



**HAL**  
open science

# Étude de la mise en place d'une évaluation génétique des bovins allaitants de l'île de la Réunion

Quentin Berger

► **To cite this version:**

Quentin Berger. Étude de la mise en place d'une évaluation génétique des bovins allaitants de l'île de la Réunion. Sciences du Vivant [q-bio]. 2017. dumas-01624575

**HAL Id: dumas-01624575**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01624575>**

Submitted on 26 Oct 2017

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

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

AGROCAMPUS  
OUEST

CFR Angers

CFR Rennes



Année universitaire : 2016-2017.

Spécialité :

Science de l'animal pour l'élevage de demain

Spécialisation (et option éventuelle) :

.....

### Mémoire de fin d'études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

# Étude de la mise en place d'une évaluation génétique des bovins allaitants de l'île de la Réunion

Par : Quentin BERGER

Soutenu à Rennes

le 23/06/17

Devant le jury composé de :

Président :

Maître de stage : Eric Venot

Michel Naves

Enseignant référent : Frederic Leclerc

Autres membres du jury (Nom, Qualité)

Sophie Allais (Rapporteur)

François Ferrière

Vanessa Lollivier

Lucile Montagne

Emmanuelle Moreau

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST*

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation  
« Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France »  
disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>





## Remerciements

Je tiens à remercier mes maitres de stage, Eric Venot et Michel Naves, de m'avoir fourni l'opportunité de travailler sur un sujet si intéressant et de me former à de nombreux logiciels. Je les remercie encore d'avoir été si présents pour moi tout au long des 5 mois qu'a duré cette étude.

Je tiens de plus à remercier Mr Bigot, de la SICAREVIA, d'avoir pris sur son temps libre pour nous fournir des données de géolocalisation des élevages remis à jour pour l'année 2017, Mr Tillard, du CIRAD, de nous aiguiller quant à la mise en place des différents effets fixes propres aux conditions de la Réunion et Mr Payet d'avoir pris de son, temps pour nous permettre de discuter avec lui et de « caler les régions ».

Je remercie les membres de l'équipe G<sup>2</sup>B de m'avoir accueillie avec tant de gentillesse, et particulièrement Gilles Renand pour m'avoir accueilli dans son bureau.



## Table des matières

Figures : .....	
Tableaux .....	
Annexes .....	
Introduction .....	1
1. Le contexte réunionnais .....	1
1.1. Le contexte géoclimatique.....	2
1.1.1. Une île volcanique.....	2
1.1.2. Des conditions climatiques spécifiques à la Réunion.....	2
1.1.3. Un environnement modelé par ces contraintes.....	2
1.2. L'élevage à la Réunion.....	2
1.2.1. Bref historique.....	2
1.2.2. Développement récent .....	3
1.2.3. La gestion des fourrages.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.2.4. L'étagement des élevages.....	3
1.2.5. Spécificités de l'élevage à la Réunion .....	3
2. L'évaluation génétique des bovins allaitants IBOVAL .....	4
2.1. Les différents contrats .....	4
2.2. Les informations collectées .....	5
2.3. Évaluation génétique des animaux.....	6
2.3.1. Principe de l'évaluation génétique.....	6
2.3.2. Les index élémentaires .....	6
2.3.3. Utilisation des index pour la sélection génétique .....	7
3. La prise en compte des interactions entre le génotype et l'environnement .....	7
3.1. Définitions .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.1.1. Génotype .....	7
3.1.2. L'environnement.....	8
3.1.3. Les interactions génotype-environnement.....	8
3.2. Modélisation et mise en évidence de l'interaction GxE .....	8
3.2.1. Modélisation : approche multivariée .....	8
3.2.2. Estimation de la corrélation par la méthode de vraisemblance restreint (REML) .....	9
4. Matériel et méthode.....	9
4.1. Présentation des données.....	9
4.2. Une utilisation forte du croisement et de la race Limousine.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.3. Sélection des données .....	10
4.4. Définition du modèle des effets fixes .....	11



4.5.	Estimation des paramètres génétiques.....	11
4.5.1.	Méthode utilisée.....	11
4.5.2.	Estimation des paramètres génétiques réunionnais.....	12
4.5.3.	Estimation des corrélations génétiques entre la Réunion et la Métropole.....	13
4.6.	Réalisation d'évaluations génétiques test.....	13
5.	Résultats.....	13
5.1.	Sélection des performances.....	13
5.1.1.	Bilan des exclusions.....	13
5.1.2.	Description des données conservées et comparaison à la métropole.....	14
5.2.	La connexion génétique entre la métropole et la Réunion.....	14
5.3.	Comparaison des performances des descendants réunionnais et métropolitains des pères connecteurs.....	14
5.4.	Définition des régions réunionnaises.....	15
5.5.	Etude des différents effets fixes.....	16
5.5.1.	Les régions.....	16
5.5.2.	La saison.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.5.3.	Le type racial.....	16
5.5.4.	Les effets fixes pris en compte dans le modèle.....	16
5.6.	Estimation des paramètres génétiques.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.6.1.	Intra-réunion.....	17
5.6.2.	Approche multicaractère.....	17
5.7.	Évaluation génétique test sur le fichier des performances métropolitaines.....	17
5.7.1.	Distribution des coefficients de détermination.....	17
5.7.2.	Etude du palmarès des meilleurs taureaux de la Réunion.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
6.	Discussion et perspectives.....	18
7.	Conclusion.....	19
	Bibliographie :.....	20
	Sitographie :.....	21
	Annexe 1 : Les 30 pères métropolitains les plus utilisés à la Réunion.....	I
	Annexe 2 : Paramètres génétiques (A) et d'environnement maternel (B) permanent estimées entre la population réunionnaise et métropolitaines.....	II
	Annexe 3 : Palmarès de différents caractères étudiés.....	V



## Figures :

Figure 1 : relief de la Réunion

Figure 2 : caractéristiques du climat à la Réunion

Figure 3 : schéma de répartition principales des espèces fourragère à la Réunion

Figure 4 : besoin du troupeau et disponibilité des fourrages

Figure 5 : les différents index de l'évaluation IBOVAL sevrage

Figure 6 : évolution de la part de chaque type d'animal dans les naissances par campagne

Figure 7 : comparaison des performances des animaux issus d'un même père à la Réunion et en métropole.

Figure 8 : mise en place des régions

Figure 9 : distribution des campagnes de naissances des animaux connecteurs

Figure 10 : distributions des CD pour les différents caractères évalués



## Tableaux

Tableau 1 : distribution des différentes races dans les élevages réunionnais pour les animaux présentant un PNAI

Tableau 2 : résultats de la seconde phase de sélection des données

Tableau 3 : comparaison des performances réunionnaises et métropolitaines

Tableau 4 : connexion entre la Réunion et la métropole

Tableau 5 : m

Tableau 6 : mFévrier »

Tableau 7 : m

Tableau 8 : significativité des effets du modèle pour chaque performance

Tableau 9 : corrélations génétiques des effets directs de l'évaluation IBOVAL et corrélations génétiques estimés intra-réunion

Tableau 10 : description du sous-échantillon métropolitain

Tableau 11 : paramètres génétiques estimées sur la population réunionnaise et le sous échantillon métropolitain et paramètres de l'environnement permanent maternel

Tableau 12 : résultat de l'exclusion sur les seuils de CD pour les différents caractères



## Annexes

Annexe 1 : Les 30 pères métropolitains les plus utilisés à la Réunion.

Annexe 2 : Paramètres génétiques (A) et d'environnement maternel (B) permanent estimées entre la population réunionnaise et métropolitaines

Annexe 3 : Palmarès de différents caractères étudiés.



## Introduction

Au large de Madagascar en plein Océan Indien, l'île de la Réunion est unique par sa topographie, avec un relief très prononcé (2 volcans dont le piton de la Fournaise connu pour son activité volcanique) et les conditions climatologiques associées. Ces caractéristiques sont très favorables à la production de canne à sucre (53 % de la superficie agricole réunionnaise (DAAF,2015)) mais aussi à la production de viande bovine.

Introduite au XVII<sup>ème</sup> siècle par les premiers flibustiers, l'élevage bovin a connu 2 phases de développement. Tout d'abord utilisés comme force de travail et pour la production de divers produits et services (lait, viande, fumier, cuir, ...), l'élevage bovin a dû se réorienter au milieu du XX<sup>ème</sup> siècle. La production de viande bovine ne s'est toutefois développée que récemment, et ne répond actuellement pas à la forte demande locale de viande bovine : la consommation moyenne par habitant est en effet passée de 1 à 8 kg e.c. entre 2000 et 2013 (INSEE,2014) L'offre locale de viande bovine n'a pas réussi à évoluer en même temps que la demande et ne permet d'alimenter le marché frais qu'à hauteur de 35% et le marché global de 21% (Bigot,2016). La demande de viande bovine est donc complétée par l'importation de viande en provenance des pays Afrique-Caraïbe-Pacifique, de ceux de l'Océan indien et de la métropole.

Pour améliorer l'autonomie en viande bovine du territoire, différents plans d'actions ont été mis en place et sont en cours, avec le soutien de l'Interprofession Réunionnaise Bovine SICAREVIA, pour accroître de 10% la part de la production locale en viande et en lait ces dix prochaines années : pour la filière allaitante, cela correspond à une augmentation de 58% de la production par rapport à la situation actuelle. Les premières études ont porté sur l'amélioration de l'alimentation des animaux, de la reproduction des femelles et de la mortalité des veaux. L'augmentation de la production locale peut aussi s'appuyer sur l'amélioration génétique des animaux.

De par les liens historiques entre la Réunion et la métropole, les éleveurs réunionnais utilisent depuis plus de 50 ans, les races à viande françaises telles que les races Limousine ou Blonde d'Aquitaine. Ils ont pu importer dans le passé des animaux vivants, notamment des reproducteurs améliorateurs, et depuis 2006, seulement du matériel biologique (semence ou embryon) pour des raisons sanitaires. Un contrôle des performances en ferme a été mis en place depuis 1995 selon le protocole développé en métropole pour les évaluations officielles des bovins allaitants (IBOVAL). Outre la valorisation technique aux éleveurs pour le suivi de leurs troupeaux, ces informations n'ont pas pu être encore valorisées au travers d'une évaluation génétique.

L'objectif de cette étude est donc d'analyser les données de contrôle de performances en ferme collectées avant sevrage à la Réunion et de les valoriser au travers d'une évaluation génétique des bovins allaitants de la Réunion. Les liens génétiques forts entre la population bovine réunionnaise et celle de métropole permettent d'envisager la prise en compte des informations collectées à la Métropole. Toutefois, le potentiel génétique d'un animal peut s'exprimer différemment selon l'environnement. Différents scénarii sont donc envisageables selon l'amplitude de cette interaction génotype x environnement (GxE) pour les différents caractères étudiés.

Les spécificités de l'environnement et de l'élevage réunionnais seront présentées dans une première partie. Cette présentation sera suivie d'une description du processus mis en place pour une évaluation IBOVAL. Finalement, une présentation des interactions génotype-environnement et de leur prise en compte dans les modèles d'évaluations sera effectuée. Les étapes qui mènent de la préparation des données à la mise en place d'une évaluation génétique seront ensuite abordées et appliquées sur les données de la Réunion.

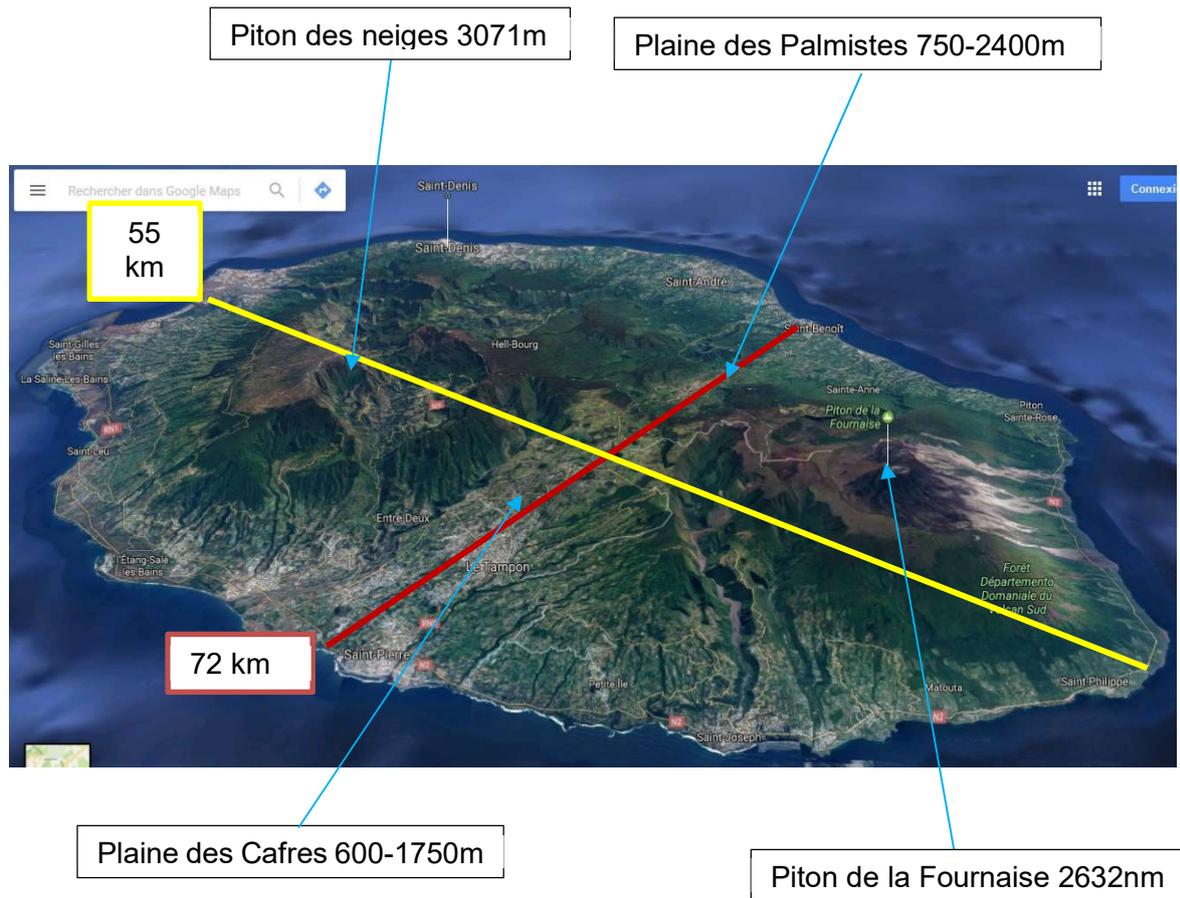


Figure 1 : relief de la Réunion

(Google maps, 2017)

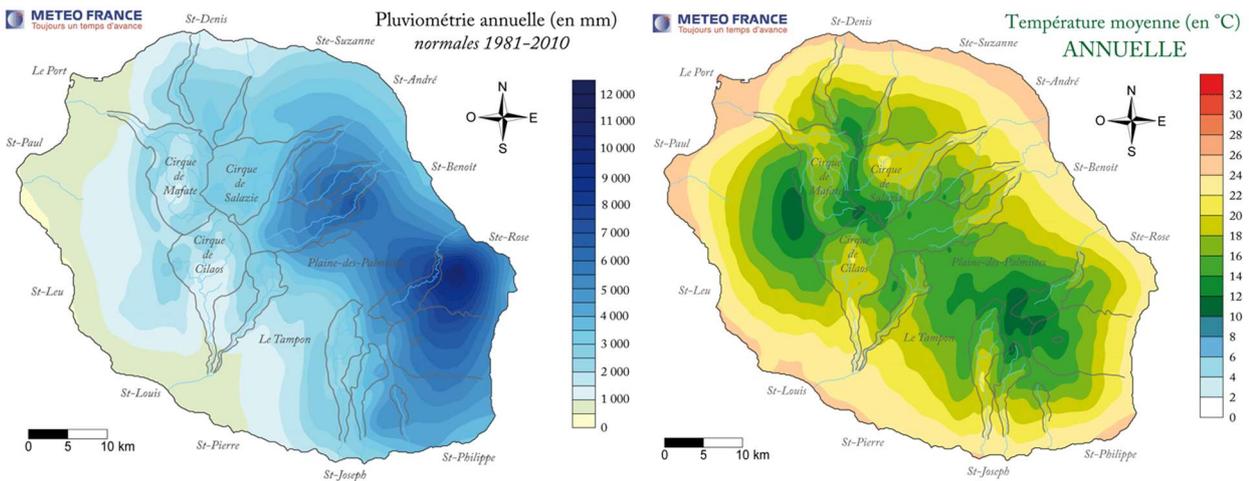


Figure 2: caractéristiques du climat à la Réunion

(Météo France.re, 2017)

# 1. Le contexte réunionnais

## 1.1. Le contexte géoclimatique

### 1.1.1. *Une île volcanique*

Située sous les tropiques, l'île de la Réunion est une île volcanique de l'Océan Indien d'une superficie de 2512 km<sup>2</sup> qui s'étend sur 72 km du Nord au Sud et de 55 km d'Est en Ouest. Elle est caractérisée par deux sommets, le Piton des Neiges culminant à 3071 m et le Piton de la Fournaise, volcan parmi les plus actifs au monde (Figure 1). En enclave entre les deux Pitons se trouvent les plaines des Cafres (altitude : 600-1750 m), et des Palmistes (altitude : 750-2400m). Trois cirques d'altitude moyenne, entre 500 et 750m, se trouvent autour du Piton des Neiges (Mafate, Cilaos et Salazie). Les activités de l'île se définissent en fonction de ce relief. Le littoral présente la majeure partie des habitations, les exploitations de cannes à sucre et un faible nombre d'élevage. Le centre de l'île, moins peuplé, a plutôt vocation à accueillir les élevages allaitants plutôt que la production sucrière, ainsi que des espaces naturels protégés.

### 1.1.2. *Des conditions climatiques spécifiques à la Réunion*

La Réunion est soumise à des conditions climatiques de type tropical humide tempérées avec des vents d'alizé soufflant d'Est en Ouest durant l'hiver austral. Ces vents, couplés au fort relief de l'île, entraînent la présence de microclimats. Ainsi l'Est de l'île se caractérise par des températures fraîches et une très forte pluviométrie alors que l'Ouest de l'île, protégée par les massifs, présente de faibles précipitations pour des températures plus élevées. On a de plus une baisse des températures avec l'élévation vers le Centre et l'Est de l'île (Figure2).

Deux saisons principales peuvent être distinguées à la Réunion : un été austral, de décembre à avril, où les températures sont chaudes mais où les vents et précipitations sont abondants et puissants. C'est durant cette saison qu'a lieu la majorité des événements cycloniques. La seconde saison est l'hiver austral, entre mai et novembre. Les températures sont fraîches et les précipitations, peu abondantes, sont localisées essentiellement sur l'Est de l'île (MétéoFrance.re,2017).

### 1.1.3. *Un environnement modelé par ces contraintes*

Les conditions climatiques couplées à la topographie de l'île entraînent des variations fortes d'environnement sur des courtes distances et une colonisation des espèces herbagères particulières en fonction de l'altitude (Figure 3). Ainsi, entre 0 et 600 m d'altitude, les conditions tropicales permettent la mise en place de cultures de canne à sucre fourragère et le développement de Chloris, graminée très souvent utilisée à la Réunion, dans les prairies du versant Ouest. Le Chloris associé au Brachiaria peut être aussi retrouvée sur les versants Est. La montée en altitude induit la disparition des cannes à sucre pour faire place aux prairies de Chloris, Kikuyu, la graminée principale de l'île, et d'autres graminées présentes en métropole. Cette transition provient du climat intermédiaire entre le climat tropical de basse altitude et le climat tempéré présent après 1200 m d'altitude. Au-delà de 1200 m d'altitude, le climat se fait tempéré et les espèces présentes dans les prairies réunionnaises correspondent à celles de métropole (ray gras, dactyle, féтуque...). Enfin, pour des altitudes supérieures à 1500 m, sur les pentes des Pitons et des Cirques, une végétation naturelle d'altitude prédomine (Barbet-Massin et al.,2004).

## 1.2. L'élevage à la Réunion

### 1.2.1. *Bref historique*

L'élevage sur l'île de la Réunion n'est pas aussi ancien qu'en Métropole. Colonisée depuis le XVIIe siècle, la Réunion a longtemps fait office d'escale sur la route des Indes. C'est en 1649 qu'ont été introduits les premiers bovins sur l'île (4 génisses et 1 taureau).

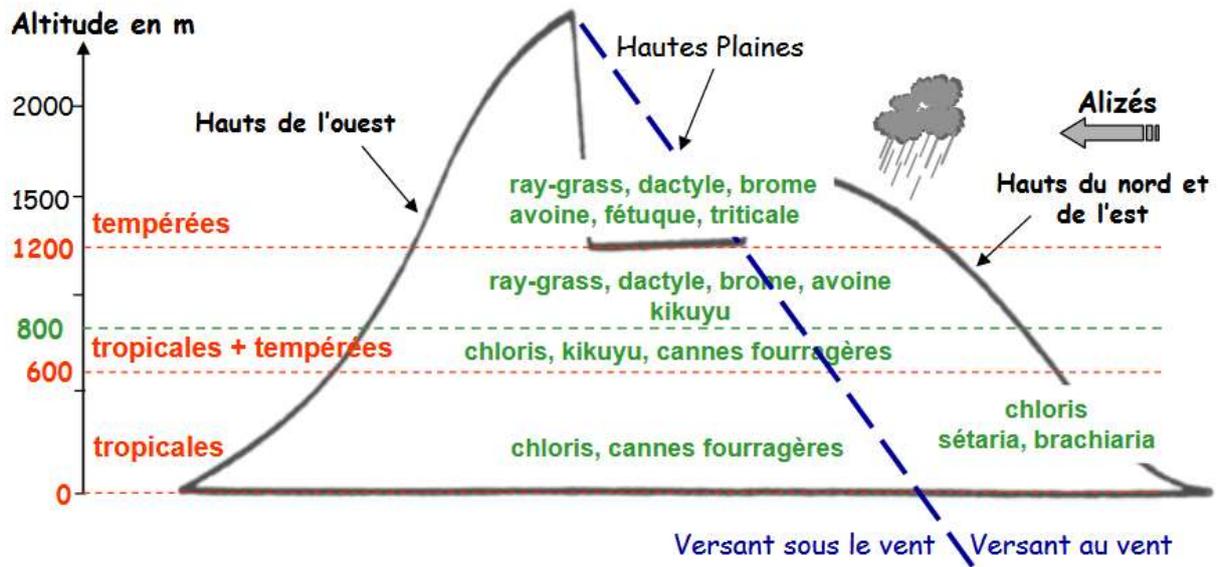


Figure 3 : schéma de répartition principales des espèces fourragère à la Réunion

(Barbet-Massin et al., 2004)

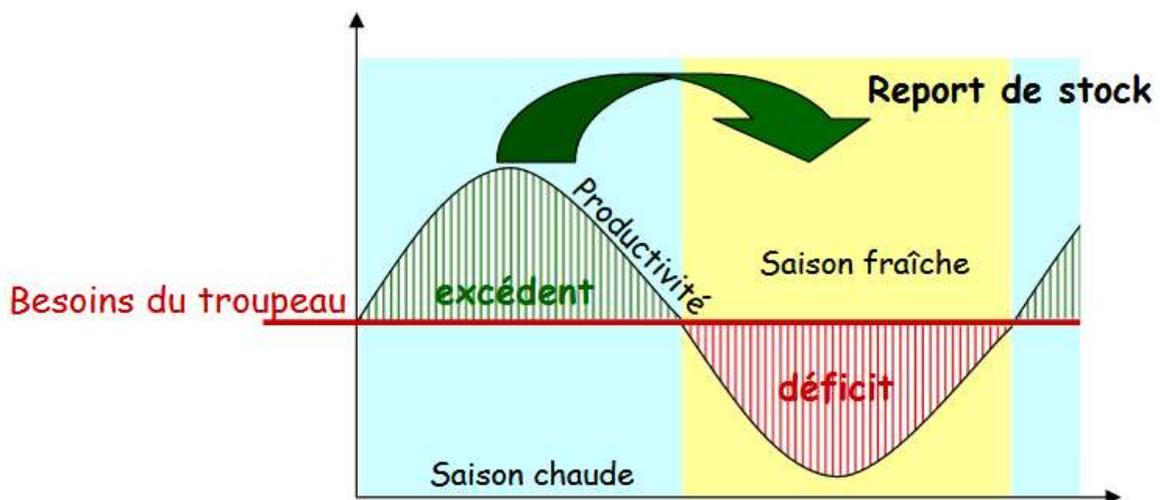


Figure 4 : Besoin du troupeau et disponibilité des fourrages

(Barbet-Massin et al., 2004)

Par la suite, de nombreuses vagues d'introduction ont eu lieu, en provenance principalement de Madagascar, mais aussi du Yémen (Moka), d'Inde (Surate, Pondichéry), de Java ou de Bali, ainsi que d'Europe (France, Angleterre). L'élevage qui en a découlé avait essentiellement un rôle d'aide pour la culture de la canne à sucre, l'animal servant d'outil de traction et fournissant de nombreuses matières premières (lait, viande, cuir, fumier). L'élevage ne se développe que très faiblement et, en 1845, l'état encourage l'importation de gros animaux sur l'île, par le biais d'une prime. Ceci a pour impact une importation de zébus indiens, de meilleure conformation que les animaux présents sur l'île. Malgré cela le développement de l'élevage reste limité. Ce faible développement est à relier aux habitudes alimentaires de l'époque, pauvres en viande bovine. Au début du XXe siècle, une vague d'épizootie bovine décime le cheptel Réunionnais. Sur la même période, une démarche de remembrement se termine, favorisant le développement de la canne à sucre en basse altitude. La décision est alors prise de commencer à valoriser les Hauts, en commençant la déforestation et la mise en valeur agricole de ces zones (Mandret,2000).

### *1.2.2. Développement récent*

Suite à la première guerre mondiale, les décideurs politiques planifient le développement de l'élevage par la mise en place, en 1927, du Syndicat d'élevage de l'étang, une coopérative regroupant 500 bovins. L'élevage allaitant reste encore en retrait durant 50 ans, la filière lait étant privilégiée par les décideurs politiques, avec l'introduction de vaches Frisonne, Brune et Jersiaise. C'est en 1974-1976 que le premier plan de développement de l'élevage allaitant est mis en place, par la coopération entre le Crédit agricole et la Chambre d'agriculture. Ce plan est encadré par ce qui deviendra la SICAREVIA (interprofession bovine à la Réunion) et visait à la création d'élevages plus spécialisés, à orientation viande. En 1987, le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) et l'institut national de la recherche agronomique (INRA) créent le CIRAD-élevage, afin d'apporter un appui de la recherche au développement de l'élevage sur l'île en prenant en compte ses spécificités (Mandret,2000).

Actuellement, le cheptel bovin allaitant compte 9 500 bêtes réparties dans 630 élevages. Ceci permet une production moyenne de 1 800 t de viande par an, vendue exclusivement sur le marché local. L'initiative bœuf Péyi, qui vise à faire la promotion de la production locale de viande bovine, nous montre que la volonté des éleveurs est d'augmenter cette production afin de diminuer la dépendance aux importations (3 600 t par an) (Chambre d'agriculture de La Réunion,2017).

### *1.2.3. La gestion des fourrages*

Différents systèmes fourragers peuvent être distingués en fonction de l'altitude. Outre l'étagement des espèces fourragères, créant différents systèmes fourragers possibles, les éleveurs doivent faire face à un déséquilibre saisonnier de la production fourragère (Figure 4). Ce déséquilibre entraîne des périodes de surabondance de fourrage et des périodes de manque (Barbet-Massin et al.,2004). Le système de conduite du troupeau étant essentiellement le pâturage tournant, l'alimentation des animaux alterne entre des fourrages riches en nutriments, en saison des pluies, et des fourrages lignifiés, pauvres en nutriments, pendant la saison suivante. Afin d'avoir un fourrage de qualité moyenne lors de la saison sèche, le surplus de la saison des pluies est fauché pour faire de l'enrubannage (conservation en voie humide) ou du foin (voie sèche) et être redistribué quand le besoin s'en fait sentir (Mandret,2000). Il est aussi possible de compenser le manque de fourrage par des sous-produits agro-industriels provenant de la transformation de la canne à sucre (Choisis et al.,2009).

### *1.2.4. L'étagement des élevages*

La disponibilité des fourrages a induit aux fils des années un étagement des élevages. Cet étagement est facilité par le climat, de type tropical, tempéré par l'altitude dans les « Hauts », qui facilite l'élevage de troupeaux femelles de races taurines européennes.



Ainsi, les élevages laitiers ainsi que les ateliers naisseurs sont installés majoritairement dans les « Hauts », avec différents types d'élevages, allant d'élevages diffus ne présentant que quelques bêtes à des élevages plus conventionnels inspirés de métropole. Ils produisent des brouillards qui descendront dans les « Bas », là où se trouvent les élevages engraisseurs. Cette appellation comporte les élevage naisseurs-engraisseurs, les élevages engraisseurs mâles et anciennement les élevages engraisseurs femelles (absents depuis 2015 (Odeadom,2013 et Odeadom,2015)). Les élevages engraisseurs s'appuient particulièrement sur les sous-produits des industries sucrières pour finir les animaux.

### *1.2.5. Spécificités de l'élevage à la Réunion*

Au vu des conditions spécifiques de l'île, les conduites sont différentes de celles de la métropole. Le point le plus différent est la présence d'animaux croisés, pour allier robustesse et production, et de races pures. Les animaux de races pures (Limousines, Blonde d'aquitaine, Charolaise en majorité) sont dorénavant issus de l'importation de matériel biologique (Paillettes et embryons) ou des animaux présents sur l'île, et ce depuis 2008. Avant cette date, l'importation d'animaux en vif était possible mais un moratoire a été mis en place sur l'introduction d'animaux vivants des espèces de ruminants, pour des raisons sanitaires (Arrêté préfectoral n° DSV-2008-842 du 5 mai 2008). La topographie de la Réunion est si particulière qu'un élevage peut posséder des parcelles à des altitudes très différentes. Il est possible d'avoir des parcelles à 600 m et 1200 m d'altitude pour un même élevage.

Il faut aussi noter un étalement des vêlages tout au long de l'année. Ceci résulte la présence permanente des taureaux avec les vaches et d'une volonté d'éviter un pic de travail au cours de la période cyclonique.

L'éleveur conduit généralement son troupeau en deux lots. Un lot principal composé des vaches et un lot secondaire, souvent composé de génisses à inséminer et dont on veut un développement optimal. Parfois un lot temporaire est créé pour apporter une plus grande attention à certains animaux (Choisis et al.,2009).

De plus un contrôle de performance en ferme a été mis en place en 1995 sur la base du protocole de l'évaluation IBOVAL métropolitaine. Afin de comprendre comment les données peuvent être valorisées, nous allons nous intéresser à l'évaluation IBOVAL métropolitaine.

## 2. L'évaluation génétique des bovins allaitants IBOVAL

L'Indexation des Bovins Allaitants IBOVAL inclut les évaluations génétiques de nombreux caractères mesurés au cours de la vie des animaux, avant sevrage, post-sevrage ou à l'abattoir. Neuf races à viande (dont les 3 principales sont les races Charolaise, Limousine et Blonde d'Aquitaine) sont évaluées officiellement 2 fois par an. Pour un caractère donné, une évaluation génétique consiste à prédire la valeur génétique d'un animal en s'appuyant sur la généalogie des animaux, des performances collectées à partir d'un contrôle de performance (et d'information moléculaire dans le cas des évaluations génomiques).

Ce contrôle de performance suit un protocole strict et est effectué par un technicien agréé après contractualisation de l'éleveur. Ne seront abordées par la suite que les évaluations IBOVAL polygéniques des caractères mesurés avant sevrage.

### 2.1. Les différents contrats

La collecte des performances se fait par le biais d'un contrôle de performance. Ce contrôle découle d'une démarche volontaire de l'éleveur. L'organisme français qui a cette mission est Bovin croissance, et ce par un appel d'offre du ministère de l'Agriculture. Bovin croissance collecte les données de pesées en ferme et propose deux types de formules :



VA0 : enregistrement des filiations (Certification de la Parenté Bovine - CPB) et des performances de naissance. Avec cette formule, l'éleveur obtient la filiation de tous ses veaux nés sur la campagne ainsi qu'un bilan de reproduction.

VA4 : inclue la formule VA0 et le contrôle des performances des animaux jusqu'au sevrage. Cela inclus le poids de l'animal et ses performances de pointage morphologique.

Les données récoltées dans les élevages par Bovin croissance sont regroupées par les Centres Régionaux Informatiques et centralisées ensuite dans la base de données nationale du Système de l'information Génétique (SIG), maintenue par le Centre de traitement de l'Information Génétique de l'INRA. Elles sont ensuite utilisées dans le cadre des évaluations génétiques officielles françaises (FGE,2009).

## 2.2. Les informations collectées

En ce qui concerne la filiation de l'animal, un processus normalisé est mis en place selon le déroulé suivant :

- Dans les 7 jours suivant la naissance de l'animal, celui-ci doit être identifié, et sa mère doit être déclarée par l'éleveur. Cette opération est obligatoire pour tout éleveur installé en Europe.
- Lors de cette étape, les éleveurs adhérents à la CPB ou au contrôle de performances peuvent aussi déclarer le père du veau, les conditions de vêlage de la mère (CONV), selon une notation de 1 à 5, 1 étant un vêlage facile et 5 un vêlage ayant nécessité une embryotomie, ainsi que le poids et le périmètre thoracique du veau à la naissance.
- Ces informations sont transmises à L'Établissement Départemental de l'Élevage qui est en charge de l'identification et de la gestion de la CPB, afin qu'une filiation de cet animal puisse être enregistrée.
- Ces données sont fournies ensuite à l'organisme Bovin Croissance qui réalise la suite des contrôles.

Les différents caractères mesurés par Bovin Croissance avant le sevrage sont :

- le poids âge-type au sevrage (à 210 jours PAT210), calculé à partir de différentes pesées dont au moins une est réalisée par un agent du contrôle de performance. Ce poids est calculé par intrapolation ou extrapolation à partir de 2 pesées élémentaires. Un autre poids âge-type est aussi calculé à 120 jours (PAT120) pour pouvoir prendre en compte les conduites spécifiques de certaines races, telles que l'élevage de veau sous la mère associé à un abattage plus précoce du veau.
- les notes de pointage : le pointage consiste en la notation, par le technicien agréé pour la race concernée, de 19 postes morphologiques sur les animaux âgés entre 150 et 300 jours. Cinq de ces postes permettent d'apprécier la musculature de l'animal et sont synthétisés dans une note synthétique de développement musculaire (DEVMUS). Il en est de même pour l'appréciation de la taille de l'animal avec la note de développement squelettique (DEVSQE).  
Ces 2 notes de développement sont exprimées sur une échelle de 1 à 100, 100 étant la meilleure notation. Un poste élémentaire est associé à ces 2 notes : la grosseur des canons (GRCANO), notée de 1 à 10.

Toutes ces performances sont associées à des informations recueillies par le technicien lors du passage en élevage : il s'agit du groupe de conduite, de la situation individuelle du veau (favorisé ou non par l'éleveur), la situation au pointage (non sevré, juste sevré ou sevré), le



caractère gémellaire ou non de la naissance, le rang de vêlage et l'âge de sa mère ou l'adoption du veau par une autre vache. Ces données supplémentaires sont utilisées dans la description des effets fixes du milieu, visant à corriger les performances de l'individu pour les effets d'environnement.

### 2.3. Évaluation génétique des animaux

Depuis la loi de l'Élevage de 1966, les évaluations génétiques officielles françaises sont réalisées par l'INRA (Verrier, Saint-Dizier, 2011).

#### 2.3.1. Principe de l'évaluation génétique

Le but de l'évaluation génétique est la prédiction de la valeur génétique de l'animal pour chaque caractère étudié. Cette valeur génétique est définie en génétique quantitative comme la somme des effets de chaque gène qui gouverne le caractère étudié. Elle est la somme de la valeur génétique additive maternelle et paternelle, toutes deux transmises lors de l'accouplement.

Afin de prédire cette valeur génétique, propre à chaque animal, un modèle polygénique est utilisé pour décrire les performances de chaque animal. Ce modèle prend en compte les effets fixes, définis à partir d'informations collectées lors de la vie de l'animal et modélisant l'environnement de ce dernier au cours de sa vie. Deux exemples sont le groupe de contemporain ou la saison de naissance. S'ajoutent à ces effets fixes, connus, des effets de milieu aléatoires, non connus. Dans le cadre d'une évaluation allaitante, les caractéristiques intrinsèques de la mère de l'animal vont être aussi prises en compte, puisque l'animal est élevé jusqu'au sevrage par sa mère. Cette prise en compte se traduit par l'inclusion de l'effet génétique maternel dans le modèle polygénique. L'environnement de la mère, pouvant impacter cette dernière, et donc par effet domino, son veau, est pris en compte dans le modèle sous le nom d'effet permanent de la mère (Laloë, 1992). Suivant ce modèle, la performance de l'animal  $k$  issu de la mère  $j$  dans l'environnement  $i$  s'écrit ainsi :

$$y_{ijk} = \mu + \sum f_i + a_k + m_j + p_j + e_{ijk}$$

$y_{ijk}$  les performances de l'animal  $k$  issu de la mère  $j$  dans le milieu  $i$

$\mu$  la moyenne générale

$\sum f_i$  la somme des différents effets fixes

$a_k$  la valeur génétique de l'animal  $k$

$m_j$  l'effet génétique maternel de la mère  $j$

$p_j$  l'effet de l'environnement permanent de la mère

$e_{ijk}$  l'effet résiduel pour l'animal  $k$  issu de la mère  $j$  dans le milieu  $i$

L'estimation des valeurs génétiques va alors être obtenue grâce à la méthode du BLUP. Cette méthode consiste en l'estimation simultanée de tous les effets inclus dans le modèle en prenant aussi en compte la parenté de chaque animal. Cette méthode permet d'estimer des valeurs génétiques sur tous les animaux de la généalogie, qu'ils présentent une performance ou non.

Dans le cas où l'animal ne présente pas de performance sa valeur génétique sera estimé grâce à celles des animaux lui étant apparentés, soit par ascendance dans le cas où elle est estimée par rapport à celle de ses parents, soit par descendance si l'estimation se fait grâce aux valeurs génétiques de ses descendants.

#### 2.3.2. Les index élémentaires

Afin de rendre interprétables les valeurs génétiques, prédites par le BLUP, ces dernières vont être standardisées par rapport à une base de référence mobile.

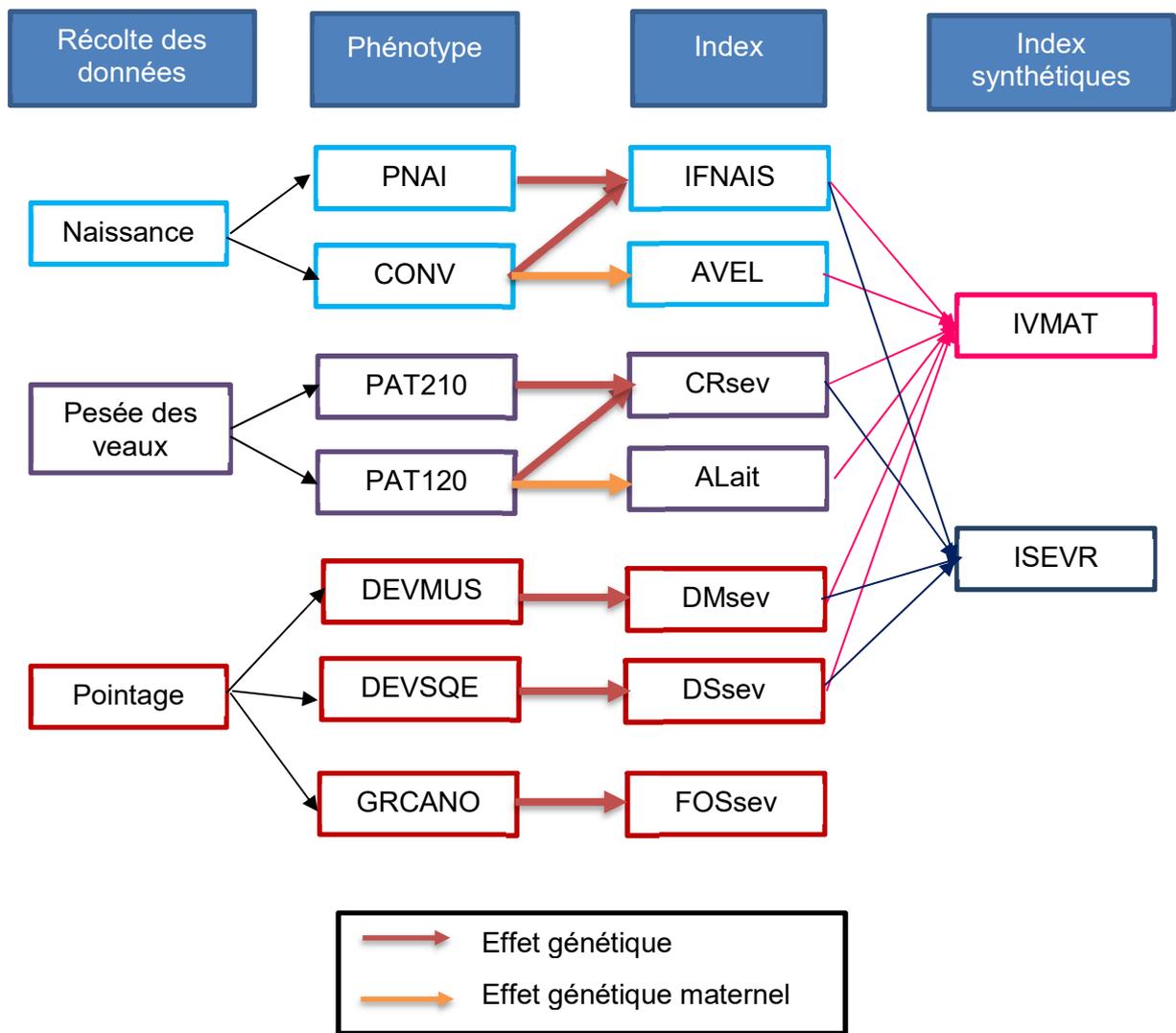


Figure 5 : Les différents index de l'évaluation IBOVAL

Celle-ci est constituée des animaux de race pure avec performances nées durant les cinq dernières campagnes de naissance. Cette standardisation permet de prendre en compte le progrès génétique obtenu. Les valeurs standardisées sont exprimées de telle façon que la valeur 100 corresponde à la moyenne des valeurs génétiques des animaux de la base de référence et que 10 points d'index correspondent à l'écart type génétique. Cette standardisation empêche de pouvoir comparer les index des animaux entre deux évaluations, puisque la base de référence évolue dans le temps. Toutefois, toute la population est prise en compte pour estimer les valeurs génétiques. Un index étant une estimation de la valeur génétique des animaux, il dépend de la quantité et de la qualité des informations disponibles. C'est pour cela qu'à chaque index doit être associé un coefficient de détermination qui représente sa précision (plus ce dernier est proche de 1, plus l'index est fiable). Il est calculé comme la corrélation entre la valeur génétique estimée et la valeur génétique vraie de l'animal.

### *2.3.3. Utilisation des index pour la sélection génétique*

Plusieurs index sont obtenus et seront utilisés afin d'atteindre les objectifs de sélection. Les objectifs de sélections résultent d'une concertation des acteurs de la filière de la race à améliorer et des organismes de sélection (Verrier, Saint Dizier, 2011). Pour les animaux allaitants, ces objectifs de sélection doivent considérer les deux phases de la production, le naissance et l'engraissement. Sur la partie naissance, les objectifs portent sur les qualités maternelles. On cherche à diminuer au maximum l'implication de l'éleveur dans la naissance et la croissance du veau. Plusieurs critères de sélection sont alors pris en compte, tels que la facilité de naissance et l'aptitude laitière. Ces deux critères composent chacun un index élémentaire. Un index synthétique regroupe tous les index élémentaires liés aux qualités maternelles, l'IVMAT. Sur la partie engraissement on cherche à avoir des animaux qui croissent vite avec une bonne quantité et qualité de viande. L'index synthétique utilisé dans ce cas est l'ISEVR. (Figure 5) Ces deux index serviront à définir quel reproducteur utiliser afin de remplir ces objectifs de sélection (Ménisier, Bouix, 1992).

Toutefois, l'évaluation IBOVAL fonctionne sur l'hypothèse que les génotypes ne sont pas impactés par l'environnement et donc que l'environnement ne change pas en France. Si c'est le cas, comme à la Réunion, il est nécessaire de prendre en compte les interactions génotypes-environnement.

## 3. La prise en compte des interactions entre le génotype et l'environnement

### 3.1. Définitions

#### *3.1.1. Génotype*

Le génotype d'un individu est défini dans la littérature comme l'assemblage particulier des gènes de ce dernier qui agissent sur un ou des caractères donnés. Toutefois, dans le cas de l'interaction génotype environnement cette notion devient vague. Si l'on se trouve dans le cas d'une approche inter-race, visant à comparer la sensibilité de plusieurs races face à différents environnements, les moyennes obtenues pour chaque race vont correspondre à des individus proches génétiquement mais légèrement différents génotypiquement.

La valeur génétique (additive ici), plutôt que de traduire l'effet d'un seul génotype, traduit celui d'un ensemble de génotype. Si on se trouve dans une approche intra-race, dont l'objectif est la comparaison des individus d'une même race dans différents environnements, comme c'est notre cas, le génotype est relié à un individu. Dans ce cas, les performances de l'individu dans les deux milieux vont être calculées selon les performances de sa descendance, du fait qu'il est difficile d'évaluer un même animal dans deux milieux différents. Ces mesures permettront d'obtenir la valeur génétique de l'animal en tant que reproducteur dans les différents environnements (Verrier et al., 2011).



### 3.1.2. L'environnement

L'environnement, ou facteurs d'environnement, intervient dans l'expression du phénotype et peut être découpé, selon Dickerson en 1962, en 5 catégories d'effets : les influences physiques extérieures (climat, management, observateur, etc.), le « fond génétique » (épistasie et épigénétique), les effets maternels (influence au travers de l'utérus, lait, ...), l'environnement social et les forces économiques (le marché actuel). L'environnement peut être permanent (élevage) ou temporaire (stade physiologique). Verrier et al. en 2001, aborde une approche plus pratique de ce découpage. Il définit alors deux catégories d'environnement. En premier lieu le macro-milieu, qui comprend les facteurs contrôlables sur lesquels l'homme peut intervenir par le biais de changement de pratique, qui s'applique à tous les individus se trouvant dans la catégorie de milieu considéré. En second lieu le micromilieu, comprenant les facteurs non contrôlables et non identifiés, qui s'applique sur tous les individus indépendamment les uns des autres.

### 3.1.3. Les interactions génotype-environnement

Les interactions génotype-environnement ont été définies par Kolmodin en 2003 de la façon suivante : « Si deux génotypes sont chacun élevés dans deux environnements différents, il y a interaction GxE quand l'écart entre les performances des deux génotypes dans un des milieux diffère significativement de l'écart dans l'autre milieu »

Ces interactions peuvent avoir deux impacts. L'un d'eux est la mise en place d'un changement d'échelle. Les différents génotypes vont donc répondre plus ou moins fortement au changement d'environnement sans que le classement de ces génotypes ne change. Il peut aussi arriver que ces interactions s'expriment par un reclassement des génotypes d'un environnement à l'autre. Il n'est pas exclu que les deux impacts puissent se combiner lors du changement d'environnement.

## 3.2. Modélisation et mise en évidence de l'interaction GxE

### 3.2.1. Modélisation : approche multivariée

Afin de mettre en place cette modélisation l'effet génétique est considéré comme aléatoire et les effets du milieu comme fixes. Dans cette approche, on considère un caractère mesuré indépendamment dans deux environnements comme deux caractères différents liés génétiquement. Cette approche se base alors sur l'estimation d'une corrélation génétique entre les mesures du caractère réalisées dans les deux environnements. L'estimation se fait au moyen d'une approche multicaractère. L'hypothèse de travail est que la distribution des caractères étudiés est une loi normale. Cela nous permet d'appliquer une approche linéaire et de modéliser la performance de l'individu k de génotype j dans l'environnement i selon :

$$Y_{ijk} = u_i + b_{ij} + e_{ijk}$$

où  $u_i$  est un effet fixé du milieu,  $b_{ij}$  est l'effet aléatoire du génotype j dans le milieu i (suivant une loi normale d'espérance nulle et de variance  $\sigma^2 b_i$ ) et  $e_{ijk}$  un effet résiduel (suivant une loi normale d'espérance nulle et de variance  $\sigma^2 w_i$ ).

Va être alors estimée une corrélation génétique pour chaque paire d'environnement possible, selon le rapport entre la covariance génétique entre les mesures du caractère réalisées dans les deux milieux et le produit de leur écart type respectif. En l'absence d'interaction GxE, cette corrélation tendra à être égale à 1. Dans le cas contraire, plus la corrélation est faible, plus l'interaction GxE est élevée. (Falconer, 1990)

Une autre approche est possible, l'approche univariée. L'expression de la performance est considérée comme un caractère influencé par le génotype, l'environnement et l'interaction GxE. Cette interaction ne sera pas utilisée dans notre étude. Elle ne sera donc pas développée par la suite.



### *3.2.2. Estimation de la corrélation par la méthode de vraisemblance restreint (REML)*

Selon les conclusions de Cameron en 1993, cette méthode permet d'obtenir des estimations non biaisées des paramètres de divers modèles. Il est ainsi possible de l'utiliser pour estimer la corrélation génétique et être sûr de ne pas avoir de biais. Elle repose sur les principes du maximum de vraisemblance couplés à une modélisation flexible, et des estimations ayant les propriétés suivantes : l'efficacité, la convergence et la normalité asymptotique. Elle fonctionne toutefois uniquement sous l'hypothèse de la normalité de la distribution des performances. Le REML fonctionne par la prise en compte de la perte de degré de liberté associée à l'estimation des paramètres des effets fixes. Il produit des estimateurs des composantes de la variance non biaisées.

Le test de référence qui sert à évaluer la significativité de l'interaction est un test du rapport des vraisemblances. Il consiste en la comparaison d'un modèle avec interaction et d'un sans interaction. Le modèle sans interaction traduit l'hypothèse d'une corrélation génétique homogène entre les milieux, qui est l'hypothèse nulle. La statistique de test est alors la différence des maximums de log-vraisemblances des deux modèles. Elle suit, sous l'hypothèse nulle, une distribution Chi-deux à  $r$  degrés de liberté ( $r$  est la différence de paramètres estimables entre les deux modèles) (Foulley et al., 1994).

## 4. Matériel et méthode

### 4.1. Présentation des données

Les données collectées dans le cadre du contrôle de performance en ferme dans les différents départements d'Outre-Mer (DOM) sont centralisées dans la base de données nationales SIG. Ces données ont pu être extraites par le CTIG et mises à disposition de cette étude sous la forme de 5 fichiers au format standard BDIR (Base de Données Indexation Recherche) utilisé aussi pour les évaluations IBOVAL. Ces fichiers comprenaient la généalogie et les performances relatives à la naissance de l'animal (poids PN et conditions de naissance CN), la croissance (poids à âge-type 210 jours PAT210), le pointage des veaux (développements musculaire DM et squelettique DS, grosseur des canons GC), ainsi que les différents contrats de chaque élevage vis-à-vis des contrôles sur performances en ferme.

Pour caractériser finement les conditions climatiques de chaque élevage, la géolocalisation de tous les élevages en contrôle de performance et les relevés météorologiques des différentes stations météorologiques de la Réunion nous ont été transmis. Le fichier de géolocalisation des élevages nous a été fourni par l'interprofession bovine de la Réunion (SICAREVIA). Le fichier des conditions climatiques, suite à notre demande, a été mis à disposition par l'unité de service INRA Agroclim qui gère le réseau agroclimatique national et la base de données associée en relation étroite avec MétéoFrance.

Ces fichiers de performances contenant toutes les données des DOM, la première étape de l'étude a consisté à ne conserver que les performances contrôlées dans des élevages réunionnais (identifiant de l'élevage commençant par « FR98 ») avec un contrat avec la Chambre d'Agriculture pour le contrôle des performances (VA0 ou VA4 (voir paragraphe X)).

Les données réunionnaises disponibles à la suite de cette première phase de sélection consistent en :

- 55 001 poids de naissance provenant de 150 élevages,
- 68 673 conditions de naissance provenant de 152 élevages,
- 33 243 poids à 210 jours de 118 élevages,
- 6 958 performances de pointage issues de 72 élevages.

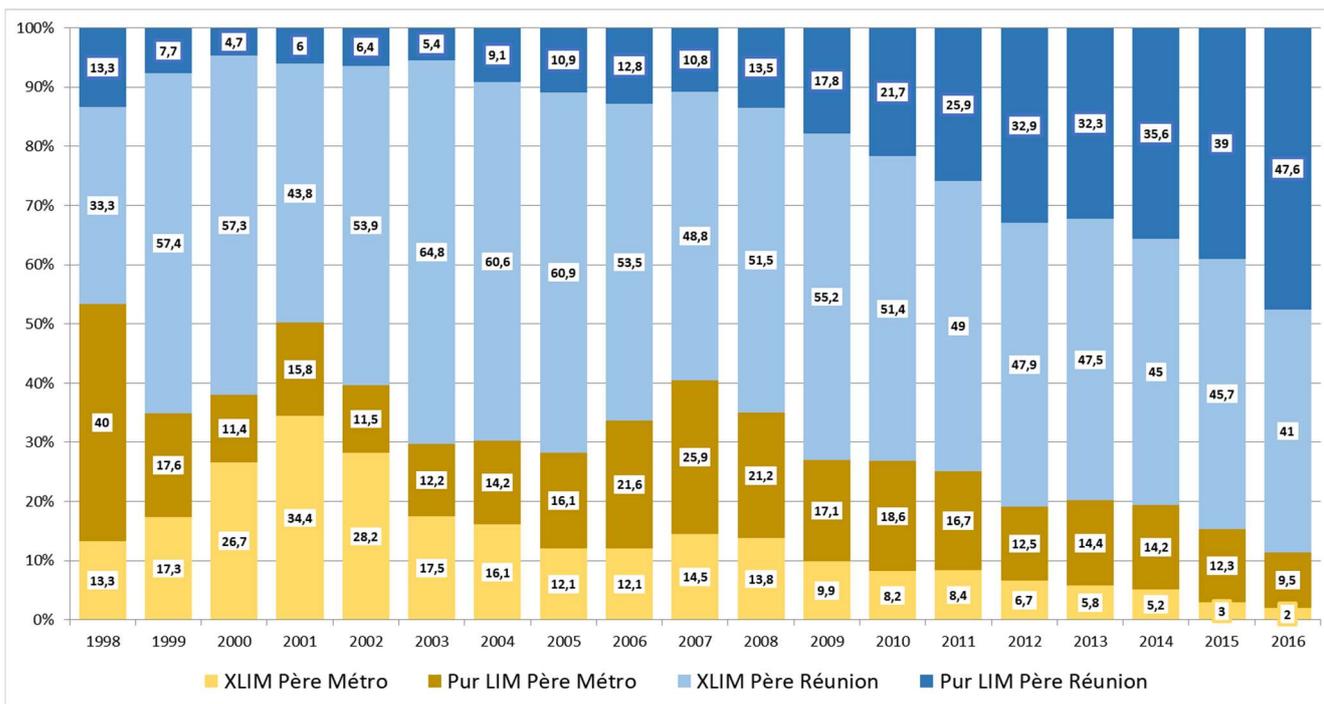


Figure 6 : évolution de la part de chaque type d'animal dans les naissances par campagne  
(Xlim : animaux croisés, Pur : Animaux purs)

Tableau 1 : distribution des différentes races dans les élevages réunionnais pour les animaux présentant un PNAI

Race du père	Race de l'animal	Race ou type racial de la mère	Nombre d'animaux	Part du total	Part du total par race de père
LIM	LIM	LIM	12255	23%	73%
	Croisé	Viande	1146	2%	
		Croisé	25953	48%	
		Lait	128	0%	
BLA	BLA	BLA	3020	6%	12%
	Croisé	Viande	165	0%	
		Croisé	3005	6%	
		Lait	60	0%	
Autre	Pur	Viand	372	1%	15%
		Croisé	3163	6%	
		Lait	3022	6%	
	Croisé	Viand	379	1%	
		Crois	1245	2%	
		Lait	134	0%	
Total			54047	100%	100%

## 4.2. Une utilisation forte du croisement et de la race Limousine

La synthèse de la composition raciale des animaux réunionnais est présentée dans le tableau 1 par race de père et type racial de la mère : la pratique du croisement entre race est donc courante dans les élevages de la Réunion, avec 65 % des performances collectées sur des animaux croisés. La race allaitante la plus représentée dans les élevages contrôlés est la race Limousine, suivie par la race Blonde d'Aquitaine.

Cette pratique du croisement semble malgré tout en forte évolution, comme le montre la figure 6, avec une diminution de 40% en 15 ans du nombre de veaux croisés nés à chaque campagne. L'origine des reproducteurs a aussi fortement évolué ces dernières années avec une augmentation de l'utilisation de près de 40% des pères de la Réunion. Une recrudescence de l'utilisation de pères métropolitains est visible entre 2006 et 2008. Ceci provient du moratoire qui a été mis en place en 2006 sur l'importation de bovin en vif. Il y a alors eu une très grosse importation durant 2006 d'animaux métropolitains, se traduisant par une forte augmentation des naissances d'animaux de père métropolitain. Le nombre de père métropolitains diminue ensuite de par la disparition progressive des animaux importés. Seuls subsistent depuis 2016 les imports de matériel biologique, expliquant la faible proportion d'animaux nés de père métropolitain.

Comme cela pourra être détaillé plus loin dans ce rapport, une partie de cette étude consiste à étudier les liens entre les populations bovines réunionnaises et métropolitaines, en vue de pouvoir intégrer dans une potentielle future évaluation génétique des animaux de la Réunion des informations provenant de la métropole. De ce fait, seuls les animaux purs Limousins et croisés de pères Limousins sont considérés par la suite dans cette étude.

## 4.3. Sélection des données

La première partie de la sélection comprend le retrait des animaux pour les critères suivants :

- les animaux nés de naissance gémellaire : les poids de naissance de ces animaux sont plus faibles que les autres, associés souvent à des conditions de naissance plus faciles. Certains animaux jumeaux sont aussi souvent adoptés par une mère autre que leur mère génétique,
- les animaux issus de transfert embryonnaire : la mère porteuse de l'animal ne correspond alors pas à la mère génétique de l'animal,
- les animaux sans mère connue ou sans rang de vêlage renseigné (effets maternels inclus dans les modèles d'évaluation génétique).

La seconde partie de la sélection est un retrait des animaux aux performances extrêmes au vu de la population étudiée, pour exclure les potentielles erreurs de saisie ou données aberrantes. En supposant la distribution des performances de moyenne  $\mu$  et d'écart-type  $\sigma$ , les performances extrêmes sont définies comme celles hors de l'intervalle  $[\mu-4\sigma ; \mu+4\sigma]$ . Cette phase s'effectue en appliquant ce retrait séparément sur les animaux croisés et purs, en prenant en compte les potentielles différences entre sexe.

La dernière phase de sélection repose sur l'analyse de la variabilité des performances au sein de chaque élevage pour détecter des défauts d'enregistrement des performances. Cela concerne principalement les données de naissance : certains éleveurs ne pèsent en effet pas leurs veaux et donnent un poids identique à tous leurs animaux ou un poids unique pour chaque sexe pour une campagne de naissance donnée. De même, les conditions de vêlage peuvent être enregistrées par défaut à 1 ou 2 pour toutes les naissances. Ces informations ne peuvent pas être prises en compte dans l'évaluation et sont donc exclues.



#### 4.4. Définition du modèle des effets fixes

Le premier facteur pris en compte dans le modèle des effets fixes pour la correction des effets d'environnement est classiquement le groupe de contemporains soumis aux mêmes effets environnementaux. Le groupe de contemporain est défini par la combinaison troupeau-campagne. Cela permet de corriger pour l'effet de l'élevage et prendre en compte, dans le modèle de l'évaluation, les variations de conduite au sein de chaque élevage d'une année à l'autre.

Une fois le groupe de contemporain pris en compte, les autres facteurs environnementaux identifiés et disponibles sont considérés pour examiner la pertinence de l'inclusion de chacun dans le modèle. Si tel est le cas, une seconde étape consiste à limiter si possible le nombre de modalités pour chaque facteur pour faciliter la bonne estimation de l'effet de ce facteur dans la modélisation. Une analyse de variance et une estimation des effets de chaque modalité est effectuée pour chaque facteur de variation en s'appuyant sur un modèle à effets fixes, sans prise en compte de l'effet génétique. Cette analyse de variance ainsi que l'estimation des moindres carrés pour chaque modalité ont été réalisées au moyen de la procédure GLM de SAS 9.2 (SAS Institute Inc., 2017). Les modalités adjacentes pour lesquelles les moyennes des moindres carrés sont proches sont regroupées au sein d'un même groupe. Dans le cas où une modalité présente un nombre réduit d'individus, elle peut être regroupée avec la modalité adjacente dont la moyenne des moindres carrés est la plus proche de la sienne.

Les différents facteurs étudiés sont :

- le sexe des animaux pour distinguer les différences de performances entre mâles et femelles.
- l'effet saison. Une analyse de l'effet à chaque mois de production est d'abord réalisée. Les différents mois sont ensuite regroupés en saison.
- le type racial de la mère pour prendre en compte le support maternel associé à la performance. Ce type racial est défini en fonction de la part de race Limousine dans la généalogie de la mère de chaque animal.
- l'effet Age de la mère associée à sa parité pour distinguer les différents types de mères à la naissance de l'animal. L'âge a été exprimé en mois (chaque mois devenant une modalité). La parité a été définie en fonction du rang de vêlage et chaque performance est associée à une des 2 modalités « primipares » ou « multipares ».
- l'effet Région pour prendre en compte la zone d'élevage dans laquelle la performance a été réalisée. En couplant les données météorologiques fournies par Agroclim aux données de géolocalisation de élevages, nous avons pu mettre en place une triangulation de chaque élevage par rapport aux trois stations météorologiques les plus proches. La triangulation a permis de calculer une température moyenne, une pluviométrie moyenne, une humidité moyenne et une variation de température moyenne journalière. Une analyse en composante principale (ACP) a été ensuite effectuée sur ces données climatiques moyennes. Les résultats de cette analyse ont été ensuite validés par une discussion avec les acteurs de la Réunion, afin de créer un effet région aussi bien pertinent sur les données climatiques que sur les conditions d'élevage des différentes régions.

Cette démarche est appliquée à chacun des caractères au sevrage étudiés.

#### 4.5. Estimation des paramètres génétiques

##### 4.5.1. Méthode utilisée

Les performances au sevrage des veaux en système allaitant dépendent fortement de la capacité de leur mère à leur fournir un environnement favorable, le phénotype des animaux peut être décomposé en :



- des effets de milieux décrits plus haut,
- un effet génétique additif traduisant le potentiel génétique hérité de ses deux parents (l'effet génétique direct),
- un effet génétique de la mère qui traduit la capacité de la mère à fournir un environnement favorable (effet génétique maternel),
- un effet rassemblant les effets d'environnement maternel commun aux différents veaux d'une même mère (effet d'environnement permanent),
- un effet d'environnement non identifié (effets résiduels).

Plusieurs performances peuvent être considérées simultanément au travers d'un modèle multicaractère, décrit ci-dessous :

$$Y = Xb + Z_d u_d + Z_m u_m + W_c c + e \quad (\text{Modèle A})$$

avec :

- y** le vecteur des poids au sevrage pour le pays i,
- b** le vecteur des effets fixes,
- u<sub>d</sub>** le vecteur des valeurs génétiques directes,
- u<sub>m</sub>** le vecteur des valeurs génétiques maternelles,
- c** le vecteur des effets aléatoires d'environnement permanent,
- e** le vecteur des effets aléatoires résiduels,
- X, Z<sub>d</sub>, Z<sub>m</sub> et W<sub>c</sub>** les matrices d'incidence reliant chacun des effets aux observations

Chaque effet aléatoire suit, supposément, une loi normale de moyenne nulle et de variance-covariances indiqués ci-dessous :

$$\text{var} \begin{bmatrix} u_d \\ u_m \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \sigma_d^2 & A \sigma_{dm} & 0 & 0 \\ A \sigma_{dm} & A \sigma_m^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I \sigma_c^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I \sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

Où A est la matrice de parenté associée aux variances génétiques directes ( $\sigma_d^2$ ) et maternelles ( $\sigma_m^2$ ),  $\sigma_{dm}$  la covariance entre les effets directs et maternels,  $\sigma_c^2$  la variance d'environnement maternel commun et  $\sigma_e^2$  la variance résiduelle.

Ce modèle complet est utilisé pour les évaluations génétiques IBOVAL et sera donc appliquée sur les données métropolitaines. Toutefois, dans le cas des données réunionnaises et de l'utilisation importante de croisement, le type racial de la mère a été ajouté en tant qu'effet fixe. Il n'est donc pas possible de prendre en compte d'effet génétique maternel qui nécessiterait une remontée des généalogies toutes races. Seul un effet d'environnement permanent maternel est donc considéré dans le modèle pour corriger globalement pour les effets maternels.

Ce modèle est appliqué à chaque performance.

#### 4.5.2. Estimation des paramètres génétiques réunionnais

L'estimation des paramètres génétiques a été réalisée après recodification des identifiants et sélection des groupes de contemporains correspondant à au moins 3 performances pour favoriser l'estimation de ce facteur. Cette étape a été réalisée avec le logiciel RECODE développé au sein de l'équipe Génétique et Génomique Bovine (G<sup>2</sup>B) de l'INRA. Le logiciel utilisé pour l'estimation des paramètres génétiques est le logiciel WOMBAT (Meyer et al., 2007).

Tableau 2 : Résultats de la seconde phase de sélection des données

	Performance (perf)	Poids de naissance (PNAI)		Conditions de vêlage (CONV)		Poids âge-type 210 jours (PAT210)		Pointage (DEVMUS , DEVSQE, GRCANO)	
	Race	Croisé LIM	LIM	Croisé LIM	LIM	Croisé LIM	LIM	Croisé LIM	LIM
Avant Sélection	Nombre total de performance	21825	13372	24762	13590	11148	7181	1122	4333
	Nombre total de troupeau	131	129	138	130	96	87	46	60
Pourcentage de performances retirées (% des performances initiales)	Performances extrêmes	0,33	0,40	0,00	0,00	0,00	0,01	0	0
	Individus jumeaux	1,49	1,89	1,53	1,92	1,07	1,49	0,9	1,7
	Mère ou rang de vêlage de la mère inconnu	0,02	0,32	0,03	0,32	0,04	0,45	0	0,74
	Contemporains sans variabilité	15,45	9,21	22,06	13,91	0	0	0	0
Après sélection	Nombre de performance	18123	11864	18992	11459	11029	7073	1112	4260
	Nombre de troupeau	116	113	68	69	96	87	46	60

Grâce aux estimations de toutes les composantes de la variance, les héritabilités directes pour chaque caractère ainsi que les corrélations entre différents caractères ont été calculées.

#### *4.5.3. Estimation des corrélations génétiques entre la Réunion et la Métropole.*

L'estimation des paramètres génétiques conjoints entre la Réunion et la Métropole a été réalisée en utilisant le modèle multicaractère A décrit plus haut, complet pour les données de la métropole et sans effet génétique maternel pour les performances de la Réunion.

Toutefois, le nombre de données qui peuvent être prises en compte dans l'estimation des paramètres génétiques est réduit (ce processus nécessite en effet l'inversion de matrices de taille importante et donc une forte capacité de calcul numérique). Il n'est donc pas possible de prendre en compte l'ensemble des données métropolitaines. Un sous échantillonnage des élevages de métropole est nécessaire.

Une étude de la connexion entre les populations réunionnaises et métropolitaine a donc été réalisée pour sélectionner des troupeaux métropolitains utilisant des taureaux communs avec la Réunion. Elle a consisté à recenser les pères et de grands-pères maternels ayant des descendants avec performance à la Réunion et en Métropole, et tous les troupeaux associés. N'ont été conservés pour l'estimation des paramètres génétiques les troupeaux utilisant le plus de taureaux connecteurs dans la limite de 100 000 performances métropolitaines. Cette étape a été effectuée sur tous les caractères étudiés. Les performances extraites ont été finalement fusionnées aux fichiers de performances réunionnaises.

#### *4.6. Réalisation d'évaluations génétiques test*

Les paramètres génétiques estimés précédemment ont été utilisées pour réaliser des évaluations génétiques test d'abord intra-réunion puis prenant en compte les données réunionnaises et métropolitaines conjointement. Le logiciel utilisé pour ces évaluations est le logiciel BLUPf90 (Misztal et al., 2002)

Ce logiciel permet d'obtenir les écart-types d'erreur associés à chaque effet estimé (PEV).

La précision des valeurs génétiques (appelé aussi coefficient de détermination (CD)) a pu être calculé à partir de la formule suivante :

$$CD = 1 - (PEV^2 / VA) \text{ ou } VA \text{ est la variance génétique du caractère étudié}$$

Une étude des palmarès et du niveau de CD obtenus à partir de ces évaluations a été conduite.

## 5. Résultats

### *5.1. Sélection des performances*

#### *5.1.1. Bilan des exclusions*

Une synthèse des différentes étapes de sélection est présentée dans le tableau 2. Pour les poids de naissance, les conditions de naissance et le PAT210, plus de 60% des performances sont collectées sur des animaux croisés. L'inverse peut par contre être observé pour les données de pointage avec seulement 20% des animaux pointés correspondant à des animaux croisés, laissant supposé que le pointage ne se fait que très peu ou a été commencé plus tardivement sur ces animaux.

L'exclusion sur les différents critères d'exclusion n'entraîne le retrait que de peu de performances, entre 0% et 2% en fonction du critère considéré : le caractère gémeaire des naissances est le critère le plus exclusif avec entre 1 et 2 % des performances exclues tandis que l'absence de mère ou de rang de vêlage pour la mère ne conduit qu'à l'exclusion d'entre 0 et 0,7% des performances.

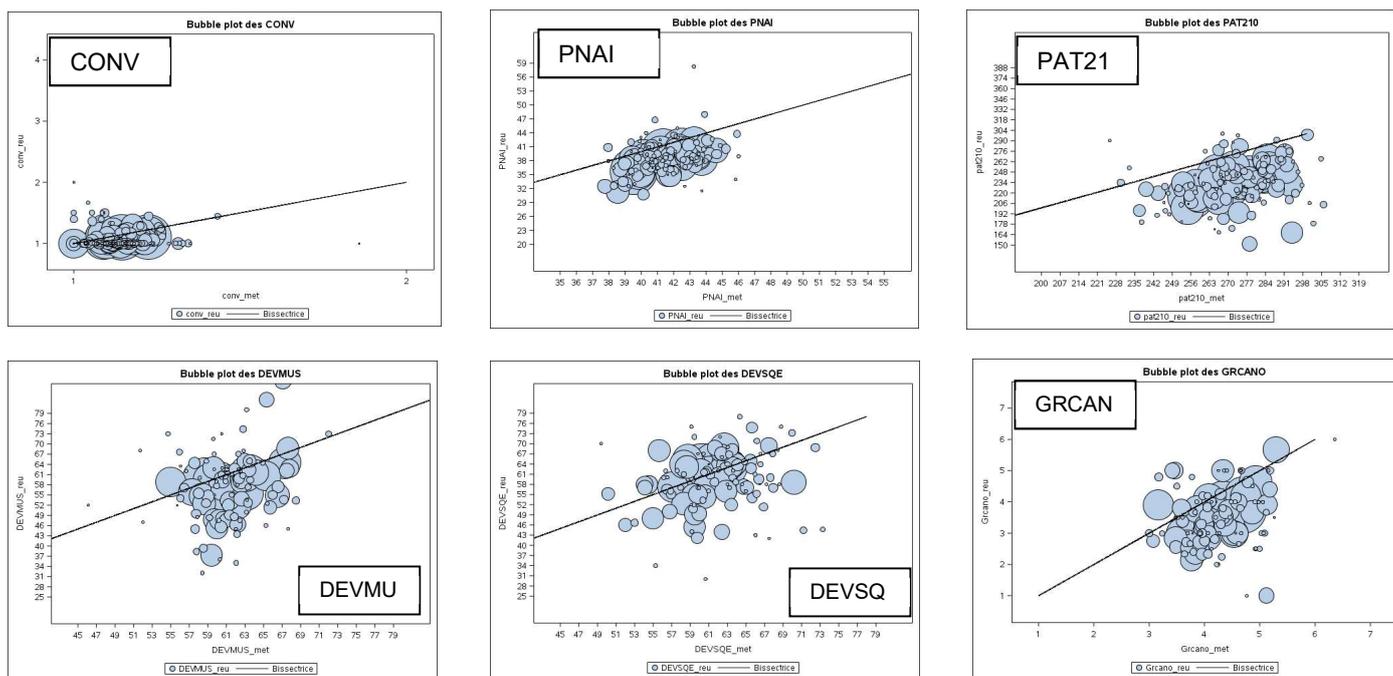


Figure 7 : Comparaison des performances des animaux issus d'un même père à la Réunion et en métropole.

Tableau 3 : comparaison des performances réunionnaises et métropolitaines

Performance	Poids de naissance (PNAI)					Conditions de vêlage (CONV) variabilité à 10 ans					Poids âge-type 210 jours (PAT210)				
	Croisé Limousin	Limousin pur	Limousin (Métropole)	Diff LIM metro Lim REU (%)	Diff LIM métro Croisé Lim (%)	Croisé LIM	LIM	LIM (Métropole)	Diff LIM metro Lim REU (%)	Diff LIM métro Croisé Lim (%)	Croisé LIM	LIM	LIM (Métropole)	Diff LIM metro Lim REU (%)	Diff LIM métro Croisé Lim (%)
Moyenne des perfs pour les mâles (écart-types)	38,2 (5,4)	40,6 (5,7)	41,7 (5,1)	2,7	9,2	1,1 (0,4)	1,3 (0,6)	1,1 (0,4)	-15,4	0	226,8 (47)	239,8 (51)	276,2 (41,4)	15,2	21,8
Minimum ; maximum pour les mâles	15 ; 60	15 ; 62	25 ; 75	66,7 ; 21	66,7 ; 25	1 ; 5	1 ; 5	1 ; 5	0	0	69 ; 379	52 ; 430	140 ; 466	169,2 ; 8,4	102,9 ; 23
Moyenne des perfs pour les femelles (écart types)	36,3 (4,9)	38,8 (5,3)	39,4 (4,5)	1,5	8,5	1,1 (0,4)	1,1 (0,4)	1,1 (0,3)	0	0	205,1 (39,5)	220,8 (42,2)	249,2 (34,4)	12,9	21,5
Minimum ; maximum pour les femelles	18 ; 58	17 ; 59	23 ; 70	35,3	27,8	1 ; 5	1 ; 5	1 ; 5	0	0	62 ; 345	76 ; 367	130 ; 149	71,1 ; 14,2	109,7 ; 21,4

Performance	Développement musculaire (pointage : DEVMUS)					Développement squelettique (pointage: DEVSQE)					Grosseur canons (pointage : GRCANO)				
	Croisé LIM	LIM	LIM (Métropole)	Diff LIM metro Lim REU (%)	Diff LIM métro Croisé Lim (%)	Croisé LIM	LIM	LIM (Métropole)	Diff LIM metro Lim REU (%)	Diff LIM métro Croisé Lim (%)	Croisé LIM	LIM	LIM (Métropole)	Diff LIM metro Lim REU (%)	Diff LIM métro Croisé Lim (%)
Moyenne des perfs pour les mâles (écart-types)	55,2 (12,1)	57,5 (13,1)	61,2 (10,6)	6,4	10,9	57,6 (11,7)	59,7 (12,6)	60,5 (10,4)	1,3	5	3,5 (1,1)	3,6 (1,2)	4,5 (1,3)	25	28,6
Minimum ; maximum pour les mâles	13 ; 85	10 ; 92	10 ; 100	0 ; 8,7	-3 ; 15	22 ; 82	14 ; 90	10 ; 100	-28,6 ; 11,1	-54,5 ; 22	1 ; 7	1 ; 8	1 ; 10	0 ; 25	0 ; 42,9
Moyenne des perfs pour les femelles (écart types)	50,3 (11,3)	53,2 (11,3)	58,1 (9,9)	9,2	7,8	57,8 (11,1)	59,7 (11,7)	60,8 (10,4)	1,8	5,2	2,9 (1)	3 (1,1)	4 (1,3)	33,3	37,9
Minimum ; maximum pour les femelles	17 ; 80	10 ; 88	10 ; 98	0 ; 11,4	-7 ; 18	16 ; 90	16 ; 90	10 ; 100	-37,5 ; 11,1	-37,5 ; 11,1	1 ; 7	1 ; 6	1 ; 10	0 ; 66,7	0 ; 42,9

L'exclusion des performances extrêmes a concerné principalement les poids de naissance avec entre 0,3 et 0,4% d'exclusion selon le type d'animal considéré.

Suite à cette sélection, en moyenne, 1,5% de performances ont été retirées pour au moins un des motifs.

La troisième phase de sélection sur la variabilité des performances au sein d'un même troupeau n'a d'impact que sur les données de naissance. Cette phase retire entre 9%, pour les Poids de naissance de limousin pur, et 22%, pour les conditions de naissance de veaux croisés, des performances. Cette phase a très fortement diminué le nombre de troupeau présents pour ces deux types de performance. 16 troupeaux ont été retirés pour PNAI et 70 pour CONV.

Ainsi, par cette sélection, ont été retirés 17% des PNAI d'animaux croisés, 11% pour les purs, 23% des CONV des animaux croisés et 16% de celles des animaux purs. En ce qui concerne les PAT210 et PA120, les animaux purs ont subis plus fortement la phase de sélection avec un retrait de 1,5% des performances alors que seulement 1% des animaux croisés ont été exclus. Ce pourcentage d'exclusion, 1%, correspond aussi au pourcentage des données de pointage exclues, que ce soit pour les animaux croisés ou les animaux purs.

### *5.1.2. Description des données conservées et comparaison à la métropole*

Le tableau 3, créé après la phase de sélection, permet une comparaison des moyennes de performances entre la Réunion et la Métropole. Pour toutes les performances, les animaux métropolitains ont en moyenne de meilleures performances que les réunionnais. Cette conclusion est applicable aussi entre les performances des animaux croisés et des animaux purs à la Réunion, les animaux purs ayant en moyenne de meilleures performances que les croisés. La comparaison entre performances d'animaux mâles et d'animaux femelles met en évidence des performances plus faibles pour les femelles mais avec un écart type plus resserré autour de la moyenne, permettant de conclure à des performances plus homogènes chez celles-ci.

## **5.2. La connexion génétique entre la métropole et la Réunion**

En vue de comparer plus précisément les performances dans les deux environnements et pour l'évaluation génétique, nous avons cherché à identifier les animaux dits « connecteurs ». Dans notre cas, ces animaux sont les pères ayant des descendants en Métropole et à la Réunion et les grands-pères maternels présents dans les généalogies réunionnaise et métropolitaine. Le résultat de cette recherche est présenté par le tableau 4. Grâce à cette recherche, 277 animaux apparaissent comme pères connecteurs et 268 comme grands-pères connecteurs. Beaucoup d'animaux utilisés à la Réunion comme père, grand-père et père et grand-père sont utilisés uniquement comme père en métropole. Cette recherche de connexion génétique entre la métropole et la Réunion a permis de mettre en évidence 412 animaux ayant une descendance dans les deux territoires. Afin de voir l'âge moyen ces animaux nous avons fait la distribution des campagnes de naissance des animaux connecteurs. Il en ressort que majoritairement que la majorité des pères ont actuellement entre 12 et 25. De vieux animaux sont présents mais ne doivent plus être utilisés actuellement. La liste des 30 pères les plus utilisés est visible en annexe 1.

## **5.3. Comparaison des performances des descendants réunionnais et métropolitains des pères connecteurs**

Pour déceler l'effet de l'environnement de la Réunion sur les performances des animaux, nous avons comparé les performances brutes moyennes des animaux descendants de pères connecteurs à la Réunion et en Métropole. Le résultat de ces comparaisons est visible en figure 7 sous la forme de « bubbleplot » :

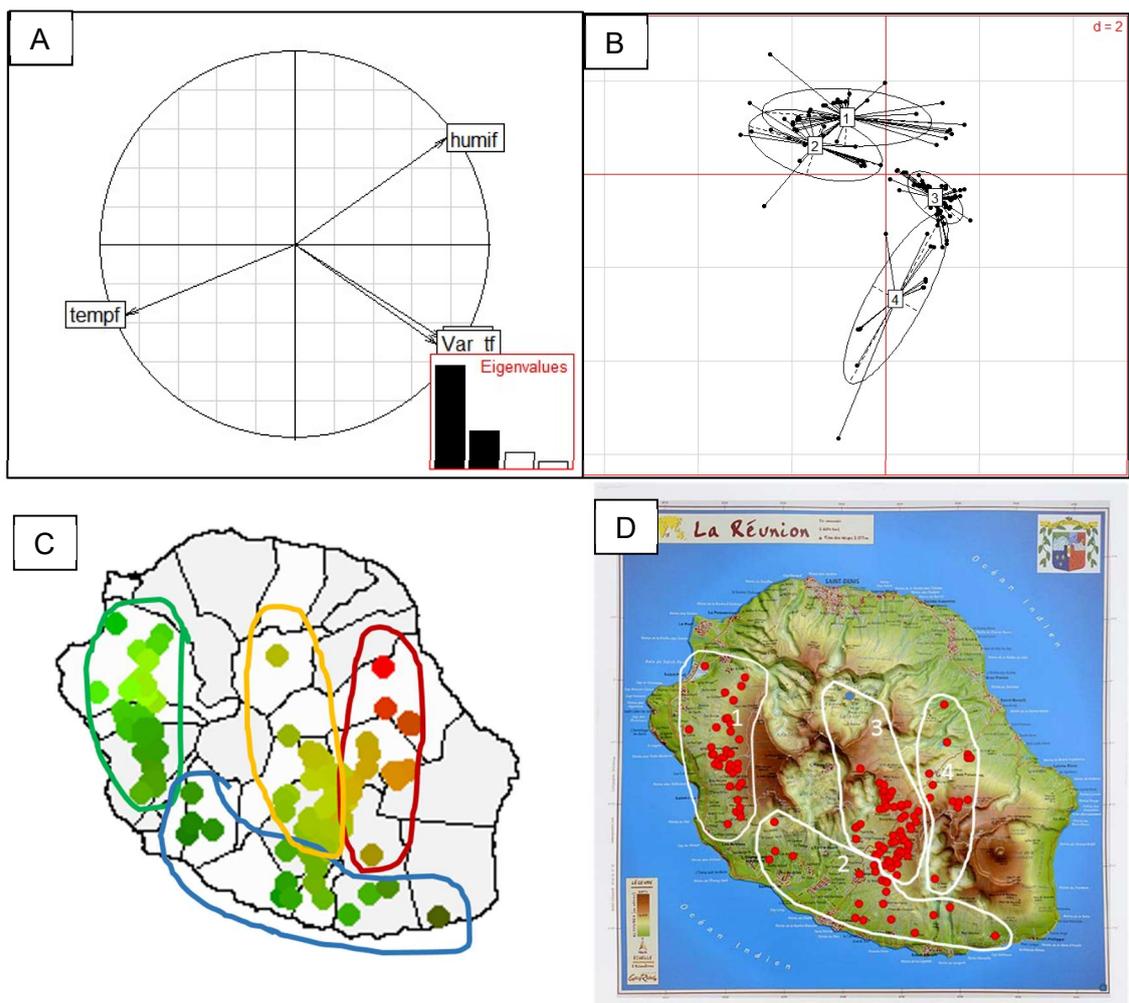


Figure 8 : Mise en place des régions

(A : Cercle des corrélations, B : Regroupement des élevages en région, C : Colorplot, D : Position des élevages et des régions à la Réunion)

L'abscisse de cette figure est la valeur moyenne de performances des descendants en métropole, l'ordonnée est la performance moyenne des descendants à la Réunion. Chaque point correspond à un animal connecteur et la taille de chaque point est définie comme le nombre de descendants réunionnais.

Le poids de naissance des animaux réunionnais apparaît plus faible que celui des apparentés métropolitains. La distribution des performances comparées suit toutefois la bissectrice du graphique. Ce résultat est le même pour les performances de PAT210. Globalement, les conditions réunionnaises semblent donc se traduire par des poids plus faibles.

Pour les performances de pointage en revanche, l'évolution ne suit pas la bissectrice et certains groupes de descendants semblent être très favorisés en métropole et d'autres à la Réunion. Dans ce cas l'environnement semble avoir un effet plus important qu'un simple décalage des performances vers le bas.

Par sa notation de 1 à 5, l'interprétation de la comparaison pour les conditions de naissance est difficile.

#### 5.4. Définition des régions réunionnaises

La figure 8 A présente les résultats de l'ACP appliqué aux données météorologiques des stations de la Réunion. Le premier plan de l'ACP, qui permet d'expliquer 75 % de la variabilité, sépare les élevages où la température est importante de ceux où il y a une forte pluviométrie, une forte humidité et une variation de température importante. Le second axe de l'ACP permet de séparer les élevages où l'humidité est très forte de ceux où la pluviométrie et la variation de température sont importantes. Le premier plan de cette ACP permet ainsi de commencer à définir 4 grands groupes de conditions climatiques de de commencer à appréhender les conditions climatiques auxquels sont soumises chaque élevage. En utilisant le package Colorplot du logiciel R, nous avons pu projeter les élevages sur une carte de la Réunion. Chaque élevage est alors défini par un point de couleur différente obtenue par ses coordonnées sur le premier plan de l'ACP (l'abscisse défini le pourcentage de rouge, l'ordonnée le pourcentage de vert, l'axe z, absent dans notre cas, le pourcentage de bleu). Grace à cette projection, une composante purement géographique est ajoutée.

Cette projection permet de plus une meilleure visualisation des caractéristiques climatiques de chaque élevage et leur proximité sur le plan climatique par rapport aux sorties de l'ACP. En effet la projection sur le plan de l'ACP de chaque élevage ne permettait de mettre en avant de grandes tendances. En rapprochant les élevages proches géographiquement et dont les couleurs sont proches, et après discussion avec les acteurs du terrain, 4 régions ont pu être définies. Afin de valider ces dernières et de comprendre les spécificités climatiques de chacune, la projection des régions sur le plan de l'ACP a été effectuée. Ainsi, là où la projection en brute des élevages sur ce plan ne permettait pas de ressortir de grandes tendances de conditions climatique, la projection des régions permet une parfaite visualisation des spécificités climatiques de chacune. 2 régions semblent être très proches (1 et 2). Nous avons alors pu définir les spécificités des 4 régions :

Le littoral ouest (1) : fortes températures, faible pluviométrie, faible humidité, températures peu changeantes.

Le littoral sud (2) : fortes températures, faible pluviométrie, faible humidité, températures peu changeantes.

Le centre de l'île et les flancs du Piton des neiges (3) : faibles températures, forte humidité, pluviométrie moyenne, variations de température moyenne.

Le littoral nord et le flanc du Piton de la Fournaise (4) : fortes variations des températures et pluviométrie importante.

Tableau 5 : Sortie des régressions linéaires pour l'effet « Région »

Régions	PNAI	CONV	PAT210	DEVMUS	DEVSQE	GRCANO
Littoral Nord-ouest	0	0	0	0	0	0
Littoral Sud	1,2784	0,0005	1,13	1,3747	3,4974	0,0843
Plaine des Cafres	0,7433	0,0101	15,05	5,2097	5,1002	0,2906
Flanc de volcan	1,8417	0,0137	-4,81	1,1431	-0,12	0,1118
P.value de l'effet	0,007	0,0823	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Tableau 6 : Février »Sortie des régressions linéaires pour l'effet « Saisons »

Saisons	PNAI	CONV	PAT210	DEVMUS	DEVSQE	GRCANO
Décembre-Février	0	0	0	0	0	0
Mars-Mai	-0,299	-0,0228	-4,14	-2,3242	-1,4749	0,075
Juin-Aout	-0,3166	0,0089	-14,51	-1,828	-0,7483	0,0061
Septembre-Novembre	-0,0567	0,0031	-7,79	-0,7707	-0,2789	-0,0647
P.value de l'effet	<0,001	0,0185	<0,001	<0,001	0,0055	0,0069

Tableau 7 : Sortie des régressions linéaires pour l'effet « Type racial »

Type Racial	PNAI	CONV	Pat210	DEVMUS	DEVSQE	GRCANO
1/2 LIM	0,0	0	0,0	0	0	0
3/4 LIM	0,2	-0,01	2,3	1,3	1,1	0,10
PUR LIM	0,2	0,01	0,0	1,4	1,1	-0,03
P.value de l'effet	<0,001	0,004	0,003	0,03	0,09	0,02

Tableau 8 : Significativité des effets du modèle pour chaque performance

	PNAI	CONV	PAT210	DEVMUS	DEVSQE	GRCANO
Région-Campagne-Saison	<,0001	0,3121	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
Sexe	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	0,6492	<,0001
Age au vêlage- rang de parité	<,0001	<,0001	<,0001	0,0006	<,0001	0,001
Type racial	0,2637	0,0159	0,0002	0,0992	0,2944	0,0264

## 5.5. Etude des différents effets fixes

Les analyses de variance nous ont permis d'apprécier la pertinence d'inclusion des facteurs dans le modèle des effets fixes et d'estimer la moyenne des moindres carrés pour chaque niveau de ces effets. Les résultats sont présentés ci-dessous et dans les tableaux 5 à 7 pour chacun des effets.

### 5.5.1. *Les régions*

Les différences entre région apparaissent beaucoup moins importantes pour les performances de naissance que pour les autres performances. Pour PNAI le littoral Nord-Ouest donne un PNAI plus faible que les autres régions, les PNAI étant plus élevé sur la région correspondant au Flanc de Volcan. La région centrale de la Plaine des Cafres donne de bien meilleures performances de PAT210 et de pointage que les autres, alors que les flancs du volcan semblent défavorables pour PAT210 et DEVSQE.

### 5.5.2. *La saison*

Quatre saisons ont été définies après la sortie des GLM et l'aval des acteurs réunionnais : une saison chaude et sèche entre Décembre et février, une saison humide et chaude entre mars et mai, une saison froide et humide entre juin et août et une saison sèche avec des températures froides qui commencent à augmenter. L'influence de la saison de collecte des performances est très variable suivant le caractère. Pour CONV, les variations suivant la saison apparaissent moins significatives que pour les autres performances, les périodes les plus favorables semblant être de décembre à mai. Pour GRCANO, les périodes les plus favorables apparaissent être de mars à août. Pour les autres performances, la période la plus favorable semble être la saison de décembre à février, alors que les PNAI et PAT210 les plus faibles sont obtenus pour les naissances entre juin et août, et notes de pointage les plus faibles sont obtenues (pour les naissances) de mars à mai.

### 5.5.3. *Le type racial*

La génération du type racial des mères a été réalisée à partir de la remontée des généalogies des mères jusqu'à la génération des animaux grand-père de la mère.

Trois modalités d'effets ont été définies suite au calcul de la part de race Limousine dans le pedigree de chaque mère. Si la généalogie de la mère présente jusqu'à 25% de limousin, les animaux sont considérés « 1/2 Limousin ». Si elle présente 50% de limousin les animaux sont considérés « 3/4 Limousin » et si la généalogie maternelle présente plus de 75% de limousin, l'animal est considéré comme « pur limousin ». L'analyse de variance Des GLM ont démontré la significativité de cet effet pour toutes les performances. En étudiant les moyennes des performances pour chaque modalité, les animaux « 3/4 Limousin » semble avoir de meilleures performances que les animaux présentant les autres modalités. Ils présentent des poids de naissance et des poids à 210 jours plus importants, des performances au pointage meilleures et des conditions de naissances plus faciles. Les animaux purs semblent présenter des performances de pointage supérieures aux animaux « 1/2 Limousin », mais ne présentent pas de supériorité pour les performances à 210 jours vis-à-vis de ces mêmes animaux.

### 5.5.4. *Les effets fixes pris en compte dans le modèle*

Au final, Les effets régions et les effets saisons ont été fusionnés en un effet Région-campagne-saison pour tenir compte des fortes variations possibles de climat, suivant les facteurs régions, saison et année. Nous avons étudié la significativité de chaque effet présent dans le modèle pour chaque performance, grâce à des GLM (reprise dans le tableau 8). Le type racial n'est plus significatif pour les PNAI et DEVSQE (respectivement  $P=0.267$  et  $P=0.2944$ ). Cet effet est tout de même gardé pour la grande significativité qu'il présente pour les autres performances. L'effet Région-campagne-saison n'est pas significatif pour CONV et l'effet sexe n'est pas significatif pour le DEVSQE.

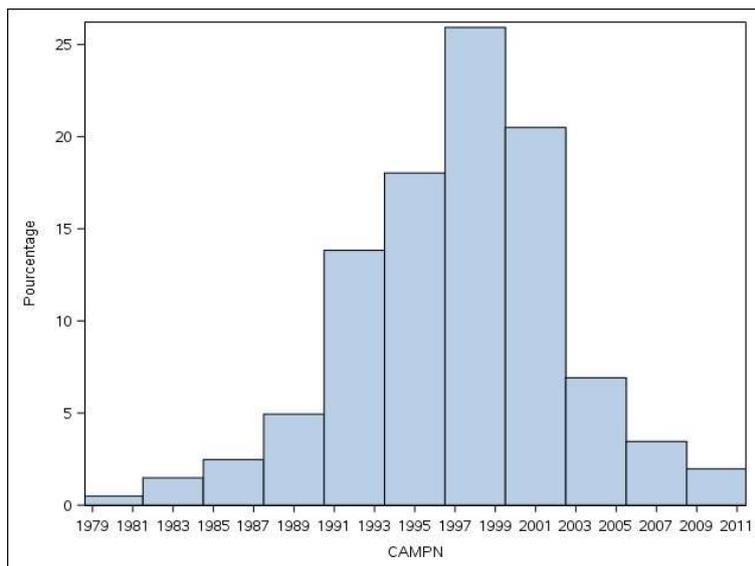


Figure 9 : distribution des campagnes de naissances des animaux connecteurs

Tableau 9 : corrélations génétiques des effets directs de l'évaluation IBOVAL et corrélations génétiques estimés intra-réunion

Paramètres génétiques IBOVAL				Paramètres génétiques Réunionnais			
NOM	PNAI	CONV			PNAI	CONV	
PNAI	4,99	0,69		PNAI	2,13	0,48	
CONV	0,10	0,00		CONV	0,01	0,01	
Héritabilité	0,48	0,05		Héritabilité	0,19	0,06	
	PAT210				PAT210		
PAT210	241,57			PAT210	346,31		
Héritabilité	0,36			Héritabilité	0,36		
NOM	DEVMUS	DEVSQE	GRCANO		DEVMUS	DEVSQE	GRCANO
DEVMUS	17,75	-0,14	0,33	DEVMUS	24,11	-0,18	0,56
DEVSQE	-3,35	31,48	0,52	DEVSQE	-3,98	20,29	0,24
GRCANO	0,48	1,02	0,12	GRCANO	0,92	0,37	0,11
Héritabilité	0,22	0,33	0,14	Héritabilité	0,28	0,25	0,18

Tableau 10 : description du sous-échantillon métropolitain

	PNAI	CONV	PAT210	Pointage
Nombre de troupeau	59	59	73	73
Nombre de campagne	15-28	15-28	18-27	17-27

Il n'est pas possible d'étudier l'influence du groupe de contemporain dans le modèle. En effet cet effet est imbriqué dans l'effet « région » et ne peut pas être calculé si un effet relié à la région est présent dans le modèle (ici sous la forme de l'effet Région-campagne-saison).

## 5.6. Estimation des paramètres génétiques

### 5.6.1. *Intra-réunion*

Grâce au logiciel Wombat, nous avons pu estimer les paramètres génétiques pour les caractères de naissance, les caractères de croissance et les caractères de pointage, sur les données de La Réunion. Nous avons ensuite comparé ces corrélations à celles utilisés dans le cadre de l'évaluation IBOVAL. Ces paramètres génétiques sont présentés dans le tableau 9.

Les paramètres génétiques obtenus à La Réunion sont en général plus faibles que les mêmes paramètres obtenus en métropole. Toutefois certaines valeurs sont supérieures à leur homologue en métropole. C'est le cas pour les héritabilités de CONV, de DEVMUS, et de GRCANO, et pour la corrélation entre le DEVMUS et la GRCANO. Une seule est identique dans les deux cas, l'héritabilité de PAT210, pour une valeur de 0.36. Suite à ces résultats, l'hypothèse de la présence d'une interaction génotype-environnement commence à poindre, les héritabilités étant différentes entre les deux milieux.

### 5.6.2. *Approche multicaractère*

En utilisant les fichiers comprenant les performances réunionnaises et les performances des 100 000 animaux métropolitains, nous avons pu calculer les paramètres génétiques pour les performances du sous échantillon métropolitain et les corrélations génétiques entre les performances métropolitaines et réunionnaises. Ces paramètres sont présentés dans le tableau 10 (repris en l'annexe 2). Aucun paramètre génétique n'est nul (sauf l'héritabilité directe de CONV en métropole), et les performances apparaissent comme corrélées entre elles. Toutefois les corrélations entre performances sont différentes entre la Réunion et la métropole. Certaines corrélations apparaissent plus fortes à la Réunion qu'en métropole.

C'est le cas de la corrélation entre GRCANO et DEVMUS. En majeure partie, les corrélations entre performances sont plus faibles qu'en métropole. En nous attardant sur les corrélations entre les mêmes performances à la Réunion et à la métropole, en rouge dans le tableau, aucune, en plus d'être non nulles, n'est égale à 1 ; elles varient de 0.42 à 0.80. Cela signifie qu'il existe bien une interaction génotype x environnement pour ces performances et qu'il est donc impossible d'inclure les performances réunionnaises dans l'évaluation IBOVAL métropolitaine.

## 5.7. Évaluation génétique test sur le fichier des performances métropolitaines

Une première évaluation génétique des animaux réunionnais seuls a pu être mise en place. Un fichier comprenant les valeurs génétiques (VG) et les coefficients de détermination (CD) de tous les animaux du pedigree a pu être extrait du fichier de résultats du logiciel BLUPf90. On y retrouve 439 animaux pour PNAI et CONV, 451 pour PAT210 et 266 pour les caractères de pointage, en majorité d'origine métropolitaine (à 67% pour PNAI ET CN, 40% pour PAT210 et 50% pour les caractères de pointage).

### 5.7.1. *Distribution des coefficients de détermination*

Les distributions des CD pour les différents caractères sont présentées en figure 9 : en ne considérant que les données réunionnaises, le niveau de précision des valeurs génétiques restent faibles avec en moyenne des valeurs entre 0.1 et 0.4 selon le caractère considéré. Malgré tout, certains taureaux plus fortement utilisés présentent des CD supérieurs à 0,5 (seuil de publication considéré pour la diffusion officielle des index IBOVAL).

Tableau 11 : paramètres génétiques estimées sur la population réunionnaise et le sous échantillon métropolitain et paramètres de l'environnement permanent maternel

		PNAI direct		CONV direct		PNAI maternel	CONV maternel			
		Métropolitaine	Réunionnaise	Métropolitaine	Réunionnaise	Métropolitaine	Métropolitaine			
PNAI direct	Métropolitaine	4,94 (0,25)	0,70 (0,134)	0,71 (0,03)	0,48 (0,21)	-0,32 (0,05)	-0,21 (0,07)			
	Réunionnaise	2,26 (0,45)	2,13 (0,21)	0,57 (0,17)	0,59 (0,09)	0,36 (0,19)	-0,54 (0,22)			
CONV direct	Métropolitaine	0,17 (0,01)	0,09 (0,03)	0,01 (0,001)	0,42 (0,25)	-0,16 (0,08)	-0,30 (0,09)			
	Réunionnaise	0,08 (0,01)	0,06 (0,01)	0,007 (0,03)	0,005 (0,001)	-0,25 (0,28)	-0,22 (0,35)			
PNAI maternel	Métropolitaine	-0,67 (0,12)	-0,48 (0,26)	-0,016 (0,008)	-0,02 (0,02)	0,87 (0,10)	0,51 (0,09)			
CONV maternel	Métropolitaine	-0,03 (0,01)	-0,05 (0,002)	-0,0002 (0,0001)	0,0001 (0,002)	0,004 (0,001)	0,03 (0,007)			
Héritabilité		0,07 (0,01)	0,19 (0,02)	0,03 (0,01)	0,08 (0,01)	0,07 (0,01)	0,03 (0,01)			
<b>Paramètres génétiques</b>										
Composante de la variance										
		PAT210 direct		PAT210 maternel	DEVMUS		DEVSQE		GRCANO	
		Métropolitaine	Réunionnaise	Métropolitaine	Métropolitaine	Réunionnaise	Métropolitaine	Réunionnaise	Métropolitaine	Réunionnaise
PAT210 reu direct	Métropolitaine	181,42 (10,66)	0,80 (0,09)	0,01 (0,18)						
	Réunionnaise	199,202 (24,80)	346,31 (29,32)	-0,21 (0,05)						
PAT210 maternel	Métropolitaine	-19,74 (6,02)	0,83 (23,52)	50,43 (6,13)						
DEVMUS	Métropolitaine				25,98 (0,91)	0,64 (0,14)	-0,33 (0,03)	-0,28 (0,18)	0,17 (0,03)	0,17 (0,19)
	Réunionnaise				15,93 (,71)	24,11 (4,45)	-0,28 (0,17)	-0,18 (0,15)	0,32 (0,18)	0,56 (0,11)
DEVSQE	Métropolitaine				-9,22 (0,66)	-7,43 (4,67)	29,53 (0,99)	0,54 (0,20)	0,33 (0,03)	-0,07 (0,21)
	Réunionnaise				-6,39 (4,16)	-3,98 (3,09)	13,09 (4,85)	20,29 (4,25)	0,03 (0,22)	0,24 (0,15)
GRCANO	Métropolitaine				0,35 (0,07)	0,65 (0,38)	0,74 (0,07)	0,05 (0,41)	0,17 (0,009)	0,75 (0,20)
	Réunionnaise				0,30 (0,32)	0,92 (0,27)	-0,13 (0,39)	0,37 (0,25)	0,10 (0,03)	0,11 (0,03)
Héritabilité		0,25 (0,01)	0,36 (0,02)	0,07 (0,01)	0,29 (0,01)	0,28 (0,04)	0,31 (0,01)	0,25 (0,05)	0,18 (0,01)	0,18 (0,04)

		PNAI		CONV	
		Métropolitaine	Réunionnaise	Métropolitaine	Réunionnaise
PNAI	Métropolitaine	0,73 (0,06)	-0,11 (2,9)	0,33 (0,06)	-0,03 (0,25)
	Réunionnaise	0	0,29 (0,07)	0	0,11 (0,14)
CONV	Métropolitaine	0,02 (0,005)	-0,03 (0,0001)	0,01 (0,001)	0,0003 ( 0,03)
	Réunionnaise	0,00	0,004 (0,005)	0	0,003 (0,001)
Héritabilité		0,05 (0,005)	0,03 (0,01)	0,05 (0,005)	0,04 (0,01)

**Paramètres de l'environnement permanent**

Composante de la variance

		PAT210		DEVMUS		DEVSQE		GRCANO	
		Métropolitaine	Réunionnaise	Métropolitaine	Réunionnaise	Métropolitaine	Réunionnaise	Métropolitaine	Réunionnaise
PAT210	Métropolitaine	69,98 (4,11)	0						
	Réunionnaise	0	143,58 (10,56)						
DEVMUS	Métropolitaine			4,15 (0,31)	-2,13 (0)	0,64 (0,04)	-2,00 (0)	0,74 (0,07)	0,04 (4,4)
	Réunionnaise			-0,59 (0,16)	3,19 (1,78)	-0,45 (0,13)	0,92 (0,23)	0	0,26 (0,61)
DEVSQE	Métropolitaine			3,20 (0,24)	-1,96 (0)	5,92 (0,33)	-1,26 (0)	0,87 (0,06)	0,09 (4,5)
	Réunionnaise			-0,39 (0,06)	4,15 (1,39)	-0,20 (0,03)	6,39 (1,8)	0	0,59 (0,5)
GRCANO	Métropolitaine			0,22 (0,02)	-0,19 (16,2)	0,31 (0,02)		0,02 (0,0003)	0,002 (1,29)
	Réunionnaise			0	0,04 (0,11)	0	0,13 (0,11)	0	0,0008 (0,01)
Héritabilité		0,10 (0,01)	0,151 (0,01)	0,05 (0,003)	0,04 (0,02)	0,06 (0,004)	0,08 (0,02)	0,02 (0,004)	0,012 (0,02)

Tableau 12 : Résultat de l'exclusion sur les seuils de CD pour les différents caractères

	% Taureaux réunionnais	% Taureaux métropolitains	Taureau total
PNAI	59	41	202
CONV	61	39	59
PAT210	53	47	132
DEVMUS	52	48	131
DEVSQE	51	49	120
GRCANO	43	57	75

La part d'animaux qui dépasse ce seuil se trouve dans la plupart des cas en deca des 1%, avec un maximum à environ 5% pour PAT210. Certains animaux présentent des CD négatifs : ils peuvent traduire la présence d'animaux consanguins.

### *5.7.2. Etude du palmarès des meilleurs taureaux de la Réunion*

Une valeur minimum de 0,2 pour les caractères de naissance et de pointage a été considérée pour sélectionner les meilleurs taureaux de la Réunion afin de garantir un minimum de précision sur les valeurs génétiques considérées. Il a été choisi une valeur minimum de 0,3 pour le PAT210. Le tableau 11 présente le résultat de cette sélection : le nombre d'animaux sélectionnés est compris entre 59 animaux pour CONV et 202 animaux pour PNAI. Parmi ces animaux, on peut observer une plus grosse proportion d'animaux réunionnais que d'animaux métropolitains (sauf pour GRCANO).

Une fois la sélection faite sur les CD, nous avons pu effectuer un classement des animaux selon différents critères, en fonction des caractères. Pour la naissance, ce classement s'est fait sur les VG de PNAI croissante, afin que les meilleurs animaux correspondent à ceux qui les valeurs génétiques PNAI les plus faibles. Pour PAT210, le classement s'est fait inversement dans l'ordre décroissant. Il en a été de même pour les résultats pour le pointage avec un classement décroissant sur les VG DEV MUS. Ont été ensuite extraits de chaque classement les palmarès des meilleurs animaux (tableau 12). Ces palmarès regroupent 59 animaux pour la naissance et 75 animaux pour le pointage suite à la sélection sur les CD. Pour PAT210, seuls les 100 premiers animaux ont été conservés.

Les tendances quant à la part d'animaux réunionnais et métropolitains dans ces palmarès reprend celle du classement, c'est à dire majoritairement des animaux réunionnais sauf sur les caractères de pointage. Malgré ce déséquilibre, la provenance des animaux présents est alternée tout au long de ces palmarès. Les palmarès sont visibles en annexe 3. Il en ressort que les 5 meilleurs animaux, pour les 3 palmarès sont composés d'animaux métropolitains et réunionnais en part égale. Ces palmarès montrent que les éleveurs réunionnais ont à leur disposition dans la liste des reproducteurs déjà utilisés à la Réunion des reproducteurs de qualité des deux origines.

Ces premiers résultats d'évaluation test montrent qu'une évaluation des performances collectées à la Réunion est possible et que les éleveurs réunionnais peuvent disposer d'un classement objectif des reproducteurs utilisés sur l'île. Cette première évaluation test reste toutefois limitée aux performances réunionnaises. La prochaine étape va consister à réaliser une évaluation test conjointe Réunion – Métropole en incluant les performances métropolitaines des troupeaux utilisant des reproducteurs communs avec la Réunion. Cet apport d'information métropolitaine permettra de consolider les résultats obtenus en augmentant la précision des valeurs génétiques à la Réunion.

## 6. Discussion et perspectives

La première évaluation test sur les données de la Réunion a pu montrer la faisabilité d'une évaluation des reproducteurs avec un modèle et des paramètres spécifiques de la Réunion. Elle a aussi permis d'observer que les animaux métropolitains et réunionnais pouvaient être tout aussi bons. Toutefois le nombre d'animaux dans les palmarès (59 pour les caractères de naissance et 75 pour les caractères de pointage) est limité, suite à la sélection des valeurs génétiques associées à des CD supérieurs à 0,2 : ce seuil de CD est pourtant assez faible, ce qui peut se traduire par de fortes variations d'index entre deux évaluations suite à l'apport de nouvelles performances par exemple. Il en est de même pour les animaux Métropolitains, pourtant bien connus en métropole avec des CD supérieurs à 0.9 (taureaux d'inséminations artificielles principalement). Une solution pour palier à ce problème est d'inclure les descendants métropolitains des pères connecteurs dans l'évaluation, comme cela a pu être fait pour l'estimation des paramètres génétiques en modèle multicaractère Réunion-Métropole.



Le temps de l'étude n'a pas permis de réaliser cette étape mais il est attendu que cela permettrait une augmentation des CD de nombreux animaux tout en permettant d'ouvrir de nouvelles possibilités de choix de reproducteur aux éleveurs Réunionnais. Il pourrait être même envisager de prendre en compte la totalité des performances d'IBOVAL dans ce même type d'évaluation multicaractère. Cette option serait toutefois associée à de plus forts besoins de puissance de calcul.

Les palmarès démontrent que le choix de reproducteurs reste encore restreint, le nombre de données étant très faible au départ à la Réunion et diminuant encore plus après la phase de sélection. Il est à espérer que dorénavant, une valorisation des données étant possible, un soin particulier soit apporté à la collecte. Ceci pourrait permettre d'éviter de supprimer des données nouvellement récoltées sur le critère de non variabilité ou d'une mauvaise remontée de performance, comme ce fut le cas pour de nombreux poids de naissance. En effet, dans le cas où la pesée n'avait pas pu être effectuée, il était conseillé aux éleveurs de donner un poids « standard » pour les mâles et les femelles, ce qui a pu entraîner une dérive de certains éleveurs vers une simplification de l'obtention des poids de naissance. Ainsi, si ce travail de collecte est fait dans les règles les index réunionnais deviendront de plus en plus précis et le choix des reproducteurs sera de plus en plus fiable et plus en plus étoffé. Il est aussi à espérer que la valorisation des données collectées chez les éleveurs volontaires va motiver d'autres éleveurs à participer aux contrôles de performances à la Réunion et ainsi consolider la base de données réunionnaise.

Cette étude n'a concerné que la race Limousine car la plus représentée dans la population réunionnaise mais aussi dans la perspective de prise en compte des performances métropolitaines. Les éleveurs des autres races qui réalisent eux aussi le contrôle de leurs performances souhaiteront inévitablement le même type de résultat. Bien que le chaîne d'évaluation puisse être adaptée pour une race autre que la race Limousine, les faibles effectifs des autres races présentes rendent impossibles une telle mise en place. On peut cependant espérer que dans les années à venir, pour la race Blonde d'Aquitaine, seconde race la plus présente sur l'île, les données disponibles pourront permettre la mise en place d'une évaluation pour cette race.

Il serait possible d'améliorer encore l'évaluation en affinant l'effet troupeau-campagne ou groupe de contemporain. En effet, il serait possible de remplacer la caractéristique troupeau par un effet troupeau-groupe de conduite. Cela permettrait de prendre en compte au sein d'un même élevage les animaux ayant pâturés sur des prairies d'altitudes différentes et ayant par ailleurs subi des conditions climatiques et des régimes fourragers différents. Cela permettrait d'avoir une valeur génétique plus proche de la réalité qu'elle ne l'est actuellement. Cela demanderait aussi à l'éleveur de relever le groupe de conduite de chaque animal et de le transmettre au contrôle de performance lors de leur visite sur l'exploitation (lors de la pesée). Cette distinction pourrait aussi s'appliquer aux conditions de naissances, en prenant en compte un effet du groupe de conduite de la mère intra campagne. Il faudrait alors vérifier que cet effet ne crée pas d'interactions avec l'effet d'environnement permanent maternel.

## 7. Conclusion

A partir des performances collectées dans les élevages réunionnais, cette étude a conduit à la mise en place d'une évaluation génétique test spécifique de la Réunion. Cette première étape a permis de montrer la faisabilité d'une telle évaluation et a permis de produire un premier palmarès des reproducteurs de la Réunion. Elle a aussi mis en évidence le faible niveau de précision d'une grande majorité des valeurs génétiques produites. Une consolidation de ces résultats par l'utilisation des performances de la métropole conjointement avec celles de la Réunion permettra de fiabiliser les valeurs génétiques sur lesquelles les éleveurs réunionnais pourront s'appuyer pour améliorer le niveau génétique de leur troupeau. Ils pourront ainsi participer à l'augmentation de la production locale de viande bovine et limiter ainsi les importations au bénéfice de l'économie locale.



## Bibliographie :

Barbet-Massin, V., Grimaud, P., Michon, A., & Thomas, P. (2004). Guide technique pour la création, la gestion et la valorisation des prairies à la Réunion

Bigot, C-E. (2016), présentation de la sicarévia et de la sédael au cirad

Cameron, N. D. (1993). Methodologies for estimation of genotype with environment interaction. *Livestock Production Science*, 35(3-4), 237-249.

Choisis, J. P., Grimaud, P., & Lassalle, C. (2009). Pratiques d'élevage dans les exploitations bovines allaitantes conduites sur pâturage dans les Hauts de la Réunion. *INRA Productions Animales*, 22(4), pp-345.

Dickerson, G. E. (1962). Implications of genetic-environmental interaction in animal breeding. *Animal Science*, 4(1), 47-63

Foulley, J. L., Hébert, D., & Quaas, R. L. (1994). Inferences on homogeneity of between-family components of variance and covariance among environments in balanced cross-classified designs. *Genetics Selection Evolution*, 26(2), 117-136

Kolmodin, R. (2003). *Reaction norms for the study of genotype by environment interaction in animal breeding* (Vol. 437).

Laloë, D. (1992). Complications des modèles d'évaluation : exemples des performances répétées et des effets maternels. *INRA Productions animales*, (hs), 197-199.

Mandret, G. (2000). *L'élevage bovin à la Réunion: Synthèse de quinze ans de recherche*. Editions Quae.

Ménissier, F., & Bouix, J. (1992). Les bovins et ovins producteurs de viande. *INRA Productions animales*, (hs), 11-23.

Meyer, K. (2007). WOMBAT—A tool for mixed model analyses in quantitative genetics by restricted maximum likelihood (REML). *Journal of Zhejiang University-Science B*, 8(11), 815-821.

Misztal, I., Tsuruta, S., Strabel, T., Auvray, B., Druet, T., & Lee, D. H. (2002). BLUPF90 and related programs (BGF90). In *Proceedings of the 7th world congress on genetics applied to livestock production* (Vol. 28, No. 07). Montpellier, Communication No. 28–27.

Phocas, F. (2011). L'optimisation des programmes de sélection. *Productions Animales*, 24(4), 341.

Institute Inc. 2008. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Verrier, E., Brabant, P., Gallais, A. (2011). Faits et concepts de base en génétique quantitative

Verrier, E., Saint-Dizier, M. (2011). Contraintes et opportunités pour l'amélioration génétique des ruminants. *Productions Animales*, 24(4), 297.



## Sitographie :

Chambre d'agriculture de la Réunion (2017). Les productions animales. Retrieved on 10 July 2017, from <http://www.reunion.chambagri.fr/spip.php?rubrique57>

Daaf la réunion, (2015). La production de viande bovine à la réunion. Retrieved on 10 July 2017, from [http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/agreste\\_Production\\_viande\\_Bovine\\_cle0bc6eb.pdf](http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/agreste_Production_viande_Bovine_cle0bc6eb.pdf)

France génétique élevage (2009). Règlement technique du contrôle officiel des performances des bovins allaitants en ferme, version 4.0. Retrieved on 10 July 2017, from <http://idele.fr/services/office-for-international-technical-cooperation/publication/idelesolr/recommends/reglement-technique-du-controle-officiel-des-performances-des-bovins-allaitants-en-ferme-1.html>

Googel maps (2017). Île de la Réunion. Retrieved on 10 July 2017, from <https://maps.google.fr/>

Insee (2014). Bilan démographique 2014. Retrieved on 10 July 2017, from <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2019744>

Meteofrance.re (2017). Climat de La Réunion. Retrieved on 10 July 2017, from <http://www.meteofrance.re/climat/description-du-climat>

Odeadom (2013). Referentiel modulaire Bovins Viande Reunion. Retrieved on 10 July 2017, from <http://www.odeadom.fr/wp-content/uploads/2013/10/Referentiel-modulaire-Bovins-Viande-Reunion-2013-1.pdf>

Odeadom (2015). Referentiel modulaire Bovins Viande Reunion. Retrieved on 10 July 2017, from [http://www.odeadom.fr/wp-content/uploads/2016/06/Referentiel-BV-conjoncture-2014\\_2015-VF-1.pdf](http://www.odeadom.fr/wp-content/uploads/2016/06/Referentiel-BV-conjoncture-2014_2015-VF-1.pdf)



Annexe 1 : Les 30 pères métropolitains les plus utilisés à la Réunion.

<b>Animal</b>	<b>Descendants directs à la Réunion</b>
TASTEVIN	713
HIGHLANDER	678
ON DIT	564
IONESCO	490
ARMORIC	439
MAS DU CLO	394
URVILLE	365
EPSON	354
NEOPHIN	336
REMIX	308
MOZART	285
AZURRI	282
BANANIER	281
VALERIAN	262
CAMEOS	238
LOUXOR	234
DAMONA	219
MUSCLEOR	212
HYMOUR	193
VIVA VOCE	169
NEUF	168
USSE	151
COMTE	150
GENIAL	146
OSEKI	143
ELEAZAR	140
PAX	132
USKUDAR	102
ROUSEILHOU	101
CHATELAIN	98



Annexe 2: Paramètres génétiques (A) et d'environnement maternel (B) permanents estimés entre la population réunionnaise et métropolitaine

		PNAI direct		CONV direct		PNAI maternel		CONV maternel			
		Métropolitaine	Réunionnaise	Métropolitaine	Réunionnaise	Métropolitaine	Réunionnaise	Métropolitaine	Réunionnaise		
PNAI direct	Métropolitaine	4,94 (0,25)	0,70 (0,134)	0,71 (0,03)	0,48 (0,21)	-0,32 (0,05)	-0,21 (0,07)				
	Réunionnaise	2,26 (0,45)	2,13 (0,21)	0,57 (0,17)	0,59 (0,09)	0,36 (0,19)	-0,54 (0,22)				
CONV direct	Métropolitaine	0,17 (0,01)	0,09 (0,03)	0,01 (0,001)	0,42 (0,25)	-0,16 (0,08)	-0,30 (0,09)				
	Réunionnaise	0,08 (0,01)	0,06 (0,01)	0,007 (0,03)	0,005 (0,001)	-0,25 (0,28)	-0,22 (0,35)				
PNAI maternel	Métropolitaine	-0,67 (0,12)	-0,48 (0,26)	-0,016 (0,008)	-0,02 (0,02)	0,87 (0,10)	0,51 (0,09)				
CONV maternel	Métropolitaine	-0,03 (0,01)	-0,05 (0,002)	-0,0002 (0,0001)	0,0001 (0,002)	0,004 (0,001)	0,03 (0,007)				
<b>Héritabilité</b>		<b>0,07 (0,01)</b>	<b>0,19 (0,02)</b>	<b>0,03 (0,01)</b>	<b>0,08 (0,01)</b>	<b>0,07 (0,01)</b>	<b>0,03 (0,01)</b>				
Paramètres génétiques											
Composante de la variance											
		PAT210 direct		PAT210 maternel		DEVMIUS		DEVSQE		GRCANO	
		Métropolitaine	Réunionnaise	Métropolitaine	Réunionnaise	Métropolitaine	Réunionnaise	Métropolitaine	Réunionnaise	Métropolitaine	Réunionnaise
PAT210 reu direct	Métropolitaine	181,42 (10,66)	0,80 (0,09)	0,01 (0,18)							
	Réunionnaise	199,202 (24,80)	346,31 (29,32)	-0,21 (0,05)							
PAT210 maternel	Métropolitaine	-19,74 (6,02)	0,83 (23,52)	50,43 (6,13)							
	Métropolitaine				25,98 (0,91)	0,64 (0,14)	-0,33 (0,03)	-0,28 (0,18)	0,17 (0,03)	0,17 (0,19)	
DEVMIUS	Réunionnaise				15,93 (7,71)	24,11 (4,45)	-0,28 (0,17)	-0,18 (0,15)	0,32 (0,18)	0,56 (0,11)	
	Métropolitaine				-9,22 (0,66)	-7,43 (4,67)	29,53 (0,99)	0,54 (0,20)	0,33 (0,03)	-0,07 (0,21)	
DEVSQE	Réunionnaise				-6,39 (4,16)	-3,98 (3,09)	13,09 (4,85)	20,29 (4,25)	0,03 (0,22)	0,24 (0,15)	
	Métropolitaine				0,35 (0,07)	0,65 (0,38)	0,74 (0,07)	0,05 (0,41)	0,17 (0,009)	0,75 (0,20)	
GRCANO	Métropolitaine				0,30 (0,32)	0,92 (0,27)	-0,13 (0,39)	0,37 (0,25)	0,10 (0,03)	0,11 (0,03)	
	Réunionnaise										
<b>Héritabilité</b>		<b>0,25 (0,01)</b>	<b>0,36 (0,02)</b>	<b>0,07 (0,01)</b>	<b>0,29 (0,01)</b>	<b>0,28 (0,04)</b>	<b>0,31 (0,01)</b>	<b>0,25 (0,05)</b>	<b>0,18 (0,01)</b>	<b>0,18 (0,04)</b>	



	PNAI		CONV					
	Métropolitaine	Réunionnais	Métropolitaine	Réunionnais				
PNAI	Métropolitaine	-0,11 (2,9)	0,33 (0,06)	-0,03 (0,25)				
	Réunionnais	0,29 (0,07)	0	0,11 (0,14)				
CONV	Métropolitaine	-0,03 (0,0001)	0,01 (0,001)	0,0003 ( 0,03)				
	Réunionnais	0,004 (0,005)	0	0,003 (0,001)				
Héritabilité								
	0,05 (0,005)	0,03 (0,01)	0,05 (0,005)	0,04 (0,01)				
Paramètres de l'environnement permanent								
Composante de la variance								
	PAT210		DEVMS		DEVSQE		GRCANO	
	Métropolitaine	Réunionnais	Métropolitaine	Réunionnais	Métropolitaine	Réunionnais	Métropolitaine	Réunionnais
PAT210	Métropolitaine	69,98 (4,11)	0					
	Réunionnais	0	143,58 (10,56)					
DEVMS	Métropolitaine		4,15 (0,31)	-2,13 (0)	0,64 (0,04)	-2,00 (0)	0,74 (0,07)	0,04 (4,4)
	Réunionnais		-0,59 (0,16)	3,19 (1,78)	-0,45 (0,13)	0,92 (0,23)	0	0,26 (0,61)
DEVSQE	Métropolitaine		3,20 (0,24)	-1,96 (0)	5,92 (0,33)	-1,26 (0)	0,87 (0,06)	0,09 (4,5)
	Réunionnais		-0,39 (0,06)	4,15 (1,39)	-0,20 (0,03)	6,39 (1,8)	0	0,59 (0,5)
GRCANO	Métropolitaine		0,22 (0,02)	-0,19 (16,2)	0,31 (0,02)	0,02 (0,0003)	0,02 (0,0003)	0,002 (1,29)
	Réunionnais		0	0,04 (0,11)	0	0,13 (0,11)	0	0,0008 (0,01)
Héritabilité								
	0,10 (0,01)	0,151 (0,01)	0,05 (0,003)	0,04 (0,02)	0,06 (0,004)	0,08 (0,02)	0,02 (0,004)	0,012 (0,02)



## Annexe 3 : Palmarès de différents caractères étudiés.

### Palmarès sur les caractères de naissance

Animal	VG PNAI (kg)	CD PNAI	VG CONV	CD CONV
FR9820166180	-1,94	0,33	-0,08	0,20
FR9820104147	-1,77	0,36	-0,09	0,24
FR1996013332	-1,70	0,35	-0,03	0,21
FR1299063457	-1,33	0,34	-0,04	0,22
FR9820122629	-1,14	0,77	-0,03	0,57
FR9820090461	-0,96	0,34	-0,03	0,20
FR9820104505	-0,87	0,37	-0,02	0,21
FR2424526210	-0,78	0,35	-0,05	0,23
FR9896105256	-0,71	0,39	-0,01	0,23
FR2497018125	-0,65	0,38	-0,03	0,22
FR9820090460	-0,60	0,35	-0,01	0,22
FR1202099563	-0,52	0,35	0,00	0,21
FR9820068915	-0,51	0,37	-0,02	0,26
FR9820032660	-0,45	0,31	-0,03	0,25
FR9820095135	-0,30	0,45	-0,03	0,33
FR9820181491	-0,28	0,36	-0,01	0,21
FR9820017434	-0,25	0,32	-0,03	0,21
FR2998053250	-0,25	0,43	-0,03	0,28
FR9820025799	-0,25	0,30	0,03	0,22
FR9820180937	-0,23	0,34	-0,02	0,25
FR9820091604	-0,23	0,33	0,00	0,23
FR9820095933	-0,22	0,40	-0,02	0,27
FR9820068905	-0,20	0,34	-0,01	0,22
FR2303327481	-0,20	0,33	-0,02	0,22
FR9820083745	-0,17	0,34	-0,01	0,22
FR2424507604	-0,13	0,35	0,00	0,25
FR9895105105	-0,13	0,36	-0,02	0,25
FR1201088095	-0,12	0,32	0,00	0,20
FR9820112781	-0,11	0,36	-0,02	0,24
FR9820150948	-0,10	0,41	-0,03	0,28
FR1932992030	-0,08	0,35	-0,05	0,22
FR5343689976	-0,06	0,35	-0,01	0,22
FR9820067001	-0,02	0,36	0,00	0,25
FR5612607651	0,00	0,34	-0,02	0,23
FR1932909853	0,00	0,34	-0,01	0,22
FR1717626948	0,04	0,31	0,00	0,21



FR1932749881	0,05	0,36	0,03	0,24
FR2296004184	0,07	0,31	0,00	0,22
FR2215982213	0,09	0,32	0,00	0,21
FR5698061865	0,12	0,33	-0,01	0,22
FR9820066807	0,13	0,35	0,01	0,22
FR8794008403	0,15	0,32	-0,02	0,21
FR2219275014	0,16	0,41	0,00	0,25
FR8708880253	0,29	0,35	-0,01	0,23
FR9820132535	0,31	0,34	-0,02	0,22
FR9820183206	0,31	0,34	0,01	0,20
FR9820165407	0,35	0,50	0,02	0,32
FR5454641593	0,46	0,33	0,02	0,21
FR9820051451	0,53	0,33	0,01	0,21
FR9820106651	0,55	0,33	0,03	0,23
FR9820074407	0,61	0,38	0,08	0,26
FR9820044125	0,66	0,33	0,01	0,26
FR1932967173	0,69	0,36	0,01	0,24
FR9820106658	0,78	0,32	0,01	0,20
FR9820011699	0,83	0,31	0,03	0,23
FR9820134414	0,91	0,46	0,12	0,34
FR9820056211	0,98	0,27	0,01	0,20
FR9894104919	1,16	0,42	0,05	0,29
FR9820017465	1,93	0,41	0,05	0,24



## Palmarès des caractères de croissance

Animal	VG PAT210 (kg)	CD PAT210
FR2424526210	41,28	0,47
FR9820083745	37,88	0,44
FR9820074194	30,61	0,45
FR9820091822	28,55	0,36
FR1932967173	26,55	0,41
FR9820079089	24,62	0,74
FR3716014469	23,56	0,40
FR9820074176	21,41	0,43
FR8601121960	19,42	0,47
FR9893104800	18,42	0,33
FR9820113215	17,43	0,91
FR9820043938	17,36	0,40
FR9820047804	16,93	0,65
FR9820071603	16,21	0,50
FR9820074183	15,33	0,39
FR2915098702	15,13	0,60
FR9820009942	14,71	0,50
FR1717626948	14,44	0,53
FR5627458031	13,76	0,32
FR9820001144	13,76	0,37
FR9820074171	13,19	0,65
FR9820088012	13,15	0,45
FR9820068905	12,98	0,37
FR1201088095	12,89	0,42
FR9820114838	11,86	0,47
FR1627496675	10,71	0,33
FR9820079589	10,56	0,51
FR1932639550	10,26	0,31
FR1295160156	10,04	0,47
FR9820072351	9,88	0,38
FR9820095933	9,81	0,34
FR9820165401	9,45	0,58
FR9820031441	9,40	0,46
FR9820090460	9,26	0,37
FR9820031473	9,19	0,35
FR8122073520	8,92	0,44
FR4998016203	8,50	0,45
FR9820113226	8,28	0,38



FR1932061794	7,99	0,38
FR9820143219	7,90	0,33
FR9820171279	7,35	0,35
FR9820039913	6,66	0,40
FR9820147943	6,47	0,40
FR9820143213	6,25	0,34
FR9820148491	6,14	0,67
FR2424454717	6,10	0,42
FR1994015372	5,77	0,34
FR9820079121	5,43	0,43
FR1204079004	5,06	0,42
FR9820146221	4,82	0,31
FR9820160397	3,33	0,31
FR9820068991	3,24	0,46
FR8122073617	2,99	0,70
FR5698061067	2,82	0,36
FR8791002604	2,55	0,42
FR8715030417	2,55	0,30
FR5703114236	2,49	0,32
FR3615064618	2,29	0,36
FR1200097962	2,19	0,32
FR8759810217	2,10	0,30
FR9820046516	1,85	0,30
FR9820142391	1,73	0,70
FR2942852535	1,65	0,32
FR3615032407	1,13	0,30
FR9820073149	0,76	0,40
FR9820001248	0,63	0,30
FR9820047810	0,26	0,35
FR9820067978	0,09	0,42
FR8121502608	-0,23	0,43
FR9894104939	-0,25	0,37
FR2219275014	-0,45	0,39
FR1932909853	-0,48	0,49
FR1931733301	-0,64	0,31
FR9820091291	-1,20	0,69
FR2395062176	-1,65	0,46
FR9820068915	-2,48	0,40
FR2303330346	-2,51	0,45



FR1618184328	-2,55	0,40
FR9820011661	-2,72	0,49
FR9820047811	-3,29	0,61
FR9820078058	-3,44	0,41
FR1931102373	-3,44	0,43
FR2303327481	-3,46	0,44
FR9820104026	-3,89	0,33
FR9820068861	-4,28	0,33
FR5627458033	-4,39	0,48
FR9820075095	-5,10	0,40
FR9820119548	-5,16	0,34
FR9820175682	-5,50	0,36
FR2255671978	-5,80	0,30
FR8708880253	-5,84	0,46
FR1204089819	-6,01	0,34
FR3696008845	-6,03	0,37
FR1525020086	-6,45	0,30
FR9820166180	-7,34	0,31
FR9820068204	-7,74	0,31
FR9893104806	-7,82	0,41
FR2424507604	-8,77	0,40
FR9820065975	-8,86	0,32
FR3542846620	-8,96	0,41



## Palmarès des caractères de pointage

Animal	VG DEVMUS	CD DEVMUS	VG DEVSQE	CD DEVSQE	VG GRCANO	CD GRCANO
FR2219275014	10,25	0,42	-3,67	0,38	0,38	0,27
FR9820090461	6,89	0,41	-1,60	0,38	0,28	0,26
FR9820159700	6,22	0,35	-5,87	0,30	0,21	0,23
FR2395062176	5,37	0,31	-1,86	0,30	0,19	0,24
FR2219279723	5,16	0,75	1,04	0,72	0,16	0,62
FR5627458031	5,05	0,45	0,38	0,42	0,27	0,32
FR1931733301	4,74	0,35	-2,46	0,29	0,15	0,20
FR2255672023	4,23	0,36	-4,18	0,32	0,17	0,25
FR9820074195	3,84	0,38	-4,75	0,34	0,02	0,22
FR9820043931	3,69	0,27	-3,50	0,25	0,10	0,20
FR1208099630	3,66	0,45	0,64	0,41	0,18	0,31
FR9820165412	3,61	0,36	-4,97	0,30	0,05	0,22
FR2216177516	3,55	0,45	-1,43	0,41	0,17	0,29
FR2255672154	3,51	0,42	-2,13	0,39	-0,08	0,29
FR9820056211	3,20	0,44	2,95	0,41	0,25	0,31
FR1932909853	3,07	0,39	-2,30	0,35	0,06	0,25
FR9820050618	2,99	0,38	-2,23	0,36	0,02	0,29
FR1203076725	2,92	0,29	-1,43	0,27	0,10	0,21
FR1202093398	2,62	0,34	-0,38	0,29	0,12	0,20
FR8715030417	2,33	0,40	-0,31	0,36	0,12	0,28
FR3697000896	2,14	0,46	-0,62	0,42	0,11	0,32
FR9820143219	2,06	0,51	-0,81	0,48	-0,17	0,39
FR2424454717	2,03	0,42	-1,49	0,37	0,06	0,25
FR8742550600	1,95	0,45	-2,57	0,41	0,03	0,30
FR9820071603	1,89	0,46	1,54	0,43	-0,03	0,32
FR2303293868	1,78	0,44	1,72	0,40	0,08	0,30
FR1932749881	1,59	0,35	1,54	0,32	0,29	0,22
FR2398026596	1,57	0,37	1,66	0,33	0,00	0,26
FR9820153841	1,42	0,42	0,76	0,36	0,12	0,27
FR2942852535	1,40	0,43	-2,84	0,39	-0,10	0,27
FR1200097962	1,31	0,52	1,48	0,48	0,26	0,36
FR3696019935	1,16	0,44	-1,94	0,40	-0,10	0,30
FR9820155468	1,13	0,52	2,84	0,46	0,03	0,39
FR9820177835	0,81	0,39	-1,28	0,36	-0,10	0,25
FR2215982213	0,72	0,42	1,41	0,38	-0,01	0,26
FR9820165401	0,67	0,42	3,01	0,38	0,13	0,31
FR9820085065	0,53	0,34	1,29	0,32	0,04	0,26
FR1206095644	0,48	0,43	-1,81	0,39	-0,02	0,29



FR9820154928	0,42	0,29	1,09	0,27	0,00	0,23
FR9820166320	0,30	0,43	-3,05	0,38	-0,24	0,30
FR1525020086	0,19	0,34	-3,83	0,30	-0,20	0,21
FR9820183969	0,16	0,37	-3,53	0,33	0,05	0,25
FR9820139535	0,10	0,39	2,37	0,36	0,00	0,29
FR1618184328	-0,13	0,45	0,94	0,41	-0,03	0,29
FR1204079004	-0,16	0,41	1,97	0,37	0,07	0,26
FR9820174190	-0,21	0,65	1,09	0,62	-0,15	0,53
FR9820102889	-0,35	0,37	3,08	0,31	-0,05	0,22
FR8703200289	-0,42	0,33	0,01	0,30	-0,25	0,23
FR1931361363	-0,51	0,46	1,55	0,43	-0,13	0,32
FR9820109836	-0,54	0,33	0,27	0,30	-0,10	0,21
FR1930369163	-0,67	0,27	2,94	0,26	0,13	0,21
FR1932967173	-0,99	0,41	2,40	0,38	-0,13	0,28
FR1931102373	-1,10	0,51	1,66	0,47	-0,02	0,35
FR8122073617	-1,18	0,40	-4,79	0,37	-0,31	0,30
FR9820048500	-1,31	0,31	1,28	0,29	-0,19	0,22
FR9820166176	-1,52	0,39	0,88	0,33	-0,07	0,24
FR9820083014	-2,05	0,44	2,56	0,41	0,24	0,30
FR9820122629	-2,19	0,32	3,62	0,30	0,05	0,22
FR1299078633	-2,26	0,29	5,09	0,26	-0,08	0,20
FR9820166178	-2,27	0,41	-2,32	0,34	-0,11	0,25
FR9820177861	-2,41	0,39	2,38	0,34	-0,25	0,26
FR2219279541	-2,59	0,40	3,12	0,36	-0,10	0,28
FR2223361942	-2,67	0,45	-3,81	0,41	-0,19	0,29
FR9820166180	-3,00	0,50	2,00	0,44	-0,15	0,37
FR2302770663	-3,02	0,33	1,82	0,30	-0,11	0,20
FR9820153900	-3,05	0,31	5,45	0,28	-0,07	0,21
FR5454641593	-3,16	0,43	4,30	0,39	-0,02	0,29
FR2255682355	-3,16	0,40	3,32	0,36	-0,08	0,25
FR9820177834	-3,29	0,35	2,71	0,30	-0,12	0,22
FR1932073396	-3,34	0,40	0,91	0,36	-0,15	0,26
FR1202099563	-3,80	0,30	4,15	0,27	-0,13	0,20
FR9820173823	-4,08	0,39	4,84	0,35	-0,01	0,28
FR9820153835	-4,63	0,29	2,85	0,27	-0,28	0,21
FR2424507604	-5,84	0,39	1,49	0,36	-0,25	0,26
FR1932945444	-6,35	0,40	3,21	0,36	-0,14	0,24

	Diplôme : Ingénieur de l'institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage Spécialité : Science de l'animal pour l'élevage de demain Spécialisation / option : Enseignant référent : Frederic Leclerc
Auteur(s) : Quentin Berger	Organisme d'accueil : INRA
Date de naissance :20/10/1994	Adresse : Domaine de Vilvert
Nb pages : 21      Annexe(s) : 3	78352 Jouy en Josas Cedex
Année de soutenance : 2017	Maître de stage : Eric Venot
Titre français : Etude de la mise en place d'une évaluation génétique des bovins allaitants de l'île la Réunion.	
Titre anglais : Feasibility assessment of Reunion Island beef cattle genetic evaluation.	
<p>Résumé : L'île de la Réunion présente des caractéristiques climatiques (climat tropical soumis aux alizées), géographiques (présence de 2 volcans et de forts dénivelés sur seulement 2512 km<sup>2</sup>) et une composition du cheptel (forte utilisation du croisement) différentes de celles de la métropole française. Or depuis 1995, un contrôle en élevage des performances au sevrage (naissance, croissance et pointage) a été mis en place, selon le protocole pratiqué en métropole pour les évaluations IBOVAL. L'objectif de cette étude a donc été la mise en place d'une évaluation génétique des bovins Limousins de la Réunion. La première étape a consisté à construire le modèle des effets d'environnement spécifiques à la Réunion : 4 zones d'élevage et 4 saisons ont pu être définies, en plus des effets Groupe de contemporains, Sexe et de la combinaison Age-Parité de la mère. Un modèle BLUP modèle animal a été appliqué pour estimer les paramètres génétiques intra-Réunion puis Réunion-Métropole conjointement (à partir d'un sous échantillon de troupeaux utilisant des taureaux connecteurs entre les 2 milieux). Les paramètres réunionnais obtenus sont cohérents avec les paramètres IBOVAL. Les corrélations génétiques entre la Réunion et la métropole varient entre 0,42 pour les conditions de naissance et 0,8 pour le poids âge-type au sevrage, ce qui traduit l'existence d'une interaction Génotype x Environnement entre ces 2 milieux. Une évaluation génétique spécifique à la Réunion est donc nécessaire. Une première évaluation test a pu montrer que le niveau de précision des valeurs génétiques était faible si seules les données de la Réunion sont prises en compte mais le classement des meilleurs taureaux regroupait des taureaux des 2 origines.</p>	
<p>Abstract: The reunion Island presents climatic characteristics (tropical climate subject to trade winds), geographic characteristics (presence of two volcanos and of strong reliefs on only 2512 km<sup>2</sup>) and a livestock composition (high utilisation of crossbreed) different from the mainland France. Since 1995, a monitoring of weaning performance, following the protocol of the genetic evaluation IBOVAL. The aim of this study was to set up a genetic evaluation for Limousine beef from the Reunion Island. The first step was the creation of the model of environmental specific effects of the Reunion: 4 breeding areas and 4 seasons could have been defined, besides the effect group of contemporaries, sex and the combination Age-mother's parity. A BLUP animal model has been applied to estimate the genetic parameters intra-Reunion then Reunion-mainland France together (from a sample of herd that use sires that connect the two environments). The obtained genetic parameters are coherent with the IBOVAL parameters. Genetic correlations between Reunion and mainland range between 0.45 for birth conditions and 0.8 form weaning weight, showing the existence of a genotype X environment interaction between these two areas. A Reunion specific genetic evaluation is a necessity. A first one, only on the data of the Reunion has shown that the level of accuracy of genetics values was low, but the best sires ranking regrouped the two sire's origins.</p>	
Mots-clés : évaluation, limousine, Réunion, bovins allaitants	
Key Words: evaluation, limousine, Reunion Island,beef cattles	