un génotypage est facturé 36 euros à l'entreprises de sélection. Le génotypage est facturé 45 euros à l'éleveur à partir de 11 femelles (le prix est dégressif en fonction du nombre de femelle). Le programme de sélection verse 20 euros de subvention aux éleveurs par femelle, donc le génotypage d'un lot de 11 génisses revient à 25 euros par génisse à l'éleveur. Ainsi le directeur de la première entreprise estime que la limite au génotypage n'est plus le cout mais la capacité d'intervenir chez l'éleveur.

Parmi les éleveurs, neuf d'entre eux estiment encore le cout élevé par rapport au bénéfice, tandis que pour les autres le prix est raisonnable et abordable.

*« C'est vrai que ça représente un cout de génotyper les génisses, mais il est rentabilisé par les informations qu'on a derrière » estime un éleveur qui génotype ses génisses depuis 3 ans.*

*« Vu le prix du lait aujourd'hui, on ne peut pas se permettre d'investir dans une telle méthode, on limite avant tout les frais » estime un éleveur en lait traditionnel.*

## **8.2 Les changements permis par la génomique dans les programmes de sélection**

### **8.2.1 En amont de la sélection**

#### **8.2.1.1 Un outil de tri**

La première utilisation de la génomique dans les programmes de sélection a été comme un outil de tri des veaux à l'entrée en station. Traditionnellement, les veaux étaient repérés par leur pedigree. Avec la génomique, les entreprises possèdent des valeurs précises de l'index dès leur naissance. Les deux centres d'insémination utilisent tous les deux la génomique dans cette optique.

*« Le gros avantage, c'est que l'on sait ce qu'on fait. Avant il nous est arrivé de mettre en testage des taureaux qui étaient des catastrophes, et on s'en rendait compte seulement quatre ans plus tard » raconte le directeur d'une entreprise de sélection.*

*« On a un élément quantifiable pour apprécier le niveau génétique d'un veau » estime le directeur de la deuxième entreprise.*

#### **8.2.1.2 Un nombre plus important de veaux génotypés**

La génomique permet grâce à un investissement relativement modeste (prise de sang) de connaître la valeur génétique de l'animal. Le nombre de veaux génotypés par an dans la première entreprise rencontrée est de 750 mâles. A l'époque du testage, elle testait un peu moins de 100 mâles par an. Avec la génomique, l'entreprise espérait pouvoir mieux trier ses veaux et en rentrer moins en station de testage, et ainsi réduire ses coûts. En réalité, la fiabilité réduite de la génomique a fait que ça ne s'est pas vérifié. En effet, entre le moment où le veau est génotypé et celui où la semence est utilisée, il se passe environ un an. Pendant ce laps de temps, de nouvelles évaluations peuvent arriver et le classement fait à l'entrée est modifié. L'entreprise fait donc rentrer un nombre suffisant de mâles pour se préserver de ces variations. En 2015 par exemple, pour anticiper les modifications de méthodes prévues en avril, l'entreprise a rentré plus de bovins en station pour se préserver des variations d'index des taureaux, et être sûr d'avoir les meilleurs à la sortie.

*« Il faudrait idéalement tous les génotyper, mais c'est une charge de travail trop importante, c'est impossible » rapporte le directeur de l'entreprise de sélection.*

La stratégie de Montbéliarde sélection est différente. Sept ou huit taureaux sont testés par an. En moyenne, pour un taureau rentré en station, dix sont génotypés. La génomique permet à l'entreprise d'éviter les limites inférieures et de s'intéresser à plus de veaux.

*« Aujourd'hui, on s'intéresse à plus de veaux en ferme » expose le directeur de la deuxième entreprise.*

### **8.2.1.3 L'intérêt pour les veaux originaux**

Le responsable de la race estime qu'en théorie, le génotypage permet de prendre plus de risque avec des individus que l'on n'aurait pas pris le risque d'intégrer dans le schéma de sélection avec la méthode classique. En moyenne, dans le système conventionnel, il n'y avait pas trop de risque pris avec des veaux aux pedigrees originaux du fait du coût de testage. Le génotypage ayant un coût abordable et les valeurs génétiques obtenues étant relativement fiable, les entreprises de sélection pourraient en théorie prendre plus de risque avec des veaux dits « originaux ».

Le directeur de la deuxième entreprise estime que sur les 7 ou 8 taureaux mis en testage chaque année, il y a 1 ou 2 taureaux sur lesquels il hésitait, et que le génotypage leur a fait prendre. Cela leur permet de génotyper des mâles d'origine parfois différente.

Pour la première entreprise, assez peu de taureaux avec des pedigrees originaux sont testés. Les mâles qui sont génotypés ont été choisis par leur ascendance. Le fait d'avoir plus de taureau génotypés permet d'éviter de passer à côté d'un bon taureau, malgré tout l'entreprise prend assez peu de risque sur des veaux dont l'origine n'est pas connue.

*« Il nous est arrivé de génotyper des veaux avec un pedigree original, parce que l'éleveur insistait, mais ça n'a jamais donné de résultats... » constate le directeur d'une entreprise de sélection.*

## **8.2.2 L'indexation des taureaux et la précision des index**

### **8.2.2.1 La précision des index et corrélation perçue sur le terrain**

Le directeur du premier centre d'insémination est globalement très satisfait des résultats d'indexation obtenus avec la génomique.

*« Si on regarde le niveau génétique moyen évalué par la génomique et évalué par descendance, en moyenne il y a très peu d'écart » estime le directeur de l'OS Montbéliarde.*

Sur les quarante caractères indexés, les plus gros écarts entre la valeur génétique prédite et la valeur réelle concernent les caractères à faibles héritabilités, tandis que les meilleures corrélations sont sur les caractères morphologiques. Sur les caractères comme les cellules ou la production laitière, le classement des taureaux avec la génomique et sur performances est parfois différent. Le directeur de l'OS Montbéliarde estime la fiabilité des index acceptable et espère que l'évolution des méthodes permettra d'arriver à une fiabilité encore plus grande avec des CD de 80-85%.

*« Globalement, je pense qu'on obtient des résultats acceptables et on les voit croissants, mais ce n'est pas encore parfait » Constate le directeur de la deuxième entreprise.*

Le directeur de Montbéliarde sélection est plus craintif par rapport à la corrélation obtenue entre le génotypage et les performances obtenues. L'entreprise utilise la génomique depuis 1 an seulement, ils ont donc moins de recul que la première société. Les premiers taureaux génotypés ont leurs veaux qui naissent maintenant, mais il y a déjà de gros écarts, ne serait-ce que sur la facilité de vêlage. Concernant les anciens taureaux testés, qui ont été génotypés, les grandes tendances sont retrouvées, les grands points forts et les grands points faibles.

*« Les premiers résultats que nous obtenons nous incite à une très grande prudence » estime le directeur de la deuxième entreprise.*

Le système de testage sur descendance est maintenu car ils estiment qu'ils ne sont pas à trois ans près une fois que le système est mis en place pour être sûr de ce qu'ils vont récupérer comme taureau.

Le phénomène observé, concernant les bovins du deuxième centre d'insémination, est que sur les souches qu'ils possèdent qui ne sont pas utilisées dans d'autres entreprises de sélection, les résultats de génotypage sont très décevants, les index génomiques sont très différents des index sur descendance. La raison probable est que la divergence génétique de ses lignées est telle que certaines zones du génome sont mal appréhendées. Pour corriger cela, il faudrait génotyper le maximum d'individus de cette famille pour arriver à rendre l'équation plus pertinente.

Pour les éleveurs les avis divergent. Les éleveurs de la deuxième entreprise ont tendance à ne pas avoir confiance en la valeur sensu stricto d'un index. Il trouve que la divergence entre la valeur des index et les résultats sur le terrain est trop importante.

### **8.2.2.2 L'évolution des index**

Augmentation du nombre de caractères :

La génomique nous permet d'imaginer et de sélectionner un nombre de caractères énorme, car elle ne nécessite pas un nombre de phénotypes élevés. Le portrait-robot de la vache va s'affiner.

*« Aujourd'hui le portrait-robot de la montbéliarde se résume à 45-50 caractères différents, mais demain on sait que ce sera 80 - 100 caractères car on arrivera à sélectionner des caractères qu'il était difficilement envisageable de sélectionner dans l'ancien système » raconte le directeur de l'OS Montbéliarde.*

Pour les responsables raciaux, c'est un atout mais aussi un handicap pour la sélection des reproducteurs. La difficulté est de hiérarchiser les caractères les uns par rapport aux autres, en tenant compte des intérêts économiques mais aussi zootechniques. La deuxième difficulté est de trouver le taureau idéal pour une vache, plus le nombre de caractères augmente plus il est difficile de trouver celui qui se combine facilement. Les responsables raciaux annoncent que des nouveaux caractères vont arriver concernant la composition fine du lait, en rapport avec la fromageabilité des laits notamment et sur la santé, dans l'optique de réduire les coûts de l'utilisation de médicaments.

Pour les éleveurs, les avis divergent. Pour certains, l'intérêt d'un nombre important d'index est évident. « *Plus on a d'information, mieux c'est !* ». Pour d'autres, un nombre plus important d'index n'est pas souhaitable, la raison évoquée est la volonté de simplifier les catalogues de diffusion de taureau. Plus le nombre d'index est important et plus ils auront du mal à s'y retrouver et à faire leur choix. Un éleveur remarque, que malgré l'intérêt qu'il porte à l'évaluation génétique de ses vaches sur de nombreux caractères, la nécessité de simplifier la sélection fait qu'il faut limiter le nombre de caractères.

*« Je trouve ça intéressant d'avoir beaucoup d'index pour un taureau, mais il y a le risque qu'on ne s'y retrouve plus » estime cet éleveur prudent.*

Pour d'autres, et notamment les éleveurs de Montbéliarde sélection qui n'utilisent pas les index pour effectuer leur plan d'accouplement, l'arrivée de plus d'index n'est pas intéressante.

### Caractères recherchés

Dans les caractéristiques des taureaux idéales citées par les éleveurs, la quantité de lait vient en tête pour la plupart des éleveurs. Les caractères morphologiques sont importants pour quatorze d'entre eux, alors que les caractères fonctionnels ne sont cités que par six des éleveurs. Pour sept des éleveurs, la volonté d'avoir des vaches robustes est également citée. A noter que treize des éleveurs regardent avant tout l'ISU pour juger un taureau. Selon les caractéristiques des cheptels et des élevages, les index regardés prioritairement sont différents. Par exemple, un des éleveurs traite ses vaches à l'attache en étable, il porte une attention particulière à l'index « caractère » du taureau car les conditions de traite imposent des vaches calmes. En revanche, pour un deuxième éleveur, ce caractère n'est pas du tout important, car il n'a jamais eu de souci de caractère avec ses vaches. Un éleveur explique qu'il porte également un intérêt aux caractères fonctionnels.

*« Nous on veut des vaches robustes, qui s'adaptent au terrain chaotique qu'on a, et qui soient capable de nous faire quatre ou cinq veaux » raconte cet éleveur en AOC comté.*

Concernant les nouveaux caractères proposés, la résistance aux maladies, et notamment les boiteries et les mammites sont des éléments qui intéressent les éleveurs, pour leur permettre de faire des économies principalement en diminuant les coûts des traitements dans un premier temps, et en diminuant le nombre de réforme dans un second temps. La plupart ne voient pas l'intérêt de s'intéresser à la composition fine du lait, tant que cela n'est pas valorisé à la laiterie. Deux éleveurs pensent qu'il est important de se pencher sur la qualité du lait, car ça leur permettra peut-être de mieux le valoriser et de se démarquer des élevages intensifs ou le type d'alimentation fait que le lait est beaucoup moins riche en oméga que dans les élevages extensifs ou les vaches sont au pré une partie de l'année.

Concernant la valorisation alimentaire et notamment les rejets d'azote, ce n'est pas un critère de sélection pour les éleveurs. De plus trois d'entre eux estiment que l'alimentation joue une part trop importante pour que ce soit réellement fiable.

*« Quand il ne restera plus que ça comme critère... » ironise un éleveur.*

## 8.2.3 La diffusion des taureaux

### 8.2.3.1 Objectifs des entreprises

La stratégie de diffusion des taureaux est différente entre les deux entreprises. Pour la première entreprise, il y a deux catégories de taureaux, les taureaux génotypés qui sont diffusés sur leur index génomiques seulement à l'âge d'un an et demi environ, et les taureaux confirmés sur descendance. L'évaluation génétique par la génomique étant d'une fiabilité limitée, il est nécessaire de les utiliser avec prudence, et de limiter les risques. Pour cela, un grand nombre de taureaux sont proposés, de façon à ne pas passer à côté d'un bon taureau et à étaler les risques, si un taureau est mauvais, il faut avoir de quoi le remplacer l'année d'après.

*« Comme l'évaluation génomique n'est pas totalement fiable avec des CD de 70% environ, plus le nombre de taureaux diffusés est grand, plus on a des chances de trouver les meilleurs quatre ans plus tard » explique le directeur de l'entreprise de sélection.*

Il est de plus nécessaire que le nombre de filles par taureau soit équivalent, pour cela la première entreprise a mis en place des stratégies pour que chaque taureau soit utilisé de façon optimale. L'homogénéité de diffusion des taureaux est très importante pour que les index, une fois les descendants inclus, soient fiables. S'il n'y a pas assez de descendants, il y a des biais dans l'évaluation sur descendance. Or l'évaluation génomique des jeunes taureaux prend en compte les index sur descendance des générations précédentes, donc les biais se répercutent sur l'évaluation génomique des futurs taureaux et le système s'entretient.

Le deuxième centre d'insémination a fait le choix de ne diffuser que des taureaux testés sur descendance. Le directeur de MS insiste sur le fait qu'il recherche une descendance homogène. La génomique permet d'avoir une valeur mais n'informe pas sur l'homogénéité des performances de la descendance, seul le testage permet cela. De plus, il estime que les index ne sont pas assez fiables, et préfère attendre les trois années de testage avant de sortir un taureau en catalogue.

### 8.2.3.2 Stratégies de diffusion

Pour le premier centre d'insémination, les jeunes taureaux sont diffusés de trois façons.

- La première catégorie : ce sont les taureaux génomiques de l'année disponibles en semences conventionnelles pour lesquelles on publie les index génomiques. Il y en a entre quinze et vingt par an.
- La deuxième catégorie : ce sont les taureaux du même âge exclusivement disponibles en semences sexées. Les index génomiques sont disponibles. Il y en a une douzaine par an.
- La troisième catégorie : ce sont des taureaux qui sont passés par les mêmes étapes mais on diffuse la semence comme si on les diffusait en testage, c'est-à-dire qu'aucune information n'est donnée à l'éleveur. Leur semence est répartie de façon aléatoire. Quinze à vingt



taureaux sont ainsi proposé par an. L'intérêt de ne pas donner l'information à l'éleveur est de ne pas avoir d'accouplement correctif qui pourrait biaiser l'évaluation génétique.

Le but est que tous les taureaux soient utilisés et de façon homogène. Le choix de la catégorie pour un taureau se fait intuitivement. Par exemples, les attentes sur les semences sexées sont plus tournées vers la morphologie, donc on oriente vers la semence sexé des taureaux avec des profils morphologiques intéressants. Dans la troisième catégorie, sont mis des taureaux d'un grand intérêt génétique mais avec des profils très spécifiques, par exemple un taureau très bon en lait, mais moins bon en mamelle. Ces taureaux créent une sorte de prudence envers les éleveurs, donc ils seront mieux utilisés si les informations ne sont pas diffusées. L'origine du taureau est aussi prise en compte, deux taureaux issus du même père ne sont jamais placés dans la même catégorie, sinon ils vont être en compétition.

Pour la deuxième entreprise, l'outil génomique n'a pas eu de conséquence sur les stratégies de diffusion des taureaux. Les taureaux sont diffusés après testage, aucun changement n'a été fait depuis l'arrivée de la génomique.

### **8.2.3.3 L'âge de mise en service**

Pour la deuxième entreprise, les taureaux entrent en service à 3 ou 4 ans après testage.

*« J'estime qu'on n'est pas à trois ans près » estime un directeur d'entreprise de sélection.*

En revanche, pour la première société, grâce aux index génomiques, les taureaux sont diffusés dès leurs maturités sexuelles à 18 mois. Par rapport à la méthode précédente, les taureaux sont mis en service 2 ans plus tôt. La génomique raccourcit considérablement l'intervalle de génération. Concrètement sur le terrain, le progrès génétique est plus rapide.

### **8.2.3.4 Le nombre de taureaux**

Le nombre de taureau mis en service par an a augmenté considérablement pour la première entreprise. Tous les ans, on a 45 nouveaux taureaux environ.

*« On fait partie des rares programmes de sélection qui ont augmenté de taille avec la génomique » explique le directeur de la première entreprise.*

Certaines entreprises ont fait le choix d'utiliser la génomique pour réduire le nombre de taureaux entrés en station, et donc de diminuer leur coût d'entretien. La stratégie du centre a été de profiter de la génomique pour diffuser plus de taureaux, afin d'en avoir plus avec des filles quatre ans plus tard et d'avoir plus de chance de trouver le meilleur.

Pour les éleveurs enquêtés, beaucoup d'entre eux sont déstabilisés par le nombre de taureaux dans les catalogues.

*« Je suis complètement dépassée, je trouve qu'avoir une série de nouveaux taureaux tous les trois mois est difficile à gérer. Avant, on faisait quelques plannings d'accouplements mais aujourd'hui on en fait pratiquement plus, on est perdus, on a décidé de laisser tomber » raconte un éleveur.*

### **8.2.3.5 Le nombre de doses et homogénéité de diffusion**

Concernant les jeunes taureaux diffusés, la limitation de l'utilisation d'un taureau connu sur génotype uniquement est nécessaire pour des questions de variabilité génétique mais aussi car la fiabilité de ses index impose une méfiance. Par exemple pour les taureaux diffusés en sexes uniquement, 1000 doses seulement sont produites, c'est le nombre estimé suffisant pour avoir assez de filles pour que le taureau soit indexé sans qu'il y ait un usage abusif d'un mâle.

La répartition des doses est gérée par l'entreprise. L'entreprise attribue un nombre de doses par troupeau en fonction du nombre de doses total et du nombre de doses que l'éleveur a utilisé l'an passé. Si des éleveurs souhaitent utiliser plus de doses, ils le peuvent mais avec un supplément de 15 euros ttc. C'est une façon de faire en sorte que tous les taureaux soient utilisés uniformément.

*« Le nombre de doses limité force les éleveurs à répartir les risques, sinon je crois qu'il y aurait des excès terribles » estime le directeur de l'entreprise.*

Globalement les résultats sont satisfaisants, les taureaux les moins utilisés sont à 80% de leur objectif. Selon les résultats de l'indexation des taureaux avec l'arrivée des filles, ils sont relancés ou non en production. Malgré tout, le directeur estime que l'utilisation des taureaux n'est pas homogène, les éleveurs ont leur part de choix et il n'est pas possible de leur imposer les taureaux.

## **8.2.4 La filière femelle**

### **8.2.4.1 Un outil de tri**

La connaissance du génome d'un animal peut avoir plusieurs utilités dont celle de trier ses femelles. L'indexation de l'animal peut aider l'éleveur à choisir quelles génisses il utilisera pour la reproduction, lesquelles ils seraient judicieux de mettre en sexé ou en croisement, ou pour les moins intéressantes de les vendre ou de les engraisser.

La génomique est aujourd'hui assez peu utilisée dans le but de trier des génisses remarque le directeur du premier centre d'insémination. Le directeur de la deuxième entreprise fait le même constat, les éleveurs connaissent leurs souches et savent qu'elles sont leurs bonnes et leurs mauvaises vaches. Ils auraient tendance à génotyper les génisses intermédiaires, pour choisir celles qu'ils vendront à l'export. Mais dans ce cas ils ont l'impression d'investir « pour rien ». Le responsable racial remarque que si un éleveur décide de génotyper ses génisses dans le but de trier,

il faut génotyper tout son lot, sinon on risque de faire des erreurs et de passer à côté d'informations importantes.

Le directeur de la deuxième entreprise conseille le génotypage aux éleveurs car c'est intéressant pour détecter des femelles candidates mères à taureaux.

*« Je conseille le génotypage pour enrichir le schéma de sélection et parce que c'est intéressant pour nous, mais si j'étais éleveur, au vu du rapport qualité prix je laisserais tomber » explique le directeur de la deuxième entreprise.*

Un des éleveurs rencontré fait génotyper toutes ces génisses dans le but de choisir les meilleures comme mère de future génisse, tandis que les moins bonnes sont inséminées en croisé.

*« Un veau mâle croisé blanc bleu se vend aujourd'hui 220 euros à 8 jours, contre 100 euros pour un mâle montbéliard, c'est donc un bénéfice non négligeable, on choisit les doses mises sur les génisses en fonction de leur génotypage ». raconte un éleveur.*

Un éleveur du Jura ne peut pas élever toutes ses génisses, car il ne possède pas assez de pâtures et de bâtiments. Depuis trois ans, il fait génotyper toutes ses génisses pour choisir lesquelles il va élever.

#### **8.2.4.2 L'optimisation des accouplements**

Le génotypage des femelles permet de réduire l'intervalle pour avoir une information fiable et rapide des femelles pour faire les accouplements dès le premier veau. En polygénique il faut attendre d'avoir une lactation complète finie pour avoir des index permettant de choisir le taureau idéal, c'est-à-dire au troisième veau. Avec la génomique c'est possible dès le premier veau.

Un jeune éleveur rencontré est installé depuis 3 ans avec trois associés, ils traitent cinquante-cinq vaches à trois. La taille des bâtiments limite le nombre de vaches, et pour se tirer un salaire correct, il est essentiel pour l'éleveur que les vaches produisent un maximum de lait. Depuis trois ans maintenant, il fait génotyper toutes ses génisses. Ils peuvent donc choisir les taureaux les mieux adaptés au profil des femelles dès le premier accouplement.

*« Ça nous permet de savoir ce que l'on fait et de ne pas travailler à l'aveugle, c'est très satisfaisant, ça nous permet de s'orienter et d'éviter les erreurs d'accouplements »*

#### **8.2.4.3 La valorisation à la vente**

La génomique permet de valoriser ses bonnes femelles à la vente, en ayant des chiffres concrets à avancer à l'éleveur. Pour la majorité des éleveurs enquêtés, les uniques vaches vendues sont pour la réforme, elles ne présentent donc pas d'intérêt à être génotypées. Un éleveur remarque

que c'est également un point négatif, les mauvaises femelles avec des index se vendront moins bien que les bonnes.

*« C'est jamais les bonnes que l'on veut vendre, donc pour moi c'est plutôt préjudiciable » temporise un éleveur.*

Pour les éleveurs à qui il est arrivé d'acheter des génisses, le génotypage peut être intéressant dans le choix des bêtes, en fonction du prix.

## **8.3 La variabilité génétique**

### **8.3.1 Stratégie et état des lieux des entreprises de sélection**

Les responsables raciaux se réfèrent à l'étude de Colleau présentée dans la première partie pour se situer dans ce modèle. Pour rappel, l'étude de Colleau conclue que si par exemple 80 mâles sont mis en service par an, l'idéal serait qu'ils soient issus de 80 pères différents et ils devraient constituer la génération suivante, c'est-à-dire que chaque père à taureau a un fils. Leur diffusion doit être homogène, avec le même nombre de doses chacun. Les responsables raciaux estiment que l'on se rapproche du modèle présenté par Colleau, le nombre de taureaux en service a considérablement augmenté grâce à la génomique, et leur diffusion est relativement plus homogène. En revanche, 40% des IA sont aujourd'hui réalisées par des vieux taureaux en service depuis plusieurs années, avec des CD élevés et donc sécurisant pour les éleveurs.

*« Le gros atout de la génomique dans la gestion de la variabilité est l'élargissement de l'offre » raconte le directeur d' l'OS Montbéliarde.*

Au niveau de l'homogénéité de diffusion, il y a encore des efforts à fournir de la part des entreprises de sélection. Les taureaux « phares » avec des très bon index et des CD élevés sont beaucoup demandés par les éleveurs, et les entreprises ont du mal à limiter leur nombre de doses. Il est également assez frustrant pour les entreprises de devoir retirer un taureau du catalogue lorsqu'il vient d'être confirmé et que ses index sont connus avec une précision satisfaisante.

Pour le directeur de la deuxième entreprise, la génomique n'est pas un outil de variabilité génétique. Pour eux la gestion de la variabilité se fait depuis toujours par la sélection linéaire. L'entreprise possède huit lignées historiques, chaque lignée possède des caractères que l'on cherche à fixer. Les mâles sont parfois faits volontairement en consanguinité pour que les taureaux portent bien les caractères que l'on attend d'eux. Le directeur de l'entreprise estime que la mode du jeunisme n'est pas forcément quelque chose d'efficace. Certains taureaux de l'entreprise sont utilisés depuis plus de 20 ans et continuent à donner des résultats satisfaisants le directeur. En revanche, l'entreprise se force à utiliser des taureaux moins performants de certaines lignées pour ne pas perdre de lignée et donc de génétique, c'est un vrai effort collectif mené par l'entreprise.

*« Il ne faut pas avoir peur d'utiliser les taureaux longtemps » estime le directeur de la seconde entreprise.*

### 8.3.2 La conscience des éleveurs

L'intérêt de maintenir une variabilité génétique importante dans la population est acquis pour la plupart des éleveurs de l'enquête. Onze des éleveurs ont réellement compris l'intérêt d'utiliser un grand nombre de taureaux dans leur élevage. La raison principale évoquée par les éleveurs pour justifier l'intérêt de la diversité génétique, est de garder une liberté de mouvement et ne pas se retrouver dans une impasse.

Un éleveur enquêté explique :

*« J'aurais tendance à dire que la diversité génétique n'est pas importante, mais en fait c'est très important, si je m'écoutais, je prendrais les cinq meilleurs taureaux et j'inséminerais tout mon troupeau avec. Mais ce n'est pas bien, car il est important de garder toutes les souches de taureaux pour les générations futures et pour garder une liberté de mouvement ».*

Un autre éleveur remarque :

*« Aujourd'hui y'a un paquet d'élevages qui sont consanguins, ceux qui inséminent la moitié du troupeau en micmac. C'est sûr ils ont des bonnes vaches, mais après ils sont emmerdés pour faire les accouplements »*  
*« La diversité, c'est un passage obligé, on y regarde énormément »*

Sept des éleveurs estiment que l'intérêt de la variabilité génétique dans leur élevage est moindre. Les raisons évoquées pour justifier cela sont d'une part qu'ils estiment que ce ne sont pas à eux de gérer cela, et d'autre pas qu'ils n'ont pas les outils nécessaires.

### 8.3.3 Limites

Si on regarde l'augmentation récente du taux de consanguinité sur les 3 ou 4 dernières années, appelé consanguinité proche, elle est relativement bien maîtrisée depuis la génomique estime un directeur d'entreprise, en particulier grâce aux outils qu'on a et grâce à des taureaux issus de pedigrees différents. Par contre en remontant dans les généalogies, le nombre de fondateurs communs n'est pas changé, et ça devient plus compliqué. A niveau proche de génération, la gestion de la variabilité est bien gérée. Au-delà, c'est plus compliqué.

La difficulté, selon l'OS, est que le calcul du taux de parenté est lourd, en termes de capacité calculatoires, le logiciel est vite saturé quand on a beaucoup de générations. Les logiciels que possèdent les entreprises de sélection gèrent la consanguinité à minima, grâce à des calculs statistiques ils remontent à trois ou quatre générations. Sur ce laps de temps, l'augmentation de la consanguinité est relativement faible, mais sur plus de générations, ça se complique.

Les calculs réalisés en routine sont basés sur la connaissance des pedigrees sur trois ou quatre générations. Avec l'arrivée de la génomique, les entreprises de sélection possèdent des

indicateurs de variabilité vraie, qui ne se basent plus uniquement sur des statistiques, mais indiquent ce qu'a réellement reçu un individu de son père ou de sa mère. C'est l'apparenté génique. Deux individus à pourcentage de consanguinité égale n'ont pas le même taux de consanguinité réelle. Le taux de consanguinité calculé par la génomique est plus précis et remonte plus loin que le taux de consanguinité calculé sur pedigree. C'est un bon outil, mais qui n'est pas disponible chez les éleveurs. Le taux de consanguinité est parfois pire que ce que l'on a estimé, parfois moins important. Cet outil permet de trier des animaux réellement originaux, avec peu d'homozygotie.

## 8.4 Dimensions sociales

### 8.4.1 La sélection aux mains des entreprises

Avec l'arrivée de la sélection génomique, les éleveurs ont peu à peu perdu la main sur la génétique dans leur élevage. Les responsables raciaux estiment que les prescripteurs, c'est-à-dire les inséminateurs, les encadrants techniques, sont les maîtres du jeu. L'éleveur donne son avis et ses objectifs, mais dans 80% des cas l'inséminateur a carte blanche et fait le planning d'accouplement pour l'éleveur. Ce phénomène, déjà présent auparavant, s'est accentué avec la génomique. Cela vient du fait que les éleveurs ne connaissent plus les taureaux, car il y en a beaucoup et que le renouvellement est très rapide, ils ont du mal à suivre et se désintéressent.

Le directeur de la première entreprise fait également ce constat, le nombre de taureaux et la complexité des pedigrees a mis de la distance entre les éleveurs et les programmes de sélection. Une partie des éleveurs suivent encore les programmes, mais ça demande du temps et un investissement.

*« Le gros inconvénient de la génomique, c'est que ça a mis de la distance entre nous et les éleveurs » constate le directeur de l'entreprise de sélection qui utilise la génomique depuis plusieurs années.*

Parmi les éleveurs enquêtés, un seul choisi lui-même les taureaux. Pour les autres, le planning d'accouplement est fait avec l'inséminateur. Huit choisissent quelques taureaux, généralement pour les bonnes vaches du troupeau. Le reste des éleveurs confie leur plan de reproduction à leur inséminateur.

Le responsable du deuxième centre d'insémination estime que les éleveurs adhérents restent très impliqués dans la gestion de la génétique de leur troupeau. La raison principale est que l'arrivée de la génomique n'a pas changé le mode de diffusion des taureaux. Ils sont en nombre limité et restent longtemps en catalogue, les éleveurs ont donc le temps de les connaître et s'y retrouvent facilement. Plus d'éleveurs choisissent eux même leurs taureaux, et près de 40% inséminent leurs vaches. C'est une volonté pour le centre que les agriculteurs restent impliqués, et les taureaux sont diffusés de façon à ce qu'ils soient accessibles aux éleveurs.

## 8.4.2 Le ressenti des éleveurs

Pour tous les éleveurs questionnés chez les entreprises utilisant la génomique, le constat est sans appel, ils ont de plus en plus de mal à s'y retrouver dans les catalogues des entreprises. Ils font confiance à leurs centres de sélection et aux techniciens qui les suivent. Tous les éleveurs enquêtés font leur plan d'accouplement avec le technicien inséminateur pour discuter des objectifs du cheptel, certains éleveurs choisissent quelques taureaux, moins de la moitié pour la plupart et d'autres laissent le choix des taureaux au technicien. Les éleveurs ont confiance en leur entreprise de sélection sur la gestion des taureaux. Pour le directeur de Jura Bétail, ce n'est pas forcément une bonne chose que les éleveurs accordent trop de confiance aux entreprises, ce sont des coopératives avant tout, c'est-à-dire que l'éleveur est propriétaire de l'entreprise et doit donc avoir sa part de décision. Douze des éleveurs souhaiteraient être plus impliqués dans les décisions des entreprises.

*« Je suis perdu en génétique aujourd'hui et encore plus en génomique, nous manquons d'informations sur les résultats pour les taureaux testés » estime un éleveur.*

*« On ne connaît plus les taureaux, on n'a pas les outils informatiques, c'est impossible seul » constate un autre éleveur.*

Six des éleveurs enquêtés s'estiment non suffisamment informés sur la génomique et les nouvelles méthodes de sélection, tandis que huit d'entre eux aimeraient avoir les moyens de s'investir davantage dans la génétique de leur élevage.

Un éleveur enquêté, passionné de génétique, a changé d'entreprise de sélection depuis 2011. Il trouvait le catalogue des taureaux trop compliqué et n'arrivait plus à réaliser les plans d'accouplements correctement. L'éleveur n'a pas confiance en la génomique, et ne souhaite pas utiliser des taureaux génotypés non testés sur descendance. Il a donc préféré choisir une entreprise qui testait tous ses taureaux sur descendance et avec un catalogue plus conventionnel, et moins de choix.

## 8.5 Préoccupations, prévisions futures et limite de la génomique

### 8.5.1 Les prévisions futures

Pour les responsables raciaux, le gros impact de la génomique est encore à venir. Le taux d'utilisation de la génomique devrait augmenter, seulement 5% des femelles sont génotypées aujourd'hui et peu de mâles (seulement ceux issus d'accouplements intéressants), c'est peu mais en cinq ans c'est déjà énorme.

*« On m'aurait dit il y a dix ans qu'on en serait là aujourd'hui, j'aurais été le premier à rigoler » estime le directeur de l'OS Montbéliarde.*

*« Au début de la SAM on n'aurait pas imaginé en arriver là aujourd'hui » estime le directeur de l'entreprise.*

Le passage à l'échelle industrielle est tout à fait envisageable selon le directeur de l'OS montbéliarde, si le rapport cout/investissement est raisonnable. Aujourd'hui les prix sont encore trop élevés pour en arriver là.

*« Je pense raisonnablement que demain, on aura des génotypages sur tous les veaux en les bouclant à la naissance » constate le responsable racial Montbéliarde.*

D'une manière générale, la France n'est pas en retard sur le génotypage, elle est dans le peloton de tête. *« On est dans les leaders »*. Les enjeux financiers sont énormes et le marché est très concurrentiel en Holstein, mais en Montbéliard, il y a assez peu de marché ailleurs. Le fait qu'il y ait besoin d'une population de référence large nous fait dire qu'en Montbéliarde il y a peu de travaux ailleurs, parce que les populations hors de la France sont limitées. En revanche, concernant la technologie pure, c'est compliqué de savoir car c'est très concurrentiel, donc on ne sait pas trop ce qu'il se passe ailleurs.

### **8.5.2 Les limites de la génomique**

Pour les responsables raciaux, il n'y a aucune limite à la génomique y compris éthique. En effet contrairement à d'autres domaines ou ce sont les sciences humaines qui bénéficient des sciences animales, la génomique a bénéficiée des travaux fait sur l'homme. Pour les éleveurs, les principales limites mises en évidence sont le coût et le manque de fiabilité.

### **8.5.3 Le manque d'information par les éleveurs**

Les éleveurs sont formés et informés par les entreprises de sélection sur les nouvelles méthodes de sélection génétique. La connaissance de la génomique par les éleveurs est donc en grande partie dépendante de l'entreprise de sélection. Les éleveurs adhérents à Montbéliarde sélection, entreprise qui utilise la génomique depuis peu de temps, sont beaucoup moins formés sur le sujet que les éleveurs adhérents à des entreprises qui l'utilisent depuis plusieurs années. Ainsi les avis des éleveurs peuvent-être faussés par le manque d'information sur le sujet. Parmi les éleveurs rencontrés, sept souhaiteraient avoir plus de formation à ce sujet, six s'estiment assez informé et cinq ne souhaitent pas se former sur le sujet.

*« J'aimerais être plus formé pour pouvoir m'investir davantage dans la sélection » explique un éleveur. « Je préfère laisser ce travail au technicien, je lui fais confiance, je n'ai pas le temps de m'en occuper » raconte un autre éleveur.*



#### **8.5.4 Des choix dépendants des stratégies des entreprises de sélection**

Le choix des éleveurs est également dépendant des stratégies mises en place par les entreprises de sélection. Pour inciter les éleveurs dans leur choix, les centres d'insémination mettent en place des grilles tarifaires incitatives, ou diffuse les taureaux de façon à orienter les éleveurs. Le choix des éleveurs est donc une fois de plus influencé.

## **9. Discussions**

### **9.1 Discussion des résultats**

#### **9.1.1 Les opportunités offertes par la génomique**

##### ***9.1.1.1 Une information dès le plus jeune âge de l'animal***

Tous les acteurs de la sélection s'accordent sur le fait que l'atout majeur de la génomique est de permettre d'obtenir des informations relativement fiables dès le plus jeune âge de l'animal. Dans la voie mâle, c'est une information utilisée par les entreprises de sélection pour effectuer un tri précoce des jeunes mâles. Ça permet un gain de temps considérable par rapport aux méthodes de sélection classique puisque les jeunes bovins peuvent être utilisés dès leur maturité sexuelle au lieu d'attendre les 3 ans de testage. L'intervalle de génération est alors diminué de trois ans. C'est, selon tous les enquêtés, le plus gros atout de la méthode.

Concernant la voie femelle, les index génomiques commencent à être utilisés pour réaliser les plans d'accouplement. Son utilisation dans le but de trier les génisses est encore rare, et inexistante pour la valorisation à la vente. Le génotypage en ferme n'est encore pas une pratique courante, même si elle est en augmentation. Tous les acteurs ne sont pas favorables à cette méthode.

##### ***9.1.1.2 L'augmentation du nombre de taureau en service***

De manière générale, le nombre de taureaux en service toutes entreprises de sélection confondues a augmenté avec l'arrivée de la génomique, avec un renouvellement important. Même si la raison évoquée est l'amélioration de la diversité génétique, l'augmentation de la taille des programmes est aussi liée à la précision inférieure des index génomiques par rapport aux index polygéniques qui poussent les entreprises à augmenter leur nombre de taureaux chaque année pour être sûr de ne pas passer à côté du meilleur. De plus, s'il se trouve qu'un très bon taureau génomique ne se trouve finalement pas si bon une fois testé, il est nécessaire d'avoir des taureaux pour le remplacer.

### **9.1.1.3 L'indexation des bovins et la génomique**

La fiabilité des index génomiques restent à ce jour inférieur à ceux des index polygéniques classiques. La prudence est donc encore de mise, son utilisation soit être raisonnée.

La deuxième avancée permise par la génomique présentée en première partie était une augmentation du nombre d'index disponible. Le nombre croissant d'index est effectivement utile pour connaître plus finement le profil des bovins, mais certains éleveurs redoutent la complexification des catalogues. L'intérêt d'index comme la qualité du lait n'a d'intérêt pour eux que s'il est valorisé à la laiterie. Les index de résistance à certaines maladies sont jugés utiles sur le terrain, tandis que les caractères concernant la durabilité des élevages est à leur sens sans intérêt. L'enquête a permis de mettre en évidence que malgré le nombre d'index de plus en plus important proposé aux éleveurs, leur intérêt porte en premier lieu sur la production laitière et la morphologie. La création d'autres index est principalement intéressante à ce jour pour les organismes de recherche et certaines entreprises de sélection.

## **9.1.2 Des efforts à fournir**

### **9.1.2.1 Diversité**

L'enquête nous a permis de constater que tous les acteurs de la sélection de la race Montbéliarde sont conscients des efforts à fournir pour améliorer la diversité génétique de la race. Malgré tout, les préconisations présentées dans l'étude de Colleau et al ne sont pas encore respectés et des efforts restent à fournir. Bien que le nombre de taureaux mise en service chaque année à tendance à augmenter, le point négatif reste l'excès d'utilisation des taureaux stars pour des raisons financières et de praticité.

En théorie, la sélection génomique devrait permettre, grâce au moindre investissement demandé de s'intéresser à plus de veaux en ferme. En pratique, ce n'est pas toujours vérifié, les veaux étant d'abord repérés grâce à leur ascendance avant d'être confirmé par génotypage. En revanche, la génomique a permis d'élargir l'offre, le nombre de taureaux en catalogue a augmenté et son renouvellement également.

### **9.1.2.2 Une méthode en cours**

La génomique dans la voie mâle est mise en place depuis 7 ans maintenant, c'est une méthode maintenant ancrée dans les habitudes de chacun, même si certaines entreprises l'utilisent encore avec prudence. En revanche dans la voie femelle, le génotypage est encore à ses débuts et en expansion, il serait donc intéressant de revoir le jugement des éleveurs lorsque la phase d'essai sera passée.

La sélection génomique a pour ambition de remplacer la sélection sur descendance. Ceci dit, l'étude a montré que beaucoup d'acteurs de la sélection sont encore très attachés aux méthodes de sélection classique sur descendance et ne sont pas prêts à utiliser exclusivement la sélection génomique.

## **9.2 Discussion des matériels et méthodes**

### **9.2.1 Le choix du type d'entretien**

Parmi les différentes formes d'entretien que j'ai choisi, l'enquête qualitative ouverte pour les responsables raciaux et semi directive pour les entreprises de sélection et les éleveurs, était la plus adaptée à la problématique. L'enjeu de l'enquête ne repose pas dans le nombre d'enquêtés mais dans la manière d'interroger et d'analyser les propos des enquêtés. Cela m'a permis d'obtenir les informations nécessaires pour comprendre la place de la génomique dans la sélection de la race Montbéliarde en intégrant le ressenti et l'opinion réel des acteurs de la race. En revanche, les entretiens ont été enregistrés par un dictaphone pour pouvoir s'affranchir de la prise de note et se concentrer sur l'écoute. Mais cet outils a pu être source de blocage pour les enquêtés qui se sentent moins libres de s'exprimer.

### **9.2.2 L'entretien avec les responsables de l'OS Montbéliarde**

L'entretien avec les responsables de l'OS Montbéliarde a duré 2h20. Il a permis d'obtenir toutes les informations nécessaires à la compréhension de l'organisation de la filière génétique montbéliarde. Les choix concernant l'utilisation de la génomique et les opinions du directeur et du responsable raciale de l'OS ont été parfaitement appréhendés. Malgré tout, cela reste un secteur assez concurrentiel et certaines informations sont restées confidentielles.

### **9.2.3 Les entreprises questionnées**

Les entreprises choisies pour la réalisation de l'enquête ont été conseillées par le directeur de l'organisme de sélection Montbéliarde. Elles possèdent des méthodes de travail et des opinions sur la génomique différentes. Les directeurs de chaque entreprise m'ont exposés leurs points de vue et leur choix, parfois divergent, ce qui a été très enrichissant pour l'enquête.

Le nombre d'entreprises de sélection enquêtée est limité à deux, elles sont implantées dans le Jura et la majorité de leurs éleveurs également, en zone AOC. Le développement d'un outil comme la génomique est dépendant de l'économie des agriculteurs d'une zone. Cette étude a été réalisée dans une zone favorisée par rapport au prix du lait et ne reflète pas forcément ce qu'il se passe dans les zones actuellement en crise. Les entreprises ont répondu à mes questions, mais la sélection et la génomique est un secteur assez concurrentiel, et certaines informations sont restées confidentielles.

Ce sont des entreprises, avec un enjeu financier réel, les choix et les décisions prises sont également conditionnés par ce facteur, même s'il n'a pas été évoqué dans les entretiens.

#### **9.2.4 Les éleveurs**

Dix-huit éleveurs ont été rencontrés, issus d'exploitation de taille différente, et qui possèdent des méthodes de travail et des objectifs différents. Cela a permis de récolter de nombreuses opinions en fonction du type d'exploitation, mais aussi de comprendre leur choix et leur démarche.

Pour que l'enquête soit valide auprès des éleveurs, il est nécessaire de s'assurer que les enquêtés aient une opinion sur le sujet et qu'ils expriment leur idée, et non pas celle qu'ils ont entendu et qu'ils pensent être la réponse idéale. Tous les éleveurs ont été capables de me donner leur opinion, mais certains étaient moins à l'aise avec la question de la génomique que d'autre. La durée des enquêtes est parfois insuffisante pour être interprétable, un entretien de ce type devrait durer au minimum 45 min pour que l'enquêté ait le temps d'exprimer tout ce qu'il pense sur la question, en s'affranchissant de la gêne du début d'entretien. Cinq entretiens ont durés moins de 45 min. Le désavantage de l'enquête qualitative est que les éleveurs participant sont trop peu nombreux pour être représentatif de la population agricole.

#### **9.2.5 Méthode d'analyse**

Les enquêtes ont permis de répondre à la problématique établie, les entretiens ont été très instructifs et enrichissants. La place de la génomique aujourd'hui dans la sélection a été bien établie. La compréhension des choix des acteurs de la filière a été élucidée, les espérances et les appréhensions ont pu être exposées. Le choix des acteurs rencontrés a permis d'avoir une vue globale de la génomique, à tous les niveaux du schéma de sélection.

## CONCLUSION

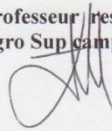
La race Montbéliarde a été l'une des premières races à intégrer la génomique dans son programme de sélection. La France possède une des filières génétiques en Montbéliarde la plus performante du monde, grâce à son important cheptel. La sélection génomique est maintenant utilisée de manière courante par les acteurs de la filière. Son impact dans le domaine de la sélection est déjà considérable. Elle permet de bénéficier d'une évaluation génétique des vaches très rapidement avec une fiabilité supérieure à celle des méthodes traditionnelles. La sélection génomique permet également d'être beaucoup plus performant dans la sélection sur les caractères fonctionnels, mal pris en compte par la sélection sur descendance. Elle permet aux éleveurs de disposer de valeurs génétiques précises pour les mâles comme pour les femelles. Utilisée raisonnablement, elle est également un atout dans la gestion de la diversité génétique. Il est cependant important de conserver le testage sur descendance des taureaux pour garantir l'efficacité des évaluations génomiques sur le long terme et pour renouveler la population de référence.

L'arrivée de la génomique a modifié l'organisation de la filière génétique Montbéliarde, et les éleveurs ont dû s'adapter à ce nouveau mode de sélection. La présence sur le terrain des techniciens génétiques et de l'organisme de sélection permet aux éleveurs d'intégrer petit à petit la génomique dans leur conduite d'élevage. Son intégration dans les programmes de sélection, associé aux préoccupations actuelles, tel que la gestion de la diversité génétique, ont changé les usages de diffusion des taureaux. La complexification des programmes de sélection engendrée suite à ça a rendu les programmes difficiles à suivre de la part des éleveurs qui délèguent la sélection aux techniciens génétiques et ainsi perdent peu à peu la main sur la génétique dans leur élevage. Même si une majorité des éleveurs et des entreprises de sélection est passée à l'air de la génomique, une partie d'entre eux est encore réticent et n'accorde pas une confiance suffisante à la technique pour l'utiliser.

C'est une méthode qui s'est développée et imposée très rapidement dans le monde de la sélection animale. Malgré tout, c'est encore une technique encore nouvelle, qui nécessite des ajustements et un suivi rigoureux. Si la méthode continue d'évoluer au rythme actuel, les progrès s'annoncent très prometteurs dans un futur proche.

Thèse de M/Mme.....

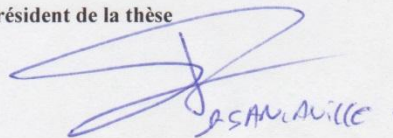
Le Professeur responsable  
VetAgro Sup campus vétérinaire



Le Directeur général  
VetAgro Sup

Par Délégation  
Dr. L. FREYBURGER  
Directeur de l'Enseignement  
et de la Vie Étudiante  
VetAgro Sup Campus Vétérinaire

Le Président de la thèse

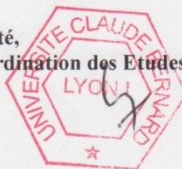


JEAN-ARVILLE

Vu et permis d'imprimer

Lyon, le 06 SEP. 2016

Pour Le Président de l'Université,  
Le Président du Comité de Coordination des Etudes Médicales  
Professeur Jérôme ETIENNE





# Bibliographie

---

- Barillet, and Bonaïti. 1992. "La Production Laitière Des Ruminants Traits." *INRA Productions Animales*, no. hs: 117–121.
- Bibé, and Boichard. 2006. "Les Missions de l'INRA Dans La Nouvelle Loi D'orientation Agricole." institut de l'élevage.
- Boichard, Le Roy, Levéziel, and Elsen. 1998. "Utilisation Des Marqueurs Moléculaires En Génétique Animale." *INRA Productions Animales* 11 (1): 67–80.
- Boichard, 2010. "Sélection, Systèmes de Production et Qualité Des Produits Des Vaches Laitières." In *Journée Technique Élevage Biologique-Sélection Animale*, np. [http://www.itab.asso.fr/downloads/jt-select-animale/actes\\_compiles\\_pdf2.pdf#page=15](http://www.itab.asso.fr/downloads/jt-select-animale/actes_compiles_pdf2.pdf#page=15).
- Boichard, Grohs, Bourgeois, Berqueira, Faugeras, Neau, Rupp, Amigues, Boscher, and Levéziel. 2003. "Detection of Genes Influencing Economic Traits in Three French Dairy Cattle Breeds." *Genetics Selection Evolution* 35 (1): 77–102.
- Boichard, Guillaume, Baur, Colleau, Coiseau, Boscher, Ducrocq, and Fritz. 2010. "La Sélection Génomique et Son Développement Chez Les Bovins Laitiers." *Le Nouveau Praticien Vétérinaire, Élevage et Santé* 4 (16): 23–26.
- Boichard, Guillaume, Baur, Colleau, Croiseau, Boscher, Ducrocq, and Fritz. 2010. "Principes de L'évaluation Génomique Chez Les Bovins Laitiers." *Le Nouveau Praticien Vétérinaire, Élevage et Santé* 4 (16): 19–25.
- Bonaïti, Boichard, Verrier, Ducrocq, Barbat, and Briend. 1990. "La Méthode Française D'évaluation Génétique Des Reproducteurs Laitiers." *INRA Prod. Anim* 3 (2): 83–92.
- Bonaïti, Moureaux, and Mattalia. 2005. "Bilan et Paramètres Génétiques Des Mammites Cliniques Collectées Par Le Contrôle Laitier Dans Les Races Montbéliarde, Normande et Prim'Holstein." *Renc. Rech. Ruminants* 12: 271–274.
- Boujenane, 2003. "Amélioration Génétique Des Bovins Laitiers." <http://agrimaroc.net/111.pdf>.
- Bréchon, 2006. "Enquêtes Qualitatives, Enquêtes Quantitatives." Presses universitaires de Grenoble.
- Brochard, Faucon, Barillet, and Bolard. 2009. "PhénoFinLait : Un Programme National Français de Détection de QTL Et/ou de Gènes Majeurs Affectant La Composition Fine Du Lait Des Ruminants Laitiers."
- Chesnais, 2015. "La Génomique, Que Peut Elle Faire Pour L'éleveur Laitier CRAAQ -." Accessed September 15. [http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/chesnais\\_jacques.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/chesnais_jacques.pdf).
- Chesnais, and Jacques. 2011. "Utiliser La Génomique Pour Maximiser Les Profits Des Élevages Laitiers." <https://www.agrireseau.net/bovinslaitiers/documents/Chesnais.pdf>.
- Colleau, Fritz, Guillaume, Baura, Dupassieux, Boscher, Journaux, Eggen and Boichard. 2015. "Simulation Des Potentialités de La Sélection Génomique Chez Les Bovins Laitiers." *INRA Productions Animales* 28 (3).
- Colombani. 2012. "Modèles de Prédiction Pour L'évaluation Génomique Des Bovins Laitiers Français : Application Aux Races Holstein et Montbéliarde." PhD Thesis. October 16. <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00001973/>.
- Dassonneville, Barbat-Leterrier, Gion, Larroque, and Ducrocq. 2009. "Estimation de Paramètres Génétiques de Nouveaux Caractères Fonctionnels Pour Les Bovins Laitiers." *Renc REch Ruminants*.
- Degryse, 2015a. "Génomique et Santé Animale," bulletin des GTV, , no. 77(March): 33–43.
- Degryse. 2015b. "La Génomique." *Bulletin Des GTV* 77 (March): 23–62.
- Dervillé, Patin, and Avon. 2009. *Races Bovines de France: Origine, Standard, Sélection*. France Agricole Editions.
- Ducrocq, and Fritz. 2015. "La Nouvelle Méthode Française D'évaluation Génomique." IBL2015-5.
- Fouilloux, and Laloë. 2009. "Index, Précision et Prise de Risque." 52.

- France génétique élevage. 2011. "Les Étapes de Sélection, Les Objectifs de Sélection." <http://fr.france-genetique-elevage.org/Les-objectifs-de-selection.html>.
- France génétique élevage. 2015. "Races Bovines Laitières, Montbéliarde." <http://fr.france-genetique-elevage.org/Montbeliarde.html>.
- Fritz, Guillaume, Croiseau, Baur, Hoze, Dassonneville, Boscher, Journeaux, Boichard, and Ducrocq. 2010. "Mise En Place de La Sélection Génomique Dans Les Trois Principales Races Françaises de Bovins Laitiers." *Renc Rech Ruminants* 17: 455–458.
- Fritz, Colleau, Druet, Boscher, Rossignol, Malafosse, and Boichard. 2003. "Mise En Place D'une Sélection Assistée Par Marqueurs Dans Les Trois Principales Races Bovines Laitières Françaises." *Renc. Rech. Rum* 10: 53–57.
- Fritz, Druet, Guillaume, Malafosse, Boscher, Eggen, Gautier, Colleau, and Boichard. 2007. "Bilan Du Programme de Sélection Assistée Par Marqueurs Dans Les Trois Principales Races Bovines Laitières Françaises et Perspectives D'évolution." *Renc. Rech. Rum*, 129–132.
- Guerrier, Danchin, Le mezec, Clément, Pathière, Tortereau, Larroque, and Bouquet. 2015. "Index de Sélection, Génomique et Performances." *Bulletin Des GTV*, no. 77(March): 49–56.
- Guillaume, Fritz, Croiseau, Legarra, Robert-Granié, Colombani, Patry, Boichard and Ducrocq. 2009. "Modèles D'évaluation Génomique: Application Aux Populations Bovines Laitières Françaises." *Rencontres Autour Des Recherches Sur Les Ruminants*, 399–406.
- Guillaume, Francois, Boichard, Ducrocq, and Fritz. 2011. "Utilisation de La Sélection Génomique Chez Les Bovins Laitiers." *Productions Animales* 24 (4): 363.
- Hocquette, Boudra, Cassar-Malek, Leroux, Picard, Savary-Auzeloux, Bernard, et al. 2009. "Perspectives Offertes Par Les Approches En<< Omique>> Pour L'amélioration de La Durabilité de L'élevage Des Herbivores." *Productions Animales* 22 (5): 385.
- INRA prod animal. 2015. "Un Nouveau Cap Est Franchi En Sélection Génomique Des Bovins Laitiers Pour Des Index plus Fiables et plus Précis."
- Institut de l'élevage. 2016. "L'élevage D'herbivore En France." [www.idele.fr](http://www.idele.fr).
- Jammes and Renard. 2010. "Epigénétique et Construction Du Phénotype, Un Enjeu Pour Les Productions Animales?" *Robustesse, Rusticité, Flexibilité, Plasticité, Résilience... Les Nouveaux Critères de Qualité Des Animaux et Des Systèmes D'élevage. Sauvant D., Perez JM (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim* 23: 23–42.
- Jussiau, Papet, Rigal, and Zanchi. 2013. *Amélioration Génétique Des Animaux D'élevage, Génome, Caractères, Sélection et Croisements*.
- Labatut, Astruc, Barillet, Boichard, Ducrocq, Griffon, and Lagriffoul. 2014. "Implications Organisationnelles de La Sélection Génomique Chez Les Bovins et Ovins Laitiers En France : Analyses et Accompagnement."
- Lambert-Derkimba, Casabianca, and Verrier. 2006. "L'inscription Du Type Génétique Dans Les Règlements Techniques Des Produits Animaux Sous AOC: Conséquences Pour Les Races Animales." *INRA Productions Animales* 19 (5): 357–370.
- Launay 2015. "Évaluation Génétique Méthodes & Définitions." Accessed April 7. [http://idele.fr/fileadmin/medias/Documents/Nomenclatures/Nomenclature\\_BL\\_fr.pdf](http://idele.fr/fileadmin/medias/Documents/Nomenclatures/Nomenclature_BL_fr.pdf).
- Launay and Le Mezec. 2014. "Le Cheptel Laitier Français, Evolution Génétique et Phénotypique 1993-2013 Prévision D'évolution Génétique 2013-2019." Institut de l'élevage.
- Launay and Le Mezec. 2015. "Bilan de L'indexation Des Races Bovines Laitières, Résultats de La Campagne 2014." Institut de l'élevage.
- Leclerc 2009. "Mise En Place de L'évaluation Génétique Sur Les Contrôles Élémentaires En Bovins Laitiers et Perspectives D'utilisation Des Résultats En Appui Technique."
- Leclerc and Ducrocq 2008. "Mise En Place de L'évaluation Génétique Sur Les Contrôles Élémentaires En Bovins Laitiers et Perspectives D'utilisation Des Résultats En Appui Technique."
- Lefevre. 2006. "Méthodes et Techniques D'enquête." *Master 1 SLEC Lille*, [[http://staps.univlille2.fr/fileadmin/user\\_upload/ressources\\_peda/Masters/SLEC/entre\\_meth\\_recher.pdf](http://staps.univlille2.fr/fileadmin/user_upload/ressources_peda/Masters/SLEC/entre_meth_recher.pdf)], .
- Mormede 2015. "Contribution de La Génétique À La Robustesse et Au Bien-Être Des Animaux D'élevage." *Bulletin Des GTV*, no. 77(March): 43 47.



- OS Montbéliarde. 2016. "Organisme de Sélection de La Race Montbéliarde." <http://www.montbeliarde.org/>.
- Perreau, 2014. *Conduire Son Troupeau de Vaches Laitières*. France agricole.
- Quittet, 1963. "Races bovines françaises. 2ème édition." Ouvrage. <http://alex.vetagro-sup.fr/Record.htm?idlist=14&record=19117807124919350899>.
- Raboisson, 2004. "Evolution Raciale Du Cheptel Bovin Français Des Années 1970 Aux Années 2000: Analyse À Partir Des Données Des Recensements Généraux Agricoles de 1979, 1988 et 2000." <http://oatao.univ-toulouse.fr/2034/>.
- Ricordeau, Barillet, Bidanel, Bouix, Ducrocq, Ménissier, and De Rochambeau. 1992. "Synthese Des Estimations de La Variabilité Génétique et Des Liaisons Entre Caracteres Dans Les Différentes Espèces." *INRA Productions Animales*, no. hs: 107–116.
- Robert-Granié, Legarra, and Ducrocq. 2011. "Principes de Base de La Sélection Génomique." *Productions Animales* 4 (24): 331–40.
- Rognon, Vila and Verrier. 2009. "L'évolution Des Espèces Animales Suite À La Domestication, Conséquences Pour Les Ressources Génétiques." *Comptes-Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*.
- Rupp, and Boichard. 2001. "Numérations Cellulaires Du Lait et Mammites Cliniques: Relations Phénotypique et Génétique Chez Les Vaches Prim'Holstein." *INRA Prod. Anim* 14 (3): 193–200.
- Schaeffer, 2006. "Strategy for Applying Genome-Wide Selection in Dairy Cattle." *Journal of Animal Breeding and Genetics* 123 (4): 218–223.
- Tribon. 2006. "La Révision de La Loi Sur L'élevage Du 28 Décembre 1966 Par La Loi D'orientation Agricole Du 5 Janvier 2006." Ministère chargé de l'agriculture.
- UFR Génétique, élevage et reproduction (AgroParisTech). 2017. "Les Races Bovines Françaises." <http://www.agroparistech.fr/svs/genere/especes/bovins/montbel.htm>.
- Vernier, and Jean-Blain. 1953. *Historique de La Race de Montbéliard*. Camponovo Besancon.
- Verrier. 2014. "L'amélioration Génétique Des Animaux: Aperçu Historique, Principes et Application a Des Productions Sous Cahier Des Charges."
- Verrier, Le Mezec, Boichard, and Mattalia. 2010. "Evolution Des Objectifs et Des Méthodes de Sélection Des Bovins Laitiers." *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France* 163 (1): 73–81.
- Verrier, Rognon, Leroy, and Heams. 2009. "La Sélection : Paramètres Du Progrès Génétique, Comparaison Des Methodes Disponibles."
- Wahnich 2006. "Enquêtes Quantitatives et Qualitatives, Observation Ethnographique Trois Méthodes D'approche Des Publics."



**CARREZ Fanny**

**L'APPORT DES NOUVELLES METHODES DE SELECTION SUR LE STANDARD DE LA RACE MONTBELIARDE**

Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Lyon, 30 septembre 2016

**RESUME :**

Depuis le début de la domestication, l'homme sélectionne des races animales dans différents buts. La race Montbéliarde est la deuxième race laitière de France, les efforts de sélection portés sur la race l'on fait évoluer en s'adaptant au contexte économique et aux besoins des producteurs de lait. Pendant longtemps, cette sélection s'est faite par observation des animaux, de ses parents, et de ses apparentées. Depuis quelques années, la sélection a considérablement évolué avec l'apparition de la sélection génomique qui permet de gagner du temps et de sélectionner des caractères qui étaient peu ou pas sélectionnés. Cependant, cette sélection génomique présente certaines limites et son utilisation sur le terrain n'est pas toujours importante. La première partie de ce travail présente la race Montbéliarde et son histoire, ainsi que l'organisation de sa sélection avec la présentation des différents acteurs et des différentes méthodes de sélection. La fin de cette première partie est consacrée à la sélection génomique, son principe, son utilisation, ses perspectives d'évolution et ses limites. La deuxième partie de la thèse est consacrée à l'enquête de terrain réalisée auprès d'organismes de sélection de la race Montbéliarde et auprès de dix-huit éleveurs afin d'appréhender comment la sélection génomique est utilisée en race Montbéliarde et comment les éleveurs perçoivent l'évolution de la sélection.

**MOTS CLES :**

- Montbéliarde (race bovine)
- Elevage sélectif
- Amélioration génétique

**JURY :**

Président : Monsieur le Professeur Damien SANLAVILLE

1er Assesseur : Monsieur le Docteur Luc MOUNIER

2ème Assesseur : Madame le Docteur Véronique LAMBERT

**DATE DE SOUTENANCE : 30 septembre 2016**

**ADRESSE DE L'AUTEUR :** Le champ de la croix,  
39300 SUPT