

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA
TERRE ET DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT D'ECOLOGIE ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT



Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité : Production et Transformation Laitières

Thème

L'insémination Artificielle chez la Vache : une Biotechnologie de Maîtrise de la Reproduction et de Promotion de la Production Laitière

Présenté par :

LEGRINI Sahar
MEHELLAINE Khaoula
SAHKI Djihad

Membres de jury

<u>Président</u>	: Dr. BOUSBIA Aissam	M.C.A	Université de Guelma
<u>Encadreur</u>	: Dr. BENYOUNES Abdelaziz	Professeur	Université de Guelma
<u>Examineur</u>	: Dr. CHEMMAM Mabrouk	Professeur	Université de Guelma

Année Universitaire : 2021/2022

REMERCIEMENTS

En ces quelques lignes nous tenons à remercier, Dieu le tout puissant de nous avoir donné la patience et le courage pour terminer ce travail, et toutes les personnes qui nous ont apporté leur soutien et leur aide tout au long de ce mémoire, et plus particulièrement :

Nous remercions notre merveilleux promoteur Mr. BENYOUNES Abdelaziz Professeur Docteur, à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université 8 mai 1945, Guelma ; qui nous a aidé et dirigé tout au long de ce travail, nous lui adresserons un grand merci pour la confiance témoignée, l'autonomie accordée tout au long du déroulement de ce travail, nous le remercions aussi très vivement. Il a toujours été disponible pour répondre à nos questions.

Nous remercions également tous les membres du jury Prof. Dr. CHEMMAM Mabrouk et Dr. BOUSSBIA, Maître de Conférences Habilité, tous deux de l'Université de Guelma, pour avoir accepté de juger ce travail.

Enfin, nous tenons à remercier l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation, et aussi à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin tout au long de ce modeste travail.

Dédicaces

A ma très chère mère

Je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père

Que dieu prolonge ta vie et me donne un lien et une source de force pour moi.

A mon unique mon cher frère *ZINEDDINE* et mes chères sœurs *AMANI* et ma belle
OUMAIMA

A toute ma famille *SAHKI* et Banour, et mon binôme *KHAWLA* et *SAHAR* et tous les amis

SAHKI Jihad

Dédicaces

C'est avec respect et gratitude que je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et ma sympathie à :

Aux plus chères personnes du monde, à mes parents pour leur soutien inconditionnel, leurs sacrifices, leur tendresse, leur amour infini,...

A mes sœurs Hadil et Chourouk, Ritaj

A mon mari anis et sa famille

A toutes mes copines « khaoula, djihad, Aya, Malika, Rayen »

A tous mes collègues

A tous mes enseignants du primaire au ...post-universitaire

A toute ma famille

LEGRINI Sahar

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mon cher père

Puisse ce modeste travail constituer une légère compensation pour tous les nobles sacrifices que t'es imposé pour assurer mon bien être et mon éducation.

Ma chère mère

Aucune dédicace ne pourrait exprimer l'affection et l'amour que j'éprouve pour toi.

Puisse ce travail être la récompense de tes soutiens moraux et sacrifice.

A mes chers frères

YASSINE, AMINE, DJALALE

Mes sœurs

NABILA, TAKOIA.

A ma famille et à toutes mes amies surtout DJIHAD, SAHAR, HALOUMA, MARWA, CHAIMA et IKRAM....

A toute ma promotion du Master Production et transformation laitières.

MEHELLAINE Khaoula

Résumé

Au vu des atouts que peut procurer l'insémination artificielle, sur les plans génétique, zootechnique, sanitaire, et économique, soit tout cet ensemble combiné, sur les performances repro-productives chez la vache, l'idéal souhaité, serait son utilisation sur des races orientées vers le développement et la promotion de la production laitière.

Néanmoins, sa réussite exige une bonne organisation à travers tout le territoire national, avec une bonne maîtrise de cette biotechnologie, laquelle est une chaîne à plusieurs maillons. Ces derniers vont du choix des reproducteurs (surtout les mâles, mais également les femelles), en passant par la technologie séminale (récolte, traitement, et évaluation de la semence), l'induction et la synchronisation des chaleurs (par l'emploi de traitements hormonaux), jusqu'à l'acte d'insémination proprement dite (le dépôt de la semence au bon moment et au bon endroit), et même au-delà, par la mesure des résultats de ce dernier (par l'utilisation de diagnostic de gestation précoce).

Mots clés : Vache - Production laitière - Race - Progrès génétique - Insémination Artificielle

Abstract

In view of the advantages that artificial insemination can provide, on the genetic, zootechnical, sanitary and economic levels, i.e. all this combination, on reproductive performance in cows, the desired ideal would be its use on breeds oriented towards the development and promotion of dairy production.

Nevertheless, its success requires a good organization throughout the national territory, with a good mastery of this biotechnology, which is a chain with several links. These range from the choice of breeders (especially males, but also females), through seminal technology (harvesting, treatment, and evaluation of semen), heat induction and synchronization (through the use of hormonal treatments), up to the actual act of insemination (deposition of the semen at the right time and in the right place), and even beyond, by measuring the results of the latter (by the use of diagnosis of early pregnancy).

Keywords: Cow - Milk production - Breed - Genetic progress - Artificial insemination

ملخص

في ضوء المزايا التي يمكن أن يوفرها التلقيح الاصطناعي ، على المستويات الوراثة ، والحيوانية ، والصحية ، والاقتصادية ، أي كل هذا المزيج ، على الأداء الإيجابي في الأبقار ، فإن المثال المرغوب هو استخدامه في السلالات الموجهة نحو تطوير منتجات الألبان والترويج لها إنتاج.

ومع ذلك، فإن نجاحها يتطلب تنظيمًا جيدًا في جميع أنحاء الوطن، مع إتقان جيد لهذه التكنولوجيا الحيوية، وهي سلسلة ذات روابط عديدة. تتراوح هذه من اختيار المربين (خاصة الذكور ، ولكن أيضًا الإناث) ، من خلال التكنولوجيا المنوية (حصاد ومعالجة وتقييم السائل المنوي) ، والبحث الحراري والمزامنة (من خلال استخدام العلاجات الهرمونية) ، وحتى فعل التلقيح الفعلي (ترسب السائل المنوي في الوقت المناسب وفي المكان المناسب) وحتى بعد ذلك بقياس نتائج الأخير (باستخدام تشخيص الحمل المبكر).

الكلمات المفتاحية : أبقار - إنتاج ألبان - سلالة - تقدم وراثي - تلقيح صناعي

LISTE DES ABREVEATIONS

LH: Luteinizing Hormone

FSH: Follicular Stimulating Hormone

IA : Insémination Artificielle

GNRH : Gonadotropin Releasing Hormone

GPG : Gonadolibérine-Prostaglandine F200-gonadolibérine

PGF : Prostaglandine

®: Nom déposé de marques

PGF2 α : Prostaglandine F2 alpha

IV : vêlage

IA1 : 1^{ère} Insémination Artificielle

IAF : Insémination Artificielle Fécondante

BHV-12: Bovine Herpes Virus-12

BVD : Diarrhée Virale des Bovins

FAO: Food and Agriculture Organisation of the United Nations

SOMMAIRE

Introduction générale / Objectifs	1
I. Rappel anatomo-physiologique de l'appareil génital chez la vache.....	2
1. Rappel anatomique.....	2
1.1. Les ovaires.....	2
1.2. Les oviductes ou trompes utérines.....	2
1.3. L'utérus.....	3
2. Rappel physiologique.....	4
2.1. La folliculogénèse.....	4
2.2. L'ovulation.....	5
2.3. Régulations hormonales et contrôle de la sécrétion de la GnRH, LH et FSH.....	5
2.4. Le cycle sexuel.....	6
II. Les chaleurs et leur détection chez la vache.....	7
1. Les chaleurs : définition, signes et modification histologique et comportementale.....	7
2. La détection des chaleurs : intérêts et méthodes de détection.....	9
3. La synchronisation des chaleurs.....	12
III. L'insémination artificielle.....	15
1. Définition et historique.....	15
2. Avantages et inconvénients.....	15
3. Récolte, évaluation et préparation de la semence.....	17
4. L'insémination artificielle proprement dite : moment, procédé et lieu de dépôt de la semence.....	19
5. Evaluation des résultats de l'insémination artificielle.....	20

IV. Etat de synthèse des principaux résultats, de l'insémination artificielle en tant que Biotechnologie de maîtrise de la reproduction, chez la vache laitière.....	22
1. L'insémination artificielle et son effet sur la sélection et l'amélioration génétique.....	22
1.1. Notions de races en productions animales.....	22
1.2. Principe de la sélection génétique intra-race.....	23
1.3. Les croisements et la notion de complémentarité entre races bovines laitières.....	25
1.4. Des différences d'orientation génétique entre races bovines laitières.....	26
2. L'insémination artificielle et son effet sur les aspects zootechniques.....	30
3. L'insémination artificielle et son effet sur les aspects économiques.....	31
4. L'insémination artificielle et son effet sur les aspects sanitaires.....	33
V. Conclusion Générale et Recommandations Pratiques.....	35
VI. Références bibliographiques.....	36

Indice des Figures

<u>Figure 1.</u> Préhension et palpation de l'ovaire (Hanzen, 2010; Dellmann et Eurell, 1998)....	2
<u>Figure 2.</u> Appareil génital de la vache (Duplan, 1973).....	3
<u>Figure 3.</u> Schéma des stades de développement folliculaire (Edson et al., 2009).....	5
<u>Figure 4.</u> Le cycle œstral chez la vache (Wattiaux, 2006).....	7
<u>Figure 5.</u> Le protocole de synchronisation et insémination artificielle des chaleurs à base de prostaglandines (Grimard et al., 2003).....	12
<u>Figure 6.</u> Le protocole CRESTAR SO, association de busérelène (RECEPTAL), implant norgestomét, prostaglandine PGF ₂ α (PROSOLVIN) et eCG (Picard-Hagen et al., 2005)...	14
<u>Figure 7.</u> Effets génétiques exploités pour l'amélioration génétique (Dezetter, 2015).....	24
<u>Figure 8.</u> Évolution des performances moyennes des vaches de race Prim'Holstein, Normande et Montbéliarde entre 2001 et 2015 pour la quantité de lait produite par lactation, le taux protéique, et le taux de réussite à l'insémination artificielle (Dezetter, 2015).....	27

Indice des Tableaux

Tableau 1. Les principales modifications histo-physiologiques au niveau de l'ovaire, de l'oviducte, de l'utérus et du vagin au cours du cycle sexuel (**Vaissaire, 1977**).....8

Tableau 2. La variation du pourcentage de vaches en chaleurs en fonction du nombre d'observation (**Haskouri, 2001**).....9

Introduction générale / Objectifs

La production laitière est un secteur stratégique de la politique agricole algérienne, car le lait et ses dérivées sont des produits ayant une place importante dans le modèle de consommation algérien. Sa production est assurée à hauteur de 80 % par le cheptel bovin, dont la production bovine laitière locale a été souvent négligée (**Bourbia, 1998**).

C'est ainsi que l'Algérie continue, comme depuis l'indépendance, à importer le lait sous forme de poudre, pour faire fonctionner ses usines de laiteries réparties à travers le territoire, pour arriver à mettre à la disposition du consommateur, ce produit de première nécessité, qui reste toujours soutenu. Surtout, durant ces dernières années, et même actuellement, avec la crise de la pandémie de Covid-19, laquelle a impacté la sécurité alimentaire, la nutrition et les moyens de subsistance dans le monde en perturbant la production, la transformation, le transport, la vente et la consommation des produits animaux (**FAO, 2020**).

De ce fait, la seule solution pour beaucoup de pays déficitaires en cette denrée, réside dans l'augmentation de la production laitière nationale. Ceci serait possible soit par l'importation de cheptel bovin laitier, de race pure, sous forme de génisses pleines, comme a été opérée souvent par notre pays, soit par l'amélioration de la rentabilité des races locales, ou encore par l'adoption combinée des deux solutions.

C'est dans ce sens, que l'office national interprofessionnel du lait (ONIL) a déclaré que l'Algérie aura besoin de 200000 têtes bovines laitières, qui produiraient en moyenne 6000 litres de lait chacune par an, pour couvrir les besoins de la population en ce produit (**ONIL, 2019**).

Néanmoins, ailleurs dans le monde, l'élevage moderne et donc intensif des animaux bovins d'élevage, a été assurément basé sur l'application de méthodes et techniques modernes pour développer et promouvoir les productions animales de rente. Et l'insémination artificielle dans ce sens, a été d'un apport considérable dans l'amélioration génétique et la maîtrise de la reproduction pour développer et intensifier l'élevage des vaches laitières (**Diop, 1993 ; Benlekhel et al., 2000 ; Hanzen, 2005 ; Gérard et al., 2008**). Pendant qu'en Algérie, l'insémination artificielle a été introduite à l'époque coloniale, bien que très ancienne, son utilisation dans nos élevages reste très limitée, malgré les efforts de sa maîtrise.

C'est dans cet ordre d'idées, que l'objectif de notre travail de recherche bibliographique a été orienté, pour essayer de voir l'impact de l'insémination artificielle sur les différents volets génétique, zootechnique, sanitaire et économique, chez la vache laitière.

I. Rappel anatomo-physiologique de l'appareil génital chez la vache

1. Rappel anatomique

Chez la vache, l'appareil génital est structuré principalement en Les ovaires, oviductes ou trompes utérines, utérus et vagin, en plus de la glande ammaire.

1.1. Les ovaires

L'ovaire est la glande génitale de la femelle (**Figure 1**). C'est un organe pair, et constitue la réserve des ovocytes formés pendant la vie embryonnaire (**Barone, 1978**). Il est pourvu d'une double fonction (œstrogène et progestérone) (**CUQ et AGBA, 1977**) : exocrine assurant la production de gamètes femelles et endocrine, commandant sous le contrôle du complexe hypothalamo-hypophysaire toute activité génitale par la sécrétion d'hormones sexuelles. Les ovaires sont situés en position latérale dans la cavité pelvienne et ont un poids variable selon l'âge de l'animal (1 à 2 g à la naissance, 4 à 6 g à la puberté et une quinzaine de grammes chez l'adulte) (**Hanzen, 1995**).

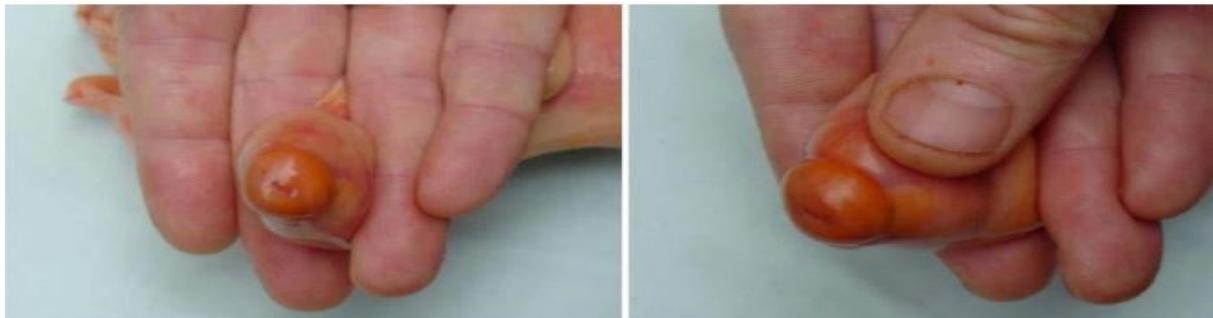


Figure 1. Préhension et palpation de l'ovaire (**Hanzen, 2010; Dellmann et Eurell, 1998**).

1.2. Les oviductes ou trompes utérines

L'oviducte ou trompe utérine ou trompe de Fallope ou salpinx est un petit canal flexueux de 20 à 30 cm de long, logé dans le ligament large près de son bord antérieur (**Figure 2**) (**Duplan, 1973**). Il a un triple rôle : captation de l'ovule au moment de l'ovulation, transport de l'ovule ou de l'œuf vers l'utérus, et modification des spermatozoïdes (capacitation) pour être aptes à fertiliser (**Deletang, 2004**).

1.3. L'utérus

L'utérus est l'organe de gestation. Il assure l'implantation de l'œuf, le développement embryonnaire et la parturition. Il est composé de deux cornes, d'un corps et d'un col ou cervix. Les cornes sont longues de 30 à 35 cm (**Parez et Duplan, 1987**).

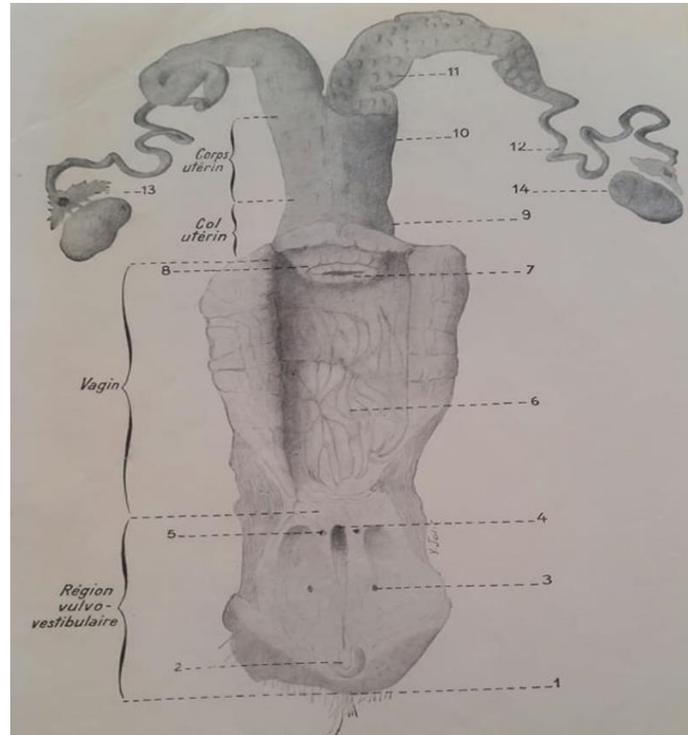


Figure 2. Appareil génital de la vache (**Duplan, 1973**).

1. commissure inférieure de la vulve ; 2. Clitoris ; 3. Orifice de la glande de Bartholin ; 4. Méat urinaire ; 5. Orifice de canal de Garner ; 6. Muqueuse du vagin ; 7. Ouverture vaginale du col ; 8. Étages de fleur épanouie et saillie vaginale du col ; 9. Col utérin ; 10. Corps utérin ; 11. Muqueuse cotylédonaire de la corne utérine ; 12. Oviducte ; 13. Pavillon et son ouverture ; 14. Ovaire.

Le col de l'utérus est plus long (**Garba et al., 2013**), et relie le corps de la matrice avec le vagin. Il se délimite à une extrémité par l'orifice interne de la matrice (côté corps de la matrice) et à l'autre extrémité par l'orifice externe de la matrice (côté vagin). Par ailleurs, l'utérus ou matrice est l'organe de gestation. Organe creux, il se compose de deux cornes, d'un corps et d'un col. Il est de type bipartitus chez les ruminants. Les deux cornes étant unifiées caudalement sur une petite portion ou corps utérin, isolé, l'utérus pèse en moyenne 400 g (200 à 550 g) (**Hanzen, 2004**). Le corps et le col sont en rapport dorsalement avec le rectum, ventro-caudalement avec la vessie, et dans le reste de leur étendue avec le jéjunum (**Barone, 1990**).

2. Rappel physiologique

2.1. La folliculogénèse

Le terme de Folliculogénèse définit l'ensemble des étapes du développement du follicule ovarien : de sa sortie de la réserve initiale, constituée lors du développement embryonnaire, jusqu'à sa rupture lors de l'ovulation ou de son atresie (**Drion et al., 1996**).

Ainsi, nous pouvons distinguer plusieurs et différents phases de croissance tels que : la multiplication, la croissance et la maturation, comme présenté dans la **Figure 3** et détaillé ci-après.

La phase de multiplication, mitotique des ovogonies, qui s'étend de 45 à 150 jrs de la vie intra-utérine, ainsi les ovaires contiennent jusqu'à deux millions d'ovogonies pendant la vie fœtale. Ainsi, sitôt la phase mitotique terminée, les ovogonies subissent alors une série de divisions qui s'arrêtent à la prophase méiotique entre le 4^{ème} et le 7^{ème} mois de la vie fœtale.

La phase de croissance, où on distingue selon **Edson et al. (2009)** ; **Monniaux et al. (2009)** et **(Norris et Lopez (2010))** :

Les follicules primordiaux : atteignent un diamètre de 60 à 80 nm et sont formés dès le développement fœtal. Une fois leur formation terminée, certains follicules poursuivront leur croissance, alors que d'autres ne le feront que plus tard dans la vie de l'individu.

Les follicules primaires : l'épithélium folliculaire évolue en passant d'une couche de cellules aplaties à une couche de cellules cubiques.

Les follicules secondaires : ce stade se caractérise par la présence de deux ou trois couches cubiques entourant l'ovocyte, ces cellules constituent la Granulosa.

Les follicules tertiaires : avec le développement de l'antra sous l'influence de la FSH. Des produits des sécrétions des cellules de la granulosa et de la thèque ainsi que les substances plasmatiques (acides aminés, lipides et autres petites molécules dérivant du plasma) diffusant à partir des capillaires de la thèque vont s'accumuler dans l'antrum. La formation de l'antrum va entraîner la ségrégation des cellules de la granulosa en deux types de cellules différents sur le plan anatomique et fonctionnel : les cellules murales de la granulosa et les cellules du cumulus entourant intimement l'ovocyte. La prolifération des cellules de la granulosa diminue et la croissance du follicule s'effectue essentiellement par l'augmentation du liquide de l'antra.

Le follicule mûr ou follicule de De Graaf : Il représente la phase terminale du développement folliculaire et atteint alors le stade pré-ovulatoire. Au moment de l'ovulation,

le follicule de De Graaf répond au pic de LH en libérant l'ovocyte dans le tractus génital avant d'évoluer lui-même en corps jaune ou corpus luteum.

La phase de maturation : avec les modifications cytologiques, permettant l'acquisition par l'ovocyte de l'aptitude à être reconnu et fusionné avec un spermatozoïde.

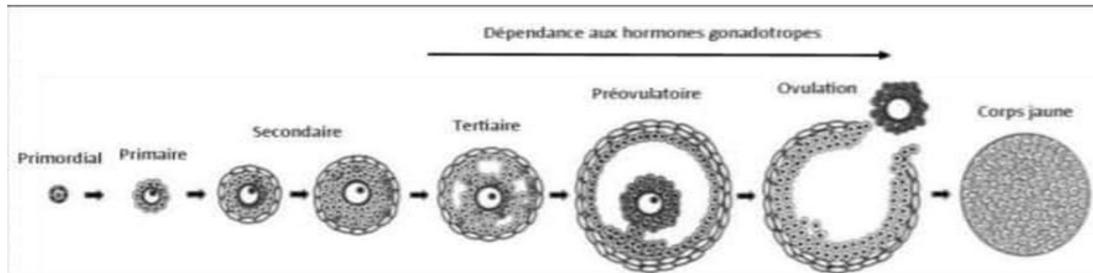


Figure 3. Schéma des stades de développement folliculaire (Edson *et al.*, 2009).

2.2. L'ovulation

L'ovulation est l'émission du gamète femelle. Ce phénomène est précédé quelques jours avant par un comportement spécifique : le comportement d'œstrus qu'on résume souvent par le terme « œstrus ». Selon les espèces, le comportement d'œstrus peut se poursuivre quelques heures après l'ovulation. Pendant la phase d'œstrus, la femelle développe une série de comportement pour attirer les mâles et elle accepte l'accouplement. Les femelles en œstrus montrent un comportement qui est similaire à celui des animaux en présence d'une grande quantité d'œstres ou de taons : agacement, fouaillage de la queue, etc. Le terme d'œstrus a été utilisé la première fois pour décrire la période du cycle où se déroule l'ovulation par Walter Heape dans son ouvrage dédié aux différents types de cycles reproducteurs chez les mammifères (Heape, 1900).

2.3. Régulations hormonales et contrôle de la sécrétion de la GnRH, LH et FSH

Le régulateur fondamental de la fonction reproductrice est la GnRH qui provoque la synthèse et la libération des gonadotropines (Drion *et al.*, 1996). Elle est sécrétée sous forme de décharges, provoquant la décharge de LH. La caractéristique fondamentale de la sécrétion des hormones hypothalamo-hypophysaires (GnRH, FSH, LH) est la pulsativité (Marie, 1996). La sécrétion de GnRH est régulée par des facteurs internes comprenant les stéroïdes ovariennes, la progestérone et l'œstradiol et cela suivant les besoins de chaque phase du cycle œstral (Drion *et al.*, 1996) et des facteurs externes (Armstrong *et al.*, 2002).

L'action de la GnRH sur l'hypothalamus, peut être influencée par des hormones spécifiques produites par le follicule, la plus intéressante est l'inhibine qui supprime la libération de FSH sans affecter la sécrétion de LH mais aussi l'activine qui stimule la synthèse de FSH (**Mermillod et Marchal, 1999**).

2.4. Le cycle sexuel

Les cycles ovarien et œstrien, sont deux composantes de l'activité sexuelle des vaches laitières, dont la cyclicité peut être caractérisée par le cycle sexuel. Pour ce dernier, il est commode de le définir comme étant l'ensemble des modifications au niveau de l'ovaire, des voies génitales et du comportement, qui se succèdent du début d'un œstrus au début de l'œstrus suivant (**Batellier et al., 2011**).

Le cycle ovarien : se décompose en deux phases : une phase folliculaire, de 4 j, qui se caractérise par la lutéolyse ou destruction du corps jaune et une augmentation du taux d'œstrogènes. Pendant que l'ovulation et la formation du corps jaune marque le passage à la phase lutéale qui dure 17 jours, caractérisée par un taux élevé de progestérone et par la sélection et la différenciation de follicules tertiaires en follicules cavitaires (**Cauty et Perreau, 2009**).

Le cycle œstrien : se divise en quatre phases :

L'œstrus (J0) : et la période de vraies chaleurs, et donc de réceptivité sexuelle de la vache, qui marque le 1^{er} jour d'un cycle œstrien (**Figure 4**) (**Wattiaux, 1996**). Au cours de cette phase, le follicule de « De Graaf » mûrit, est le dernier stade du follicule ovarien qui va libérer l'ovocyte lors de l'ovulation. La durée de cette phase est très variable, mais il est communément admis qu'elle est comprise entre 6 et 14 h en moyenne (**Giroud, 2007**).

Le metœstrus (J1 à J3) : au cours de cette période le follicule de « De Graaf » finit sa maturation, puis l'ovulation aura lieu 10 à 12 h après le début de cette période. L'ovocyte est pondue par le follicule de « De Graaf », qui se transforme en corps jaune. Ce dernier atteint sa taille maximum 8 à 18 j après les chaleurs. Il produit la progestérone, qui prépare l'utérus à recevoir un éventuel fœtus. Cette période dure en moyenne 72 h (**Giroud, 2007**).

Le di-œstrus (J4 à J18) : est caractérisé par la présence d'un ou de plusieurs corps jaunes. En absence de fécondation, le corps jaune régresse, la vache retourne en proœstrus. Ainsi on marque le début d'un nouveau cycle.

Le pro-œstrus (J19 à J21) : cette phase de préparation à l'œstrus est caractérisée par la chute du taux de progestérone et par une production maximale d'œstrogènes. Sa durée est en moyenne de 10 h. Elle marque l'émergence d'un nouveau follicule dominant qui va se transformer en follicule de « De Graaf » au cours de l'œstrus (Giroud, 2007 ; Bruyere, 2009).

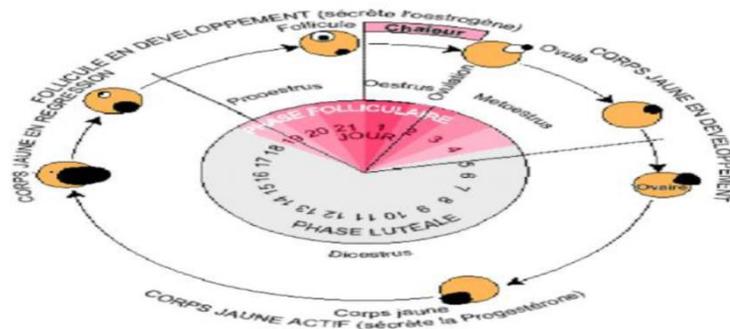


Figure 4. Le cycle œstral chez la vache (Wattiaux, 2006).

II. Les chaleurs et leur détection chez la vache

1. Les chaleurs : définition, signes et modification histologique et comportementale

Les chaleurs est un comportement particulier d'une femelle correspondant à une période pendant laquelle, elle accepte l'accouplement avec un mâle et peut être fécondée (Lacerte *et al.*, 2003). Cette période est caractérisée par la monte qui se produit normalement chez les génisses pubères et les vaches non gestantes. Elle dure de 6 à 30 h et se répète en moyenne tous les 21 jours (18 à 24 j) (Wattiaux, 2006). Comme elle peut connaître plusieurs types de modifications de type comportemental, par le développement de signes de chaleurs, de type hysto-physiologique au niveau du tractus génital ou encore de type hormonal.

Signes de chaleurs et modification de comportement : au cours de l'œstrus chez la vache, la vulve est congestionnée, un mucus filant et transparent s'écoule entre les lèvres vulvaires, augmentation de l'activité et du comportement agressif, immobilité, anorexie, diminution de la production lactée, mictions fréquentes, beuglement, renflement et léchage de la région vulvaire d'autres animaux, la vache frotte son menton sur la croupe d'un partenaire et le chevauche (Hanzen, 2009).

Modifications histologiques au niveau du tractus génital : selon Vaissaire (1977)

plusieurs modifications histo-physiologiques dans les différentes portions du tractus génital et pendant chaque phase du cycle œstral chez la vache, peuvent être observées comme détaillé dans le (Tableau 1).

Tableau 1. Les principales modifications histo-physiologiques au niveau de l’ovaire, de l’oviducte, de l’utérus et du vagin au cours du cycle sexuel (Vaissaire, 1977).

Organes	Pro-œstrus	Œstrus	Post-œstrus	Di-œstrus
Ovaires	Augmentation de volume	Ramollissement Follicule mur Facilement palpable par exploration rectale	Début du développement du corps jaune décelable à la palpation	CJ arrive à sa période d'état (vésicule molle L=2 à 3 cm)
Oviductes	Congestion cellules épithéliales hautes et ciliées	Congestion ++Cellules ciliées se multiplient	1-2 j : cellules épithéliales de 44um	
Utérus	Turgescence épithélium cylindrique sécrétion tonus de myomètre	Muqueuse tuméfiée, rouge Sécrétion +++ Rigidité et contractilité col ouvert Glaire cervicale	Epithélium glandulaire nombre élevé de cellules ciliées	Grand développement des glandes utérines faible nombre de cellules ciliées
Vagin	Hyperémie +++ Leucocytes	Dilatation sécrétion +++ Elasticité maximale Cellules épithéliales	Grandes cellules épithéliales Ecoulement sanguinolent	Congestion Cellules basophiles

Modification hormonale : sur les plans hypothalamique, hypophysaire et ovarien.

L'hormone hypothalamique GnRH : en période pré-ovulatoire, l'hypophyse est insensible à l'action de la GnRH, ce qui entraîne l'arrêt de la sécrétion ultérieure de LH et FSH (Bousquet, 1989).

Les hormones hypophysaires FSH et LH : la courbe de sécrétion de FSH au cours du cycle œstral montre deux pics, l'un accompagne le pic de LH et le second un peu plus tard, sous l'effet de l'inhibine. La sécrétion de LH se caractérise par un pic quelques heures après le début de l'œstrus, elle agit en synergie avec la FSH (Bousquet, 1989).

Les hormones ovariennes : le taux des œstrogènes augmente considérablement en fin de cycle et atteint son maximum au début de l'œstrus, au moment du pic de la LH puis décroît rapidement. La progestérone est sécrétée par le corps jaune, son taux circulant augmente au début du cycle œstral et diminue en à sa fin en cas de non gestation (Buffiere, 1972).

2. La détection des chaleurs : intérêts et méthodes de détection

La brièveté des chaleurs impose à l'éleveur une grande vigilance pour la détection de celle-ci, car un cycle raté, fait perdre 3 semaines et ne permet plus d'obtenir un vêlage par an comme cela est souhaitable dans un élevage bien conduit (Hanzen, 2006).

C'est dans ce sens, que plusieurs méthodes de détection des chaleurs, ont été développées.

L'observation visuelle (par l'éleveur) : qui repose sur l'observation des signes particuliers de chaleurs et la modification du comportement de la vache. Elle doit être faite par des personnes qui connaissent bien le troupeau, dont les vaches doivent avoir une identification correcte (Tableau 2).

Tableau 2. La variation du pourcentage de vaches en chaleurs en fonction du nombre d'observation (Haskouri, 2001).

Nombre d'observations	% des vaches en chaleurs
Une fois par jour	60 %
Deux fois par jour	70 %
Trois fois par jour	80 %
Quatre fois par jour	100 %

L'observation doit avoir lieu à des moments où le troupeau est calme, en dehors des périodes de distribution d'aliments ou des traites, soit au minimum 2 fois / j, d'une durée de 30 minutes pour chaque observation et à 12 h d'intervalles. Les moments les plus propices sont le matin avant la traite et le soir après la traite (**Haskouri, 2001**).

L'animal détecteur : Ce sont des animaux présents dans le troupeau pour détecter puis marquer les vaches en chaleur à l'aide d'un licol marqueur ou par suite du port de puce électronique qui lors d'un chevauchement, transmet un signal radio au lecteur qui enregistre le numéro de la femelle chevauchée ainsi que l'heure du chevauchement. Les données sont alors transmises à une unité centrale où elles sont analysées (**Giroud, 2007 ; Bruyere, 2009**).

Ainsi, plusieurs types d'animaux sont utilisés : une taure, une vache androgénisée, une vache nymphomane ou un taureau avec déviation du pénis, pour 30 vaches laitières. Le taux de détection se situerait entre 70 et 90 %, avec une période d'observation par jour (**Giroud, 2007 ; Bruyere, 2009**).

Les systèmes de marquage (détecteurs de monte) :

Crayons marqueurs : cette technique est très économique. Il s'agit de marquer la base de la queue des vaches susceptibles de venir en chaleur où elle peut être effacée par un éventuel chevauchement. Une vache est ainsi considérée en chaleur lorsque la bande colorée est largement enlevée ou étalée. Il s'agit d'un dispositif peu onéreux mais dont la durée de vie est relativement courte (**Giroud, 2007 ; Bruyere, 2009**).

Détecteurs mécaniques de chevauchement : c'est un dispositif contenant une poche rempli d'encre rouge fluorescent, qui peut être utilisé la nuit, que l'on colle sur la croupe de la femelle. Sous la pression d'un chevauchement, le réservoir éclate et l'encre diffuse dans toute la capsule qui ainsi se colore. Deux détecteurs sont principalement répandus : Kamar® et OestruFlash® (**Giroud, 2007 ; Bruyere, 2009 ; Rao et al., 2013**).

Détecteurs électroniques de chevauchement : une base en textile est posée sur la croupe de la vache. En introduisant un détecteur électronique pré-réglé qui se déclenche au bout d'un certain nombre de chevauchements. S'il clignote toutes les 10 secondes, cela indique que la vache a accepté le chevauchement et qu'elle est en chaleur (**Giroud, 2007**).

Système d'enregistrement de l'activité physique : étant donné que les vaches en chaleurs sont plus agitées et bougent davantage, leur schéma d'activité change. Deux types de systèmes d'enregistrement de l'activité physique existent actuellement :

Des dispositifs s'attachant au collier de l'animal : l'activimètre de Laval analyse le comportement des vaches, en collectant les données d'activité et les transmettant au système

ALPRO ®. Selon une étude réalisée par (**Peralta et al., 2005**) sur 255 vaches laitières, ce système a permis de détecter 37,2% des chaleurs.

Des podomètres : qui sont actuellement les dispositifs les plus utilisés depuis les années 80. Les podomètres sont constitués d'une coque en plastique s'attachant aux pattes de l'animal et contenant une bascule au mercure qui enregistre les mouvements et mesurent leur activité. Ces mouvements sont traités par un logiciel et comparés avec la moyenne du troupeau. Ainsi, l'analyse des données du podomètre peut être réalisée selon deux technologies : la technologie IAR (**Increased Activity Ratio**) et l'IAC (**Increased Activity Count**) (**Giroud, 2007**).

Les mesures de résistance électrique vaginale : l'augmentation de l'hydratation du mucus et du tractus vaginal suite à une augmentation des concentrations d'œstradiol est le signe qu'une vache est en chaleur. Ce qui en résulte des modifications de la résistance électrique des tissus et des sécrétions de l'appareil génital, qui est minimum au-cour de l'œstrus et plus précisément lors du pic pré-ovulatoire de LH. Pour qu'un tel changement puisse servir à l'identification des vaches en chaleur, plusieurs fabricants ont proposé des appareils tels que : l'électrode bipolaires et la sonde Ovatec® (**Saumande, 2000 ; Bruyere, 2009**).

Le dosage de la progestérone : en comparant le niveau de progestérone au jour de l'insémination avec celui au jour 22-24 après insémination, on peut savoir avec 95% d'exactitude si l'animal est en chaleur : le niveau de progestérone devient bas (**Lacerte, 2003**).

Ainsi, pour chaque méthode, le coût-avantage est à évaluer selon les objectifs de l'élevage. Un compromis propre à l'élevage doit être trouvé entre sensibilité et spécificité (**Disenhaus et al., 2010**). Dans le même sens, il y a lieu de signaler, l'existence de plusieurs facteurs responsables d'un manque d'efficacité à détecter les chaleurs ; comme ceux liés à l'éleveur tels que : le temps alloué quotidiennement à observer les chaleurs lequel parfois est inadéquat et mal réparti, car la monte dure 10 secondes ou moins (**Haskouri, 2001**), ou ceux liés à l'animal dont les principaux facteurs incriminés qui réduisent le nombre de chevauchements et la durée de chacun de ces derniers sont la parité, la génétique (**Gwazdauskas et al., 1983**), la production laitière (**Van eerdenburg et al., 2002**), l'état corporel et l'état de santé (**Ponsart et al., 2006**).

3. La synchronisation des chaleurs

La maîtrise des cycles sexuels est un ensemble de techniques visant à regrouper les chaleurs (provoquer l'œstrus à une même période chez un nombre de femelles) de manière à planifier, contrôler et programmer toutes les étapes de la reproduction à des moments propices pour l'éleveur (**Derivaux et Ectors, 1989**). Ceci pour plus d'un objectif, parmi lesquels, une augmentation du nombre de veaux nés par vache et par an. Le regroupement des chaleurs, la réduction d'utilisation de la main d'œuvre, l'induction d'ovulation chez les femelles non cyclées, la limitation des effets néfastes de la sous-alimentation hivernale sur l'intervalle vêlage-ovulation et le choix de la saison de naissance des veaux (**Fournier et al., 2004**).

Méthodes et moyens d'induction et de synchronisation des chaleurs chez la vache : généralement sont utilisées des moyens et méthodes médicaux comme détaillé ci-après.

La prostaglandine ou ses analogues : le principe de ce protocole est basé sur l'effet lutéolytique de la PGF₂α, laquelle est responsable de la régression du corps jaune et l'arrêt de la sécrétion de la progestérone. Elle est utilisée pour synchroniser les femelles cyclées présentant un corps jaune à la palpation transrectale (**Chastant Maillard et al., 2005**). Les protocoles de synchronisation conseillés comprennent 2 injections à 11 jours d'intervalle chez les génisses et 14 jours chez les vaches (**Hanzen et al., 2003a**), toutes les femelles étant alors en phase de di-œstrus au moment de la 2^{ème} injection. La plupart des femelles expriment des chaleurs entre 48 et 96 h après l'arrêt du traitement et peuvent être inséminées systématiquement (**Figure 5**) (**Grimard et al., 2003**).

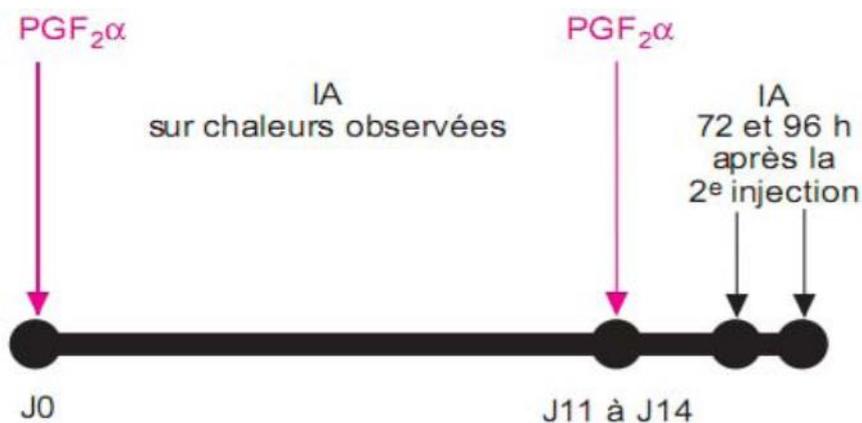


Figure 5. Le protocole de synchronisation et insémination artificielle des chaleurs à base de prostaglandines (**Grimard et al., 2003**).

Cependant, la synchronisation n'est pas optimale car le pourcentage de vaches en œstrus dans les 5 à 7 jours varie de 37 à 97% (Odde, 1990 ; Laverdière, 1994). Pour (Mialot *et al.*, 1998), seules 60% des vaches laitières étaient en chaleurs, 72 et 96 h après 2 injections de PGF2 α à 11 jours d'intervalle. En effet, si les PGF2 α agissent sur la durée de vie du corps jaune, elles n'ont pas d'effet direct sur la croissance folliculaire. Au moment de la lutéolyse, le follicule dominant présent sur l'ovaire n'est pas à un stade précis de développement, ce qui explique l'étalement des chaleurs après traitement (Mialot *et al.*, 1999 ; Driancourt, 2001).

Le protocole GPG (GnRH-PGF2 α -GnRH) : ce protocole est une application des nouvelles connaissances concernant les vagues folliculaires. Il permet la venue d'une nouvelle vague folliculaire puis de l'ovulation. Il est divisé en trois étapes, à J0 une première injection de GnRH provoque l'ovulation et la lutéinisation de tout follicule dont la taille est supérieure à 10 mm, à J7 une injection de PGF2 α lyse le corps jaune secondaire, à J9, une seconde injection de GnRH permet d'obtenir une meilleure synchronisation de l'ovulation qui est déclenchée ; et la fertilité semble optimum si l'insémination se fait 16 à 20 heures après la dernière injection (CHastant-Maillard *et al.*, 2005).

La progestérone ou les progestagènes dont la spirale vaginale et l'implant sous cutané

La spirale vaginale : les dispositifs utilisés sont le PRID (Progesterone Releasing Device) et le CIDR (Controlled Internal Drug Release), ils sont imprégnés de la progestérone naturelle et indiqués pour la synchronisation des chaleurs chez les bovins cyclés. La pose se fait à l'aide d'un applicateur sur lequel le dispositif est placé. La progestérone passe dans le sang et joue le rôle de corps jaune, et peut entraîner l'atrésie du follicule dominant et le redémarrage d'un nouveau cycle. A J7 on fait retirer le dispositif et injecter la PGF2 α afin de lyser le corps jaune éventuellement présent sur l'ovaire si le traitement a été instauré en début de phase lutéale. Le processus de lutéolyse est très rapide et la sécrétion de progestérone décroît en moins de 24 heures jusqu'à son niveau basal ; des pics de LH augmentent permettant la maturation finale du follicule dominant ainsi que l'ovulation d'un ovocyte (Chenault *et al.*, 2003)

L'implant sous cutané : ce protocole est représenté par le CRESTAR SO (Figure 6) qui associe une injection de GnRH de synthèse (buséreliné). Au moment de la mise en place de l'implant sous-cutané de norgestomet (progestagène), une injection de prostaglandine PGF2 α

est réalisée 48 heures avant le retrait de l'implant ; s'il s'agit de femelles non cyclées, l'ECG est injectée le jour du retrait et l'insémination a lieu 48 heures après le retrait (**Ballery, 2005 ; Picard-Hagen *et al.*, 2005**). La buséréline entraîne chez les femelles cyclées comme chez les non cyclées, la formation d'un corps jaune secondaire. Car elle fait ovuler les follicules sensibles à la LH et une nouvelle vague émerge dans les 3 à 4 jours. Les vagues folliculaires sont de ce fait synchronisées, et c'est le follicule dominant de cette nouvelle vague qui ovule après le retrait du dispositif progestagène (**Lane *et al.*, 2001**).



Figure 6. Le protocole CRESTAR SO, association de buséréline (RECEPTAL), implant norgestomet, prostaglandine PGF₂ α (PROSOLVIN) et eCG (**Picard-Hagen *et al.*, 2005**).

III. L'insémination artificielle

1. Définition et historique

L'insémination artificielle est la biotechnologie de maîtrise de la reproduction la plus utilisée dans le monde. En effet, elle est considérée comme la première génération des biotechnologies animales (**Diop, 1993**).

Elle consiste à déposer à l'aide d'un instrument approprié et au moment le plus opportun, la semence du mâle dans la partie la plus convenable des voies génitales femelles sans qu'il y ait un acte sexuel (**Hanzen, 2005**). Là où d'autres opérations techniques en amont de la mise en place, vont de la récolte à la conservation de la semence, en passant par des examens (macroscopiques et microscopiques), la dilution, et le conditionnement. Ceci, dans le cas échéant, et c'est généralement le cas, en plus de l'opération d'induction et de synchronisation des chaleurs et donc des inséminations artificielles, des femelles, comme a été développé antérieurement dans le présent mémoire.

Les premiers essais d'insémination artificielle eurent lieu en début du 19^{ème} siècle, mais ce n'est que dans les années 1950 qu'une large diffusion commerciale en fut faite, suite à la découverte de techniques de congélation des semences de bovins (**Ian Lewis et al., 1996** cité par **Laminou (1999)**). En Afrique, les premiers essais ont été réalisés au Kenya et en Afrique du sud par l'équipe d'Anderson (**Anderson, 1954**) cité par **Mbaindingatoloum (1982)**. Ces essais ont été introduits en Afrique de l'Ouest et du Centre dans les années 1990 par l'équipe du Professeur Pape Hassan Diop (**Diop, 1993**). Au Sénégal, l'insémination artificielle prend un essor particulier dans le bassin arachidier en 1994 avec le PAPEL dans le but d'améliorer le niveau de production laitière des races locales (**Laminou, 1999**).

2. Avantages et inconvénients

Avantages : ils sont d'ordre génétique, zootechnique, sanitaire et économique.

Selon **Diop (1993)**, l'insémination artificielle est un instrument indispensable au progrès génétique. Considérée comme l'un des outils de diffusion du matériel génétique performant, elle est appliquée principalement pour assurer l'amélioration génétique rapide et sûre des animaux domestiques (**Benlekhel et al., 2000**). Cette technique est la seule qui permet à la fois l'exploitation rationnelle et intensive et une plus large diffusion de la semence des millions de géniteurs testés pour leurs potentialités (**Haskouri, 2001**). Comme elle offre à l'éleveur les meilleures garanties de diffusion du progrès génétique sans risque de contamination adossée à un dispositif sanitaire rigoureux (**Gérard et al, 2008**). En effet,

l'insémination artificielle évite la dissémination des maladies de l'appareil génital d'une part, en supprimant l'accouplement d'autre part, en raison de contrôles sanitaires très sévères imposés aux mâles utilisés. Ainsi, l'insémination artificielle est un outil de prévention de propagation de maladies contagieuses et/ou vénériennes, grâce au non contact physique direct entre la femelle et le géniteur, telles que la brucellose, le trichomonas. Ainsi, l'addition de l'antibiotique, dans la préparation des dilueurs, ajoute un élément de garantie supplémentaire. En plus, du contrôle des pathologies grâce aux normes sanitaires strictes exigées dans le centre producteur de semence, lequel permet de réduire considérablement le risque de transmission de ces agents par voie mâle (**Ahmed, 2002**).

Par ailleurs, l'achat et l'entretien d'un taureau demandent la mobilisation d'un capital assez important et d'un entretien coûteux, pendant que l'insémination artificielle entraîne l'augmentation de la productivité du taureau, au même temps, elle rend possible son remplaçant par une vache (**Wattiaux, 1996**). Ainsi, il y a diminution du nombre de mâles à utiliser en reproduction et leur valorisation en production de viande. En parallèle, il peut y avoir une amélioration de la productivité du troupeau (lait, viande) qui se traduit par l'amélioration du revenu de l'éleveur. En effet, cet aspect est particulièrement perceptible chez les animaux croisés (obtenu par l'insémination artificielle des vaches locales) dont la production s'améliore de 100 % par rapport au type local. C'est ainsi donc, que l'insémination artificielle permet une économie dans le nombre de taureaux utilisé, une meilleure concentration des moyens mis en œuvre par la sélection, et un contrôle génétique plus poussée des lignées, dont la conservation du sperme à basse température, permet une plus large utilisation de leur semence à la fois dans le temps et dans l'espace (**Parez et Duplan, 1987 ; Webb, 1992**).

Inconvénients : En effet, malgré les multiples avantages et intérêts, l'insémination artificielle présente comme même certains inconvénients tels que : la nécessité d'une bonne technicité dans les centres d'insémination artificielle ; une quelconque erreur lors de la préparation de la semence, peut avoir des répercussions importantes sur le cheptel. Les éleveurs doivent avoir une bonne expérience pour détecter les vaches en chaleurs. L'insémination artificielle des vaches non observées en chaleurs entraîne non seulement une infertilité mais peut causer une endométrite et l'avortement si la vache est gestante. La présence d'agents infectieux non détruits par les antibiotiques ajoutés à la semence (sperme congelé contenant le virus IBR/IPV) peut être à l'origine de pathologies (**Hanzen, 2004**).

3. Récolte, évaluation et préparation de la semence

La récolte du sperme : s'effectue au moyen du vagin artificiel ou de l'électro-éjaculateur.

Le vagin artificiel simule les conditions naturelles du vagin de la vache. Au moment de la récolte, la température du vagin artificiel doit être d'environ 40 à 42 °C. Les températures extrêmes sont comprises entre 38 et 52°C. La pression est assurée par insufflation de l'air par l'orifice du robinet. La lubrification doit être faite par une substance insoluble dans le plasma séminal et non toxique (**Soltner, 2001**).

Pendant que pour l'électro-éjaculateur, c'est une méthode permettant d'obtenir le prélèvement de la semence à partir du taureau sans intervention des mécanismes normaux, sensoriels et psychiques de l'éjaculation. L'appareil utilisé se compose d'un transformateur, d'un rhéostat, d'un voltmètre et d'une électrode bipolaire de dimension adaptée à l'espèce considérée. Après contention de l'animal, l'électrode lubrifiée est introduite dans le rectum vidé, puis on fait passer une série de stimulations répétées en augmentant progressivement l'intensité selon les instructions du fabricant, jusqu'à érection complète et éjaculation. Le sperme est recueilli par un appareil de récolte (**Haskouri, 2001**).

L'évaluation du sperme : s'effectue selon deux types d'examen, macroscopique et microscopique.

Examen macroscopique :

Volume : l'éjaculation moyenne est de 4 à 5 cm³. On le détermine directement dans le tube (**Derivaux, 1971**).

Couleur : la couleur classique du sperme est blanchâtre bien que certains taureaux aient une semence de couleur jaunâtre liée à la teneur de la ration en carotène. Cependant, une coloration jaunâtre peut être également anormale dans la mesure où elle peut être révélatrice de la présence de pus ou d'urine dans le sperme. Une coloration rosée évoque la présence du sang en nature dans l'échantillon, et peut signer une lésion urétrale ou de la verge. Une coloration brunâtre est le signe d'une affection du tractus génital engendrant une hémorragie (**Hanzen, 2009**). Tout échantillon avec une coloration anormale sera éliminé et une exploration devra être envisagée afin de caractériser l'origine de cette anomalie (**Cabannes, 2008**).

Examen microscopique : dont les principaux tests sont la mobilité, la normalité acrosomique, et l'endosmose positive.

Mobilité : de deux types, massale et individuelle. La première (massale) est effectuée à partir de sperme pur, dans les 10 mn qui suivent la récolte. Le matériel nécessaire se compose

d'une lame préalablement chauffée à 37 °C et d'un microscope à platine chauffante. L'opérateur dépose une goutte de sperme à la surface d'une lame. La motilité massale est notée de 0 à 5. Un sperme dont la motilité massale est inférieure ou égale à 3 est généralement éliminé. Pendant que la seconde (l'individuelle), elle correspond à la proportion de spermatozoïdes avec un mouvement rectiligne qui traversent le champ du microscope. Les spermatozoïdes bougeant sur place, tournant en petits cercles ou se déplaçant en arrière du fait d'une queue repliée ne sont pas considérés comme mobiles (**Gérard et Khirredine, 2002**).

La normalité acrosomique et l'endosome positive : deux autres tests essentiels ayant une relation avec la qualité de la semence et les taux de fertilité, réalisés sur semence diluée pour évaluer, respectivement, le pourcentage d'acrosomes normaux et l'intégrité de la membrane plasmique des cellules spermatiques (**Benyounes, 1997**).

La dilution du sperme : a pour but d'accroître le volume total de la masse spermatique, d'assurer un milieu favorable à la survie des spermatozoïdes in vitro et de réaliser à partir d'un seul éjaculat l'insémination d'un grand nombre de femelles (**Hanzen, 2008**). Le taux de dilution des gamètes pratiqué au moment de l'insémination est susceptible de modifier le pourcentage de fécondation. Les expériences sur la conservation de la fertilité des gamètes après dilution montrent que ce sont surtout les spermatozoïdes qui sont affectés par la dilution. C'est ainsi que le pouvoir fécondant du sperme peut se conserver après dilution pendant plusieurs dizaines de minutes bien que la durée de motilité des spermatozoïdes ne dépasse pas 1 mn (**Billard et Jalabert, 1974**). C'est ainsi qu'un bon milieu de dilution doit répondre à un certain nombre de critères tels que : la non toxicité pour les spermatozoïdes (pression osmotique, équilibre électrolytique, pouvoir tampon) ; l'apport énergétique pour les spermatozoïdes ; le pouvoir protecteur à l'égard des variations de l'environnement (température, lumière) ; la facilité de préparation ; la limitation du développement microbien ; et un prix de revient acceptable (**Parez et Duplan, 1987**).

Le conditionnement et la conservation de la semence :

Semence fraîche : elle ne peut être utilisée que dans un délai maximum de 3 jours et elle est conservée à 5 °C (**Fall, 1995**). Il faut éviter le choc thermique en faisant baisser la température de 5 °C toutes les 10 mn, entre 37 °C, 22 °C et 5 °C toutes les 5 mn jusqu'à 5 °C.

➤ ***Semence congelée*** : la congélation est une méthode de conservation qui a révolutionné l'insémination artificielle. En effet, elle a permis une diffusion large et facile de la semence aussi bien dans le temps que dans l'espace. La méthode utilise l'azote liquide dans laquelle la semence est conservée à -196 °C. Cette conservation est rendue possible grâce à l'action cryoprotectrice de certains produits tels que le glycérol. Cette méthode peut permettre la

conservation des semences pendant 20 ans si les paillettes restent immergées dans l'azote liquide (**Goffaux, 1991**). En effet, une fois refroidi, le sperme sera conditionné le plus souvent en paillettes voire en ampoules de verre ou de plastique ou en pellets. Classiquement trois types de paillette sont utilisés. Elles ont toutes une longueur de 133 mm. La paillette grosse a un diamètre compris entre 3,8 et 4,2 mm et un volume de 1,2 ml. La paillette moyenne a un diamètre compris entre 2,5 et 2,8 mm et un volume de 0,5 ml. La paillette fine (la plus utilisée) a un diamètre compris entre 1,7 et 2,2 mm et un volume utile de 0,25 ml. Ces paillettes sont constituées d'un cylindre de chlorure de polyvinyle dont une extrémité est obturée au moyen de deux étoupes de gaze entourant un bouchon de matière pulvérulente : l'alcool polyvinylique. Ce dispositif servira de piston lors de l'insémination. L'autre bout est libre et servira au remplissage de la paillette. Les paillettes sont de couleurs différentes pour en faciliter l'identification. Celle-ci se trouve complétée par l'impression sur le corps de la paillette du nom du taureau, de son numéro d'identification, de la date de récolte et de l'identification du centre d'insémination (**Hanzen, 2015/2016**).

4. L'insémination artificielle proprement dite : moment, procédé et lieu de dépôt de la semence

Moment : l'insémination doit être pratiquée à un moment assez proche de l'ovulation. Si l'on admet que la durée de l'œstrus est de 12 à 24 heures, que l'ovulation a lieu 10 à 12 heures après la fin de l'œstrus et que les spermatozoïdes doivent séjourner pendant environ 6 heures dans les voies génitales femelles (phénomène de capacitation), le meilleur moment pour obtenir une insémination fécondante est la deuxième moitié de l'œstrus (**Haskouri, 2001**). Dans le même sens **Diop (1994)** conseille de réaliser des inséminations 9,5 + 3,5 heures après le début des chaleurs. Dans la pratique, les vaches reconnues en chaleurs le matin sont inséminées le lendemain matin (**Broners, 1995**). Par ailleurs, cette insémination doit de préférence être réalisée pendant les périodes fraîches de la journée. Cependant **Ouedraogo et al. (1996)** ont révélé la nécessité de considérer le génotype du bovin, avant de choisir le moment optimal pour l'insémination artificielle.

Procédé : la semence en pastilles est décongelée dans l'eau tiède (35- 37 °C) pendant 15-30 secondes. Puis elle est introduite dans le pistolet de CASSOU ; le bout thermosoudé vers l'avant est sectionné, et le pistolet est revêtu d'une gaine plastique puis d'une chemise sanitaire. Dans sa réalisation, une main gantée saisit le col de l'utérus par la voie rectale pendant que l'autre main saisissant le pistolet de « CASSOU » et l'introduit au travers des lèvres vulvaires ; le col de l'utérus est ainsi cathétérisé et la semence est déposée au niveau du

corps utérin. Les replis vaginaux sont évités en poussant le col tenu de la main vers l'avant avec des mouvements de haut en bas et sur les côtés (**Craplet cité par Laminou, 1999**).

Lieu de dépôt de la semence : chez les bovins, le dépôt de la semence peut se faire à différents endroits tels que le cervix (jonction utéro-cervicale, mais une bonne partie de la semence se trouvera dans le vagin à cause des mouvements rétrogrades) ; le corps utérin (en arrière du col utérin, qui est le lieu d'élection préférentiel) ; ou les cornes utérines (cela présente plus de risques de traumatismes et d'infection de l'utérus) (**Bizimungu, 1991**).

5. Evaluation des résultats de l'insémination artificielle

Ceci est rendu possible grâce au développement et à la maîtrise des différents types de méthodes et de tests de diagnostic de gestation, comme détaillé ci-après.

Les méthodes cliniques :

Le non-retour en chaleurs : le retour en chaleurs des femelles 3 semaines après l'insémination est le signe le plus fréquent d'une non gestation. C'est un diagnostic précoce, utilisable avant 1 mois de gestation; et consistant à observer les chaleurs entre le 18^{ème} et le 23^{ème} jour après l'insémination artificielle. Mais c'est un moyen peu fiable (existence de chaleurs silencieuses chez beaucoup de races bovines locales, et des femelles gestantes peuvent aussi présenter des manifestations de chaleurs). Pendant que, un non-retour en chaleurs ne signifie pas toujours une gestation, car cela peut correspondre à un anœstrus ou à un cas pathologique (**Thiam, 1996**).

La palpation transrectale : elle est souvent dite examen de confirmation du fait qu'elle permet de mettre en évidence les mortalités embryonnaires tardives. Elle est possible dès le 40^{ème} jour (6 semaines) chez les génisses et le 50^{ème} jour (7 semaines) chez les vaches (**Hanzen, 2004**). Dans le même sens, le diagnostic de gestation des vaches inséminées a été posé au 60^{ème} jour post insémination artificielle pour la même méthode. Les vaches diagnostiquées vides à la première insémination artificielle sont aussitôt reprogrammées pour une autre campagne d'insémination (**Blagnaet al., 2017**).

Les méthodes biochimiques :

Le dosage de la progestérone : il s'agit d'un diagnostic précoce de non gestation. La technique consiste à estimer les taux de progestérone dans le sang ou dans le lait. Elle est utilisable entre le 21^{ème} et 23^{ème} jour après insémination artificielle. Les vaches supposées gestantes ont un taux de progestérone qui se maintient à un niveau supérieur à 1 ng/ml dans le

sang et 3,5 ng/ml dans le lait. Un niveau inférieur à 1 ng/ml dans le sang ou 2 ng/ml dans le lait indique l'absence du corps jaune et exclut par conséquent la gestation (**Vandeplassche, 1985**).

Le dosage des protéines fœtales : cas du bPAG (**Chemli et al., 1996**) d'utilisation controversée en raison de sa rémanence, même après la mise bas ; et de la PSPB (**Humblot, 1988**) décelable dans la circulation périphérique des femelles gestantes vers le 30^{ème} jour (concentration voisine de 2 ng/ml).

Les méthodes biophysiques :

L'échographie : cette technique permet de confirmer avec certitude les gestations à partir du 35^{ème} jour soit au moins 10 à 15 jours plutôt que l'exploration transrectale. Par contre, son coût élevé entrave son utilisation courante chez les bovins (**Hanzen , 2004**).

L'effet Doppler : c'est une méthode par laquelle il est possible de percevoir les battements cardiaques du fœtus. Elle est d'application tardive et permet de mettre en évidence une gestation chez la vache à partir du 4^{ème} mois après la conception (**Mazouz, 1996**).

Qualité et critères de choix d'une méthode de diagnostic de gestation : dans ce sens, l'évaluation des différentes méthodes de diagnostic de gestation, nécessite d'établir un ensemble de critères objectifs qui soient mesurables (**Barbry, 2012**), tels que : la précocité ; la facilité d'utilisation ; la précision ; la spécificité ; la fiabilité ; et le faible coût.

IV. Etat de synthèse des principaux résultats, de l'insémination artificielle en tant que Biotechnologie de maîtrise de la reproduction, chez la vache laitière

L'amélioration génétique a pour but de produire un animal, avec un génotype lui permettant de produire le plus efficacement possible et de maximiser le profit de l'éleveur, tout en considérant les contraintes de l'environnement dans lequel l'animal réalise sa production. Cette amélioration des caractères n'est possible que par la sélection des animaux sur leurs valeurs génétiques additives.

Ainsi, l'amélioration génétique des animaux de rente, peut se faire en race pure ou bien par croisement. Elle peut se faire de deux manières :

- répartition dans le troupeau des caractères favorables de certains de ces animaux par la méthode de sélection,
- apport extérieur de caractères favorables par des animaux issus d'autres troupeaux ou des animaux améliorateurs en utilisant la méthode de croisement.

1. L'insémination artificielle et son effet sur la sélection et l'amélioration génétique

La sélection est le processus qui permet à certains animaux de se reproduire plus que d'autres, elle «consiste à favoriser la reproduction d'animaux qui possèdent des attributs supérieurs de façon à en propager les qualités au plus grand nombre» (Minvielle, 1998). En effet, la sélection animale est essentiellement basée sur le développement de la génétique et les autres disciplines scientifiques qui lui sont attachées (zootechnie, statistiques...). Elle consiste à identifier les meilleurs reproducteurs et à diffuser leurs allèles dans la population dans un but d'amélioration génétique. Cette diffusion peut se faire en race pure, le plus souvent pour des espèces peu prolifiques et à cycle long (bovins lait, bovins viande, ...).

C'est ainsi que les caractères à inclure dans un programme de sélection, sur lesquels il est possible de réaliser un progrès génétique rapide, doivent satisfaire les conditions suivantes : être facile à mesurer, avoir une grande variabilité, et posséder une héritabilité élevée (Boujenane, 2003).

1.1. Notions de races en productions animales

La notion de race est assez récente et correspond à une subdivision de l'espèce (ou d'une sous-espèce), regroupant des animaux qui présentent des caractéristiques héréditaires communes. Jusqu'au milieu du XVIIIe siècle, les éleveurs ont constitué leurs troupeaux par croisement et brassage via l'importation d'animaux ayant les caractéristiques souhaitées. Puis, à partir du milieu du XIXe siècle, les éleveurs ont orienté les populations animales vers un

idéal, la race pure, en constituant des populations locales dites fermées, c'est-à-dire non croisées avec des individus extérieurs. Cette notion de race se définissait par un standard correspondant principalement à des caractéristiques visuelles à déterminisme génétique simple (couleur, cornage, etc.). À la fin du XIXe et au début du XXe siècle, apparaissent les livres généalogiques par races (Herd-books). Dans la première moitié du XXe siècle se met en place les contrôles de performances (suivi des généalogies, de la production laitière...) qui vont fournir une base objective permettant une sélection rationnelle. Après la seconde guerre mondiale, avec l'intensification de l'agriculture, les races deviennent de plus en plus spécialisées. En France, on voit donc émerger quelques races dominantes qui sont particulièrement bien adaptées au marché. À partir de 1980, la sélection génétique s'intensifie, notamment grâce à la maîtrise des méthodes de reproduction artificielles et d'évaluations génétiques de plus en plus complexes permises par le progrès du numérique et par la maîtrise des outils de biologie moléculaire. À l'heure actuelle, en élevage bovin laitier, la race Prim'Holstein est la première race française en effectif, produisant en moyenne 9241 kg de lait par lactation (**Institut de l'élevage et conseil élevage de France, 2017**).

1.2. Principe de la sélection génétique intra-race

L'amélioration génétique repose sur deux grands types d'effets génétiques : les effets additifs et les effets d'interaction, comme illustré dans la **Figure 7 (Dezetter, 2015)**. Un individu ne transmet que la moitié de son patrimoine génétique et donc qu'un chromosome sur les deux chromosomes homologues de chaque paire. La somme des effets des gènes transmis à la descendance s'appelle la valeur génétique additive d'un individu. En revanche, les effets d'interaction sont propres à chaque individu car ils dépendent des allèles transmis par les deux parents. Ces effets d'interaction peuvent être, positifs ou négatifs, en augmentant ou en pénalisant respectivement, la performance de l'individu.

En productions animales, les caractères d'intérêt pour la sélection génétique sont des caractères quantitatifs polygéniques. C'est-à-dire qu'ils sont mesurables chez les animaux qui les expriment (c'est le cas par exemple de la quantité de lait produite par la vache, de sa capacité à être gestante après une insémination, etc.) et qu'ils sont déterminés par un très grand nombre de gènes. L'expression de tels caractères est également influencée par l'environnement et notamment par le milieu d'élevage. Mesuré sur un très grand nombre d'individus, on constate que la variation d'un caractère quantitatif est continue et suit généralement une loi normale.

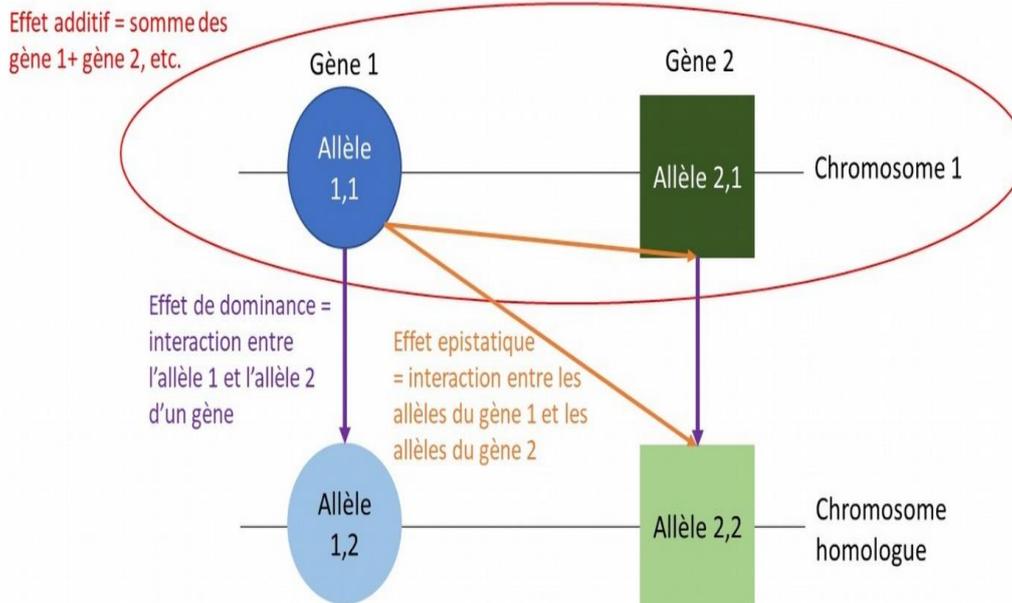


Figure 7. Effets génétiques exploités pour l'amélioration génétique (Dezetter, 2015).

Si l'on considère un caractère quantitatif polygénique chez un individu en particulier, on peut, pour cet individu, déterminer la différence entre sa performance et la performance moyenne de la population à laquelle il appartient. Cette différence s'explique par des différences de valeur génétique et par des différences de milieu d'élevage. À partir de modèles mathématiques, on peut estimer les effets du milieu et la valeur génétique additive de l'individu. Plus l'effet du milieu sur l'expression du caractère est important moins la différence de performance s'explique par une différence de valeur génétique. On définit ainsi un paramètre génétique important appelé héritabilité. Cette dernière, notée h^2 , a été définie pour décrire ce qui est transmissible intra-race dans la variabilité d'une performance ou d'un phénomène biologique. Elle correspond donc à la fraction de la variance phénotypique qui s'explique par une variation d'origine génétique. Plus un caractère est héritable, plus la probabilité que l'individu à des performances supérieures à la moyenne de la population transmette une valeur génétique additive positive est importante. L'héritabilité est donc un paramètre clé de l'amélioration génétique, les caractères fortement hértables étant plus facilement améliorables que les caractères faiblement hértables.

Dans le cas des bovins laitiers, les caractères de production les plus importants pour un éleveur sont la quantité de lait, le taux butyreux, le taux protéique, et les quantités de matières grasses et protéiques. En plus de ces caractères, on peut s'intéresser également à la conformation, la longévité et à la résistance aux mammites (Boujenane, 2003).

Ainsi, la quantité de lait a une héritabilité moyenne tandis que la fertilité et la santé ont des héritabilités très faibles. De plus, il existe entre les caractères d'intérêt des corrélations génétiques qui peuvent être soit favorables (c'est-à-dire qu'en ne sélectionnant qu'un des deux caractères, l'autre caractère va quand même être amélioré) ou défavorables (c'est-à-dire qu'en ne sélectionnant qu'un des deux caractères, l'autre caractère va subir une contre-sélection). En bovin laitier, c'est le cas notamment, de la quantité de lait et de la fertilité qui sont des caractères négativement corrélés ; pendant que les matières grasses et protéiques sont corrélées positivement. Sélectionner les meilleurs reproducteurs sur la quantité de lait entraîne donc une diminution de la fertilité dans la race. Par conséquent, les sélectionneurs doivent définir des objectifs de sélection qui déterminent les caractères d'intérêt et les compromis à faire pour les améliorer conjointement. Ces objectifs sont définis indépendamment pour chaque race.

1.3. Les croisements et la notion de complémentarité entre races bovines laitières

Tout comme en race pure, le principe génétique du croisement repose sur les effets génétiques additifs et les effets d'interaction. La partie génétique de la performance d'un animal issu d'un croisement dépend de trois composantes distinctes : la contribution additive moyenne de chacune des races constitutives, la valeur génétique additive individuelle intra-race de chacun des deux parents et l'effet spécifique du croisement. Prédire la valeur d'un animal revient donc à prédire ces trois composantes. Il convient de noter que si les valeurs additives raciales et individuelles se transmettent des parents aux descendants de façon simple, l'effet spécifique du croisement dépend de la composition raciale des parents. Les effets génétiques du croisement vont donc dépendre de la valeur intrinsèque de chaque parent et du type de croisement réalisé.

En résumé, l'amélioration génétique doit prendre en compte trois paramètres :

- la variabilité génétique, c'est-à-dire qu'il existe des individus plus performants que d'autres, et que cet écart est en partie d'origine génétique ;
- l'héritabilité du caractère, c'est-à-dire la capacité de cet écart de performance à se transmettre à la descendance ;
- et les corrélations génétiques entre les caractères pour éviter de détériorer certains caractères d'intérêt.

Néanmoins, l'exploitation de la variabilité génétique additive par la sélection, a conduit à sa réduction au cours du temps et à l'augmentation de la consanguinité au sein d'une même race pure, puisqu'un nombre réduit de taureaux transmettent largement leurs allèles dans leurs populations raciales (**Danchin et al., 2012**). Cette augmentation de la consanguinité, si elle est non maîtrisée, entraîne une diminution des performances de reproduction et augmente la probabilité d'apparition de tares génétiques.

1.4. Des différences d'orientation génétique entre races bovines laitières

En France, trois grandes races se détachent dans la production bovine laitière (**Institut de l'élevage et Confédération nationale de l'élevage, 2018**) : la Prim'Holstein (64 % des effectifs), la Montbéliarde (17 %) et la Normande (8,5 %) (**Le Mézec et Launay, 2017**). Dans ces trois races, une sélection sur la production laitière produite est réalisée, ce qui se traduit par une augmentation continue de la quantité de lait produite par vache et par lactation (**Figure 8**) (**Dezetter, 2015**).

C'est ainsi que, les vaches de race Prim'Holstein se distinguent par une productivité laitière très supérieure à celle des vaches des deux autres races. En revanche, les vaches de race Normande produisent un lait dont le taux protéique est supérieur aux deux autres races tandis que les vaches de race Montbéliarde sont plus fertiles. Ces écarts de performances traduisent en partie les corrélations négatives existant entre ces différents caractères. En effet, la quantité de lait est corrélée négativement avec le taux protéique et la fertilité. De plus la fertilité est corrélée négativement avec le taux protéique. En revanche en croisant ces différentes races, on pourrait a priori bénéficier des efforts de sélection réalisés dans chacune des races impliquées (**Figure 8**).

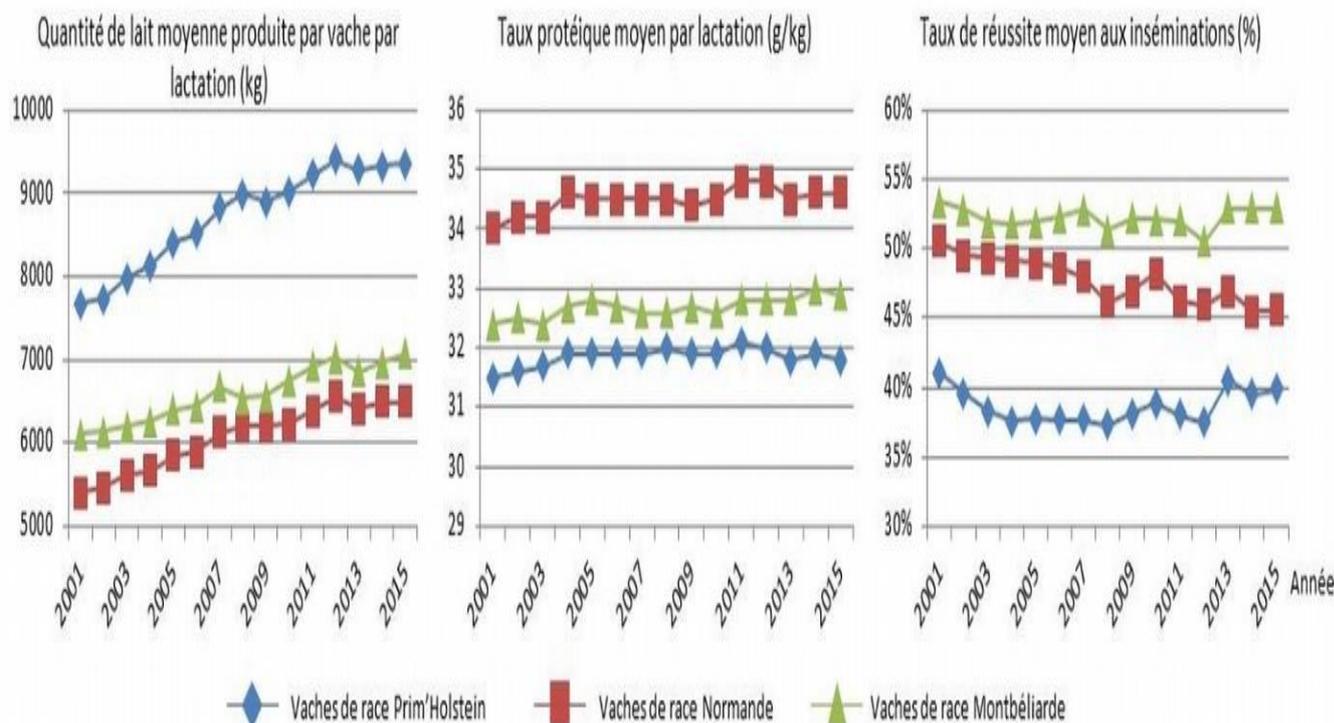


Figure 8. Évolution des performances moyennes des vaches de race Prim'Holstein, Normande et Montbéliarde entre 2001 et 2015 pour la quantité de lait produite par lactation, le taux protéique, et le taux de réussite à l'insémination artificielle (Dezetter, 2015).

En Algérie, les actions d'amélioration génétique engagées ont concerné des effectifs bovins limités, revêtant plutôt un caractère expérimental de croisement de la race locale avec des races pures introduites (Holstein, Tarentaise, Pie-rouge etc...).

Ce n'est qu'à partir de 1988, avec la création du Centre National d'Insémination Artificielle et d'Amélioration Génétique, du Réseau National d'insémination Artificielle et de la station de contrôle des performances individuelles, qu'un Plan National d'Amélioration Génétique a commencé à être exécuté. Parallèlement, des laboratoires de transfert d'embryon et de contrôle des reproducteurs sont en cours de création. Nous citerons à titre d'exemple les travaux réalisés à Fetzara (Wilaya de Annaba) par l'IDEB dans les années 1980, ayant porté essentiellement sur les croisements suivants : Holstein X race locale et les productions FI en 1ère, 2ème et 3ème lactation ; Tarentaise X race locale ; Hereford X race locale ; Angus X race locale ; Pie rouge X race locale ; Charolais X race locale.

Les résultats obtenus n'étaient pas significatifs, les écarts types enregistrés étaient trop importants, du fait du petit nombre d'échantillons par type de croisement (Kadra, 1989).

Selon l'étude réalisée par **Haou et al. (2021)** sur 721 vaches laitières (50,6 % primipares et 49,4 % multipares) importées d'Europe en tant que génisses pleines Prim'Holstein (47,3 %) et Montbéliardes (52,4 %) et élevées dans cinq wilayas du Nord-Est Algérien (El-Taraf, Annaba, Guelma, Constantine et Sétif) ayant concerné le traitement des données de 4 années (2017-2020) d'inséminations artificielles issues des bilans mensuels des inséminateurs du Centre National de l'Insémination Artificielle et de l'Amélioration Génétique, les résultats obtenus montrent que tous les paramètres de fécondité et à un degré moindre de fertilité, sont loin des objectifs généralement recherchés. La race n'a affecté que l'intervalle moyen entre la 1^{ère} insémination et l'insémination fécondante (IA1-IAf) avec un effet significativement meilleur chez la Montbéliarde que chez la Prim'Holstein ($p = 0,014$) (**Haou et al., 2021**).

En Tunisie, en 1987 l'insémination artificielle, avec 51 sous-centres régionaux et 116 inséminateurs a touché toutes les zones d'élevage. Les principaux opérateurs en la matière sont la Direction Générale de la Production Animale, l'Office de l'Elevage et des Pâturages et l'Office des Terres Domaniales. Les réalisations pour l'année 1988 sont de 71400 inséminations premières et plus de 96000 interventions. Le taux de couverture est de 51 % en races pures et de 9,6 % en races locales (**Hicheri, 1989**)

La maîtrise des cycles sexuels chez les bovins suite à la synchronisation des chaleurs permet surtout d'utiliser l'insémination artificielle à plus grande échelle. En 1987, 14500 femelles ont été synchronisées par l'utilisation d'implants sous cutanés synchronate B et de spirales vaginales PRID. les résultats générés sont de 53,4 % des femelles sont pleines à l'oestrus induit et 61 %, à l'oestrus induit plus 3 mois.

Cependant, malgré les efforts déployés dans ce sens, l'insémination artificielle n'a pas pu toucher toutes les zones. C'est ainsi qu'un programme de saillie-naturelle a été mis en place dans le but de mettre à la disposition des éleveurs, des géniteurs de races pures sélectionnés sur ascendance. En effet en 1988, 1500 géniteurs placés par le projet, sont en service, dont 230 géniteurs ont été vendus ou prêtés par l'Office de l'Elevage et des Pâturages à des éleveurs et à divers organismes (**ODESYANO, CFPA, Lycées agricoles**).

Selon **Brahmia et Ben Dhia (1989)** en 1989, environ 347000 unités femelles ont été utilisées, lesquelles sont réparties comme suit : type autochtone s'apparentant à la "Brune de l'Atlas" ; type croisé, issu de différents croisements du type local avec des races exotiques (Frisonne - Brune des Alpes - Tarentaise) ; races pures : la Frisonne, avec une nette tendance à la "Holsteinisation" et la Holstein en constituent plus de 95 % ; la Schwytz et surtout la

Tarentaise perdent relativement de leur importance. Ces trois races comptent près de 92000 unités femelles.

La faiblesse des résultats obtenus s'explique par la non maîtrise de la technique et par l'utilisation de femelles non sélectionnées. Le suivi de la reproduction s'adresse aux élevages laitiers organisés. Les exploitations touchées bénéficient de l'encadrement technique afin d'améliorer les paramètres de reproduction.

Le contrôle laitier officiel touche un effectif de 12850 vaches, contrôle laitier du type B est introduit à titre d'essai.

Les effectifs bovins tunisiens passeraient ainsi en 1991 à 415000 unités femelles dont 135000 de races pures (contre 360000 dont 87500 de races pures en 1987) (**Hicheri, 1989**).

Ainsi l'amélioration génétiques est appelée à toucher en 1991 un cheptel de 260000 bovins contre 135000 en 1987, soit un accroissement de près de 100 % (**Hicheri, 1989**) ; elles ont pour objectif d'améliorer le potentiel génétique des races pures et des races locales et croisées par :

- l'utilisation en insémination artificielle de semence animale provenant de géniteurs testés ;
- la mise à la disposition des élevages non desservis par l'insémination artificielle de géniteurs choisis sur ascendance et issus des meilleurs élevages ;
- et le transfert d'embryon.

Enfin, en pays du Sud-africain, les pays du Sud disposent de 70% du cheptel bovin et de buffles du monde mais ne produisent que 29% de la viande et 23% du lait. Cette faible productivité laitière et bouchure en Afrique tropicale malgré son cheptel pléthorique est attribuable aux faibles taux de fécondité des femelles (44 à 66%), aux mortalités accentuées des jeunes (10-40%) et à l'âge trop avancé de la première mise-bas (4-5 ans) des races locales (**IRZ/GTZ, 1989**). Ainsi, au vu des avantages que peut procurer l'insémination artificielle dans la maîtrise de la reproduction et l'amélioration génétique des bovins, cette technique peut être sans doute une solution à ce problème de faible productivité dans les élevages.

2. L'insémination artificielle et son effet sur les aspects zootechniques

Le secteur de l'élevage occupe une place importante sur l'échiquier économique du pays et il bute sur de nombreuses contraintes qui limitent son rendement économique.

Une bonne gestion informatique des fichiers (résultats zootechniques, bilans annuels de résultats, organisation actuelle des fichiers) permet de poursuivre la mise à jour en continu au gré des visites de terrain, et de fournir un élément de suivi de l'opération au plan zootechnique. Le programme permet en effet un calcul rapide des paramètres de fécondité des troupeaux, ce qui permet de fournir aux éleveurs des résultats chiffrés dès la fin des visites. Enfin, cette base très axée sur la reproduction peut parfaitement supporter un rajout de modules, qui permette d'assurer une synergie entre le suivi de fécondité et les autres opérations à caractère zootechnique ou sanitaire menées dans les élevages (**Hograindleur, 1999**).

Les principales contraintes sont d'ordre climatique, technique, sanitaire, génétique, socio-économique et commercial...

Facteurs climatiques : le climat est certainement la contrainte la plus déterminante car il conditionne les ressources alimentaires du bétail. Lorsqu'il s'agit de pluviométrie, la forte variabilité dans l'espace et dans le temps fait que la disponibilité des pâturages est très limitée en quantité et en qualité, surtout dans le système traditionnel. Par ailleurs, d'après **PAGOT** cité par **Kouamo (2006)**, les températures tropicales élevées sont de loin une contrainte importante à la production laitière intensive qui est pour la plupart axée sur l'exploitation des races exotiques.

Facteurs liés à l'alimentation : l'alimentation est l'une des causes les plus importantes de l'infertilité des vaches. Ce facteur alimentaire peut être analysé à deux niveaux :

- Une suralimentation (très rare) peut être à l'origine d'une infiltration graisseuse au niveau de l'ovaire. Cette dernière associée à un syndrome hypo-hormonal retarde considérablement l'involution utérine sans laquelle la vache ne peut pas concevoir à nouveau ;
- une sous-alimentation revêt un caractère endémique, qui est surtout liée à la rareté et à la pauvreté des pâturages en saison sèche. Sur le plan hormonal, on observe en saison sèche une pseudohypophysectomie fonctionnelle ayant comme conséquence un trouble de la gamétogenèse voire une mise en veilleuse de l'activité ovarienne (**Niang, 1985**).

Facteurs socio-économiques : pour l'éleveur traditionnel, le critère numérique constitue le facteur prépondérant par rapport à la production par tête. Dès lors, la maximisation du profit par la production laitière plus rationnelle, ne constitue pas sa préoccupation majeure. A cela s'ajoutent le manque de formation des éleveurs et leur faible niveau de technicité (Kabera, 2007).

Facteurs génétiques : la plupart des races bovines africaines ont un potentiel génétique peu élevé. Par exemple, le taurin N'Dama exploité surtout en Casamance et au Sénégal Oriental, à l'âge de 4 ans a un poids estimé à 382,6 kg chez le mâle et à 286,6 kg chez la femelle. De plus, on note la faiblesse du potentiel laitier des races locales (Niang, 1985).

Facteurs liés à l'animal : chez la vache on observe habituellement une réduction de la fertilité avec l'augmentation de l'âge (Thimonier et Chemineau, 1988). Suivant le numéro de lactation Weller *et al.* (1992) admettent chez la vache laitière une réduction de la fertilité avec l'augmentation du numéro de lactation.

Facteurs de variation de la réussite de l'insémination : les analyses statistiques univariées mettent en évidence certains facteurs pouvant influencer la réussite de l'insémination : l'élevage (lié au type d'insémination), la production laitière, le nombre de jours post-partum (en lien direct avec le numéro de l'insémination artificielle), et la saison. Cependant le modèle statistique final montre que seulement deux paramètres font varier le taux de réussite de l'insémination artificielle : le nombre de jours post-partum et la saison (Corbrion Mouret, 2018).

3. L'insémination artificielle et son effet sur les aspects économiques

La sélection génétique associée au recours à l'insémination artificielle est réelle et impacte directement le paysage bovin mondial (Foote, 1999). L'impact résulte du degré de supériorité génétique du taureau et du nombre de descendants obtenus par celui-ci qui sera intimement lié à la production totale de spermatozoïdes de l'individu en question, avec jusqu'à 150000 doses de semences obtenues par an pour les individus les plus fertiles. Les taureaux d'élites représentent environ 10 % des animaux mais moins de 1 % sont considérés comme des individus «stars» dont la semence est largement diffusée. Les objectifs premiers sont l'augmentation de la production des volumes de lait et de viande. Au-delà des taureaux à haute valeur génétique, la sélection permet la conservation des races les plus utilisées dans le domaine de l'industrie tout en limitant la consanguinité (Locatelli *et al.*, 2012), tout en sauvegardant les moins utilisées (Lauvie et Couix, 2012).

L'insémination artificielle peut être pratiquée en association avec d'autres techniques comme le sexage qui permettra aux éleveurs de donner un maximum de naissances du sexe désiré, ce qui permettra d'augmenter les bovines laitières.

L'amélioration génétique en utilisant l'insémination artificielle, est appelée à contribuer davantage à l'augmentation de la productivité du cheptel en vue de répondre à une demande sans cesse croissante en viande mais surtout en lait.

En France, une étude plus prospective sur l'impact économique d'introduire du croisement dans un troupeau pour bénéficier de ces effets génétiques a été menée (**Dezetter, 2015 ; Dezetter *et al.*, 2017**). Les principaux résultats montrent que dans des troupeaux de vaches Prim'Holstein à très haut niveau de production laitière et sans troubles majeurs de la reproduction ni de la santé, inséminer ces vaches avec des taureaux Montbéliard ou Normand (puis ces vaches F1 avec un taureau Prim'Holstein et ainsi de suite) pour constituer un troupeau de vaches issues de croisement, présente peu d'intérêt. En effet, les vaches issues de croisement n'arrivent pas à atteindre le même niveau de production laitière et donc le volume commercialisé diminue fortement, pénalisant le produit de l'exploitation. En revanche sur des troupeaux de vaches Prim'Holstein à plus faible niveau de production laitière ou avec des troubles majeurs de la reproduction et de la santé, inséminer ses vaches en croisement augmente le produit de l'exploitation (en augmentant les taux de matière utile qui sont une composante du prix du lait) et en diminuant les charges de l'exploitation (car le croisement contribue à améliorer la reproduction et la santé des vaches). Il faut cependant noter que le croisement augmente la variabilité des phénotypes (car augmente l'hétérozygotie) et complexifie le suivi des accouplements. Car dans un troupeau, sont présentes à la fois les mères, les filles et les petites filles, donc des vaches de générations de croisement différentes.

On distingue classiquement deux grandes méthodes d'amélioration génétique : le croisement et la sélection. Les programmes d'amélioration génétique diffèrent en ce qui concerne les modalités d'utilisation du croisement et les plans de sélection.

- la création d'une nouvelle population (création d'une lignée composite à partir de plusieurs races pures préexistantes, croisement d'absorption pour substituer progressivement aux polygènes d'une autre population jugée supérieure, croisement en retour répété pour introgresser un gène majeur intéressant dans une population qui en est dépourvue) ;

- le croisement systématique, c'est-à-dire la réalisation de plans de croisement où chacune des races impliquées a une fonction bien déterminée (plans de croisement "discontinus" mettant en œuvre des races spécialisées à vocation paternelle ou maternelle et

conduisant à une génération de produits terminaux) ou de plans de croisement "continus" où les races impliquées jouent un rôle non spécialisé (croisement rotatif par exemple).

Le but de tout cela, c'est que les éleveurs constituent leurs troupeaux par croisement et brassage via l'importation d'animaux ayant les caractéristiques souhaitées, jusqu'à l'obtention des populations animales de race pure, locales dites fermées, c'est-à-dire non croisées avec des individus extérieurs et cessent d'importer (**Sellier, 1992**).

4. L'insémination artificielle et son effet sur les aspects sanitaires

L'insémination artificielle joue un rôle au niveau sanitaire et participe à l'éradication de maladies. L'absence de coït élimine les maladies sexuellement transmissibles et l'hygiène imposée lors des manipulations lutte contre la propagation des maladies que la semence pourrait développer au contact de l'environnement extérieur à la cavité utérine. L'insémination artificielle permet donc aux taureaux de bénéficier d'un contrôle sanitaire poussé et de diminuer l'incidence de maladies dont les principales sont la Bovine herpesvirus-12 (BHV-12), la brucellose, la leptospirose, la vibriose, le trichomonas (*Tritrichomonas foetus* (syn.: *Tritrichomonas suis*) est transmis lors de la saillie ou, rarement, par de la semence infectieuse. Cette infection peut être à l'origine de pertes économiques importantes, car elle provoque des problèmes de fertilité et parfois des avortements chez les bovins, ou encore le virus de la maladie des muqueuses, telle que la BVD (Diarrhée Virale des bovins). Son virus est très répandu en France et peut causer des pertes économiques importantes dans les élevages touchés (mortalité des veaux et problèmes de reproduction) (**Hograindleur, 1999**).

L'insémination artificielle permet effectivement de supprimer les risques associés à la monte naturelle qui sont principalement une infertilité des taureaux (estimée supérieure à 15 %), les maladies sexuellement transmissibles, l'absence de sélection génomique, les lésions et blessures associées au coït et les dégâts à l'environnement proche.

En France, c'est à partir de 1960, qu'une montée en puissance des contrôles réglementaires a conduit progressivement à exiger pour les centres d'insémination artificielle, une qualification indemne relativement à de nombreuses maladies infectieuses (**Humblot, 1999**).

L'insémination artificielle est ainsi devenue un des principaux outils d'éradication des maladies dans les élevages. Elle a en effet joué un rôle majeur dans la lutte vis à vis des maladies sexuellement transmissibles (campylobactériose, trichomonas) et plus généralement dans la lutte contre les anthroponoses (maladies infectieuses contagieuses telles que la

tuberculose et la brucellose) au travers des effets indirects qu'elle induit dans l'ensemble des troupeaux où elle a été et demeure aujourd'hui utilisée.

Elle contribue en outre à diminuer la pression de la contamination bactérienne présente dans l'écosystème des individus et des produits qui en sont issus.

Plus généralement du fait du grand nombre d'inséminations réalisées pour un même individu, les risques de contamination par des virus ou des bactéries pourraient paraître importants. En réalité le travail en effectif clos associé au respect de périodes de quarantaine et à un contrôle sanitaire des plus rigoureux (plusieurs contrôles annuels) et exhaustif fait des reproducteurs présents dans les centres d'insémination artificielle, une population d'élite au plan sanitaire, dont le statut de haut niveau est une des conditions associées à sa large utilisation. A titre de comparaison, les animaux utilisés à la monte naturelle sont soumis à des contrôles beaucoup moins fréquents et seulement pour les trois maladies les plus contagieuses : tuberculose, brucellose et leucose.

En résumé que le contrôle sanitaire strict et les contrôles dans la réalisation des opérations de mise en place qui y sont associés, expliquent en partie pourquoi l'insémination artificielle et le transfert embryonnaire représentent des freins à la diffusion des maladies dans les élevages et contribuent à la bonne qualité sanitaire et à la traçabilité des produits qui en sont issus.

V. Conclusion Générale et Recommandations Pratiques

Malgré les multiples avantages et intérêts qu'elle procure, qui sont d'ordre génétique, zootechnique, sanitaire et économique, l'insémination artificielle présente comme même certains inconvénients tels que, la nécessaire bonne maîtrise de la technicité, et le risque d'erreur lors de la préparation de la semence, qui peut avoir des répercussions importantes sur le cheptel.

En effet, l'insémination artificielle est un outil :

- de progrès génétique rapide et sûr des animaux de rente, sans risque de contamination et de propagation de maladies contagieuses ;
- qui permet l'augmentation de la productivité des taureaux, et en rendant possible leur remplacement par des vaches ;
- qui permet une plus large utilisation de la semence des géniteurs, à la fois dans le temps et dans l'espace, grâce au développement de la congélation, en améliorant la fertilité des vaches laitières ;
- qui contribue davantage à l'augmentation de la productivité du cheptel en vue de répondre à une demande sans cesse croissante en viande, mais surtout en lait, qui se traduit par l'amélioration du revenu de l'éleveur ;
- qui peut être utilisé à plus grande échelle, grâce à la maîtrise des cycles sexuels chez la vache, par l'utilisation de la technique d'induction et de synchronisation des chaleurs ;
- qui peut être pratiquée en association avec d'autres techniques comme le sexage qui permettra aux éleveurs de donner un maximum de naissances du sexe désiré, ce qui permettra d'augmenter les bovines laitières.

Ainsi, au vu des avantages que peut générer l'insémination artificielle dans la maîtrise de la reproduction et l'amélioration génétique des bovins, cette technique peut être sans doute une solution au problème de faible productivité dans les élevages bovins laitiers. En fait c'est une biotechnologie de maîtrise de la reproduction et de promotion de la production laitière.

Enfin, l'idéal serait d'utiliser le meilleur génotype, soit une race produisant le maximum de lait avec, une meilleure qualité nutritionnelle et hygiénique, le minimum de frais et le minimum de temps ; laquelle pour être au rendez-vous, doit être mise dans des conditions idéales de son milieu d'évolution.

VI. Références bibliographiques

Ahmed, 2002. L'effet de l'insémination artificielle sur la production laitière. Thèse de fin d'étude. Maroc.

Armstrong, D.G., Gong, J.G., Gardner, J.O., Baxter, G., Hogg, C.O., Webb, R. (2002). Steroidogenesis in bovine granulosa cells: the effect of short-term changes in dietary intake. *Reproduction*. 2002, 123: 371- 378.

Barone, R. 1978. Anatomie comparée des mammifères domestiques Tome 3, Splanchnologie, Fascicule 2, Appareil uro-génital, Fœtus et ses annexes.

Batellier, F., Belsbois, E., Brillard, J.P., Gorovoun, M., Hérault, F., Heyman, Y., Perrier, G., Rogier, S.M.C., Savary, F., Vignon, X. 2011. Reproduction des animaux d'élevage. Vol., 2, Ed., Educagri Paris.

Benlekhe, A., Ezzahri, A., et Bouhaddane, A. 2000. L'insémination artificielle des bovins « une biotechnologie au service des éleveurs » *Transfert de technologie en agriculture*, (65) : 4

Benyounes, A. 1997. Apport à la technique de congélation de la semence du bélier Manchego moyennant l'incorporation du tréhalose et variation du taux de glycérol dans le milieu cryoprotecteur. Thèse de Master of Science, IAMZ-CIHEAM, Zaragoza, Espagne.

Billard, R., Jalabert, B. 1974. L'insémination artificielle de la Truite *Salmo gairdneri* Richardson. II - Comparaison des effets de différents dilueurs sur la conservation de la fertilité des gamètes avant et après insémination. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, 14. 601-610.

Blagna, J. Appl. Biosci. 2017. Insémination artificielle bovine par synchronisation des chaleurs au CRESTARND en milieu éleveur dans les cascades au Burkina Faso

Bonnes, G., Desetaude, J., Drogoul, C., Gadoud, R., Le Loc'h, A., Montmeas, L., Robin, G. 1988. Reproduction des mammifères d'élevage, 1ère édition, Paris. 239.

Bourbia, R. (1998).L'approvisionnement alimentaire urbain dans une économie en transition: le cas de la distribution du lait et des produits laitiers de l'ORLAC dans la ville d'Alger. Montpellier : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier. Thèse de Master Of Science. Octobre 1998, p : 200. **BOUJENANE Ismaïl**, transfert de technologie, bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, N° 111 Novembre 2003 p. 4.

Brahmia, A. et Ben Dhia, M. 1989. Office de l'Elevage et des Pâturages - Tunis - Tunisie.

Broes, P. 1995. Abrégé de reproduction animale.-Boxmeer (Pays-Bas) : Intervet.-336 p.

Bruyere, P. 2009. Mise en évidence des signes secondaires de chaleurs chez la vache laitière par vidéosurveillance ; étude au Centre Lucien Biset de Poisy (74330). Thèse de Doctorat Vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, France.

Buffière, M. 1972. Contribution à l'étude de la synchronisation de l'œstrus chez la vache.

Cauty, I., Perreau, J.M. 2009. Conduite du troupeau bovin laitier : production, qualité, rentabilité. 2e éd. Paris: Éditions France Agricoles

Chastant-Maillard, S., Fournier, R., Remmy, D. 2005. Les vagues folliculaires : Actualités sur le cycle de la vache. Point Vét, n° 36.2005, p : 10-15

Chemli, J., Tainturier, D., Beckers, J. F. 1996. Diagnostic de gestation chez les bovins par dosage d'une protéine trophoblastique: la protéine bovine associée à la gestation (bPAG. : bovine pregnancy associated protein) (179p-192p). In : Reproduction et production laitière-Tunis : SERVICED, -294p. (Actualité Scientifique AUPELF-UREF).

Chenault, J.R., Bouchen ,JF., Dame, K.J. , Meyer, J.A ., Wood – Follis, S.I . 2003 . Intra - vaginal progesterone insert to synchronize return to estrus of previously inseminated dairy cows. J Dairy Sci 2003 , p . 86 , 2039-2049

Chupin, D. 1993. Résultats d'une enquête sur l'état de l'insémination artificielle en Afrique.

Cuq, P. 1974. Le cycle génital de la femelle zébu (*bos indicus*) en zone soudano-sahélienne du Sénégal. Rev. Elev. Méd. Vét .Pays Trop., 125 (2), 147-173.

Cuq, P., Abga, K.C. 1977. Les Organes génitaux de la femelle. Rev.Elev.Méd. Vét .Pays Trop., 28 : 331-349.

Dellmann et Eurell, 1998. Physio-pathologie de la reproduction et insémination artificielle des animaux domestiques. Paris : Vigot frères éditeurs, 1998, 467 p.

Dérivaux, J. 1971. Reproduction chez les animaux domestiques le Dale : Insémination artificielle. Ed. Devoueux, Liège.

Derivaux, J. et Ectors, F. 1989. Reproduction chez les animaux domestiques. - Vol.1 : -Paris : Académia.-155 p.

Dezetter C. 2015. Evaluation de l'intérêt du croisement entre races bovines laitières. Thèse de l'école doctorale Biologie-santé Nantes Angers, LUNAM, France. Accessible sur : <http://www.theses.fr/s163135>.

Dezetter C., Bareille N., Billon D., Côrtes C., Lechartier C., Seegers H. 2017. Changes in animal performance and profitability of Holstein dairy operations after introduction of cross breeding with Montbéliarde, Normande, and Scandinavian Red. J. Dairy Sci., 100, 8239-8264.

Diop, P.E.H. 1993. Biotechnologie et élevage africain (145- 159) In : Maîtrise de la reproduction et amélioration génétique des ruminants : apport des technologies nouvelles.

Diop, P.E.H. 1994. Amélioration génétique et biotechnologies dans les systèmes d'élevages. Exemple de la production laitière.-Dakar : DIREL-11p.

Disenhaus, C., Cutullic, E., Freret S., Paccard, P.et Ponsart, C. 2010. Vers une cohérence des pratiques de détection des chaleurs : intégrer la vache, l'éleveur et le système d'élevage. Renc. Rech.Rum., 17 : 113-120.

Djibrine, M. 1987. Bilan de l'Insémination artificielle dans l'espèce Bovine au Cameroun. Th. Med. Veto. Dakar, 12.

Driancourt, M.A., et Levasseur, M.C. 2001. Cycles estriens et cycles menstruels. Dans : La reproduction chez les mammifères et l'homme. Thibault C. et Levasseur MC. (Edits) Ellipses, INRA, Paris, 680- 698. Dakar : NEAS.- 290p. (Actualité scientifique AUPELF-UREF).

Drion, P.V., Ectors, P.J., Hanzen, C., Houtain, J.Y., Lonergan, P., Beckers, J.F. 1996. Régulation de la croissance folliculaire et lutéale. Le point vétérinaire, Vol. 28.

Drion, P.V., Reny, B., Houtain, J.Y., Namar, M., Baril, G., Heyman, Y., Cognie, Y., Theau, C., Leent, M.C., Leboeuf, B., Ectors, F., Segers, K., Beckers, J.f. 1998. Utilisation répétée des gonadotrophines exogènes dans le contrôle de la reproduction - justification relations structure – activité biologique - effets secondaires potentiels. Une synthèse Ann. Méd. Vet, 142, 373-396.

Dulplan, J.M., Thibier, Crapelet, C. 1973. La vache laitière : Reproduction, Génétique, Alimentation, Habitat, Grandes maladies. 2^{ème} édition, Vigot Frères, Paris VI.

Edson, M.A., Nagaraja, A.K., Matzuk, M.M. 2009. The mammalian ovary from genesis.

Fall, O. 1995. Amélioration de production laitière par l'utilisation de l'insémination artificielle dans la région de Fatick-Thèse : Méd. Vét. : Dakar ; 18

Fournier, R., Driancourt, M.,A., Barreteau, S. 2005. Synchronisation des chaleurs et IA programmée chez les bovines comment maintenir une bonne fertilité avec des progestagènes sans œstrogènes, édition des GTV. In : Journées Nationales GTV, Tours, .2004 p : 889-892.

Garba, M.M., Marichatou, H., Issa, M., Abdoul Aziz M.L., Hanzen, C. 2013. Tractus génital des vaches Zébus (*Bos indicus*) au Niger. Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop., 66 (4): 137- 142.

Gérard, O., Ponsart, C., Petit, M., Humblot, P. 2008. Evolution des techniques de préparation de la semence et insémination artificielle chez les bovins. Renc. Rech.Ruminants, 15: 351-354.

Giroud, O. 2007. Détection des chaleurs des vaches laitières par vidéosurveillance : évaluation des méthodes d'utilisation. Mémoire de Fin d'Etudes, ISARA-Lyon, France.

Goffaux, M. 1991. Technique de congélation de la semence de taureau : congélation proprement dite, décongélation et conservation. Elev. et Insém., (241) : 3- 18

Grimard, B., Humblot, P., Ponter, A., A. 2003. Efficacité des traitements de synchronisation des chaleurs chez les bovins-INRA Prod.Anim, 16:211-227.

Gwazdauskas, F.C., Lineweaver, J.A., Gillard, M.L. 1983. Environmental and Management Factors Affecting Estrous Activity in Dairy Cattle-J. Dairy Sci.1983, p: 66, 1510-1514 Peralta, O.A., Pearson, R.E., Nebel, R.L., 2005. Comparison of three estrus detection systems during summer in a large commercial dairy herd. Anim. Reprod. Sci., 87, 59-72.

Heap, W., 1900. The sexual season of mammals and the relation of the prooestrus to menstruation. Q.J. Microsc. Sci., 44, 11-70.

Hanzen, C. 2004. Cours d'obstétrique et pathologie de la reproduction<<bovins ; équidé ; et porc>> faculté de médecine vétérinaire, Université de Liège.

Hanzen, C. 2005. Chapitre 3: La détection de l'œstrus et ses particularités d'espèces. [En ligne] : accès internet : <http://www.fmv.ulg.ac.be/oga/dloads/Doc1Notes/Ch03.doc>.

Hanzen, C. 2006. Propédeutique de l'appareil génitale de la vache.

Hanzen, C. 2009. L'insémination artificielle chez les ruminants. Université de Liège, Faculté de Médecine Vétérinaire, Service de Thériogénologie des Animaux de Production, 45 p.

Hanzen, C. 2010. Cours d'inséminations artificielles chez les ruminants. Faculté de Médecine vétérinaire, Université de Liège. 2010, p : 4, 5, 6.

Hanzen, C. 2015 /2016. L'insémination artificielle chez les ruminants.

Hanzen, C., Boudry, B., Drion, P.V., 2003. Gestion hormonale de la reproduction bovine : induction et synchronisation de l'œstrus par la PgF2 α . Le Point Vétérinaire, 236: 22- 23.

Haskouri, H. 2001. Insémination artificielle et détection des chaleurs, In : Gestion de la reproduction chez la vache. [En ligne] accès Internet : <http://www.iav.ac.ma/veto/filveto/guides/repro/students/haskouri.pdf>, (page consultée le 9 Mai 2008).

Hicheri, K. 1989. Direction Générale de la Production Animale, Tunis, Tunisie, Mise au point sur les actions d'amélioration génétique des bovins en Algérie, Amélioration génétique des bovins sous climat sud-méditerranéen, comptes rendus du symposium organisé par l'Office de l'Elevage et des Pâturages de Tunisie en collaboration de la Fédération Européenne de Zootechnie, l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et L'Agriculture et le Comité International pour le Contrôle de la Productivité Laitière du Bétail, Tunis, 21-23 novembre 1989.

Hograindleur, J.P. 1999. Biotechnologie de la reproduction chez le bovin-Découverte et étude de nouvelles biomolécules d'intérêt. Diplôme de l'École Pratique des Hautes Études http://idele.fr/no_cache/recherche/publication/idelesolr/recommends/ibl-2012-2-isu-2012-les-objecti...

Humblot, P., 1988. Reconnaissance maternelle de la gestation et maintien du corps jaune. Elev. Insém., (222) : 23-26. In : L'amélioration génétique des bovins en Afrique de l'Ouest. Etude, production et santé animales, Rome, FAO, 110 : 67-89.

Institut de l'Elevage, 2012. IBL 2012-2 ISU 2012 : les objectifs de sélection évoluent.

Kabere, 2007. Contribution à l'amélioration du taux de réussite de l'Insémination Artificielle bovine dans les campagnes d'Insémination Artificielle réalisées par le PAPEL au Sénégal. - Thèse : Méd. Vét. : Dakar ; 42

Kadra, A. 1989 : Mise au point sur les actions d'amélioration génétique des bovins en Algérie, Amélioration génétique des bovins sous climat sud-méditerranéen, comptes rendus du symposium organisé par l'Office de l'Elevage et des Pâturages de Tunisie en collaboration de la Fédération Européenne de Zootechnie, l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et L'Agriculture et le Comité International pour le Contrôle de la Productivité Laitière du Bétail, Tunis, 21-23 novembre 1989.

Kaidi, R. Cours de biotechnologies de la reproduction. Département des sciences vétérinaires, université de Blida.

Kamga, W.A.R. 2002. Réalisation d'un programme d'insémination artificielle bovine en République de Guinée. Thèse : Méd. Vét. : Dakar ; 13.

Koumo, 2006. Amélioration des performances de production et de reproduction des bovins par l'utilisation de l'insémination artificielle en Afrique Subsaharienne et au Sénégal en particulier : état des lieux et perspectives. -Revue Africaine de Santé et de Productions Animales 2009 E.I.S.M.V. de Dakar

Kumar, N., Kumar, P., Chaurasia, S., Patel, N.B. 2013. Heat detection techniques in cattle and buffalo, Vet. World 6 (6): 363-369.

Lacerte, G. 2003. La détection des chaleurs et le moment de l'insémination. Symposium sur les bovins laitiers : 30 Octobre, Hôtel des Seigneurs Saints, Hyacinthe Québec.

Laverdière, G. 1994. Comparaison de l'effet de deux analogues de la prostaglandine F2 α sur la synchronisation de l'œstrus chez la vache de boucherie. Can. J. Anim. Sci., 74: 29- 36.

Le Mézec, P, et Launay, A. 2017. Le cheptel laitier français : évolution 1996-2016, prévision d'évolution génétique 2016-2022. Institut de l'Élevage, Compte-rendu n° 0017203001.

Loïse Corbrion Mouret , 2018. Influence du moment de l'insémination artificielle sur le taux de réussite chez la vache laitière thèse pour obtenir le grade de docteur vétérinaire (diplôme d'état), l'Université Paul-Sabatier de Toulouse-France

Marie, M. 1996. Use of monitoring for assessment of reproductive status in postpartum cows. Application of an ELISA technique. FAO-IAEA, Second Research Coordination Meeting, Rabat, 1-5 April 1996, p: 2.

Mazouz, A. 1996. Précis d'obstétrique vétérinaires, 2ème éd. Rabat. AGDAL, 95 p.
Méd. Vét., Dakar, Sénégal, 156 p.

Medan, M.S., Watanabe, G., Sasaki, K., Groome, N.P., Sharawy, S., Taya, K. 2005. Follicular and hormonal dynamics during the estrous cycle in goats. J. Reprod. Dev. Aug; 51 (4) : 455-63.

Mermillod, P., et Marchal, R. 1999. La maturation de l'ovocyte de mammifères. Médecine/Sciences. 1999, p: 15: 148- 156.

Mialot, J.P., Constant, F., CHastant, Astant-Maillard, S., Ponter, A.A., et Grimard, B. 2001. La croissance folliculaire ovarienne chez les bovins : nouveautés et applications (163-168). In : Journées Européennes de la Société Française de Buiatrie : Paris, Nov. 2001.

Mialot, J.P., Laumonier, G., Ponsart C., Fauxpoint H., Barassin E., Ponter, A.A., Deletang F. 1999. Postpartum subestrus in dairy cows: comparison of treatment with prostaglandin F2 alpha or GnRH + prostaglandins F2 alpha + GnRH. Theriogenology, 52: 901-911.

Mialot, J.P., Noel, F., Puyalto, C., Laumonier, G., Sauveroche, B. 1998. Traitement de l'œstrus post-partum chez la vache laitière par le CIDR-E ou la prostaglandine F2a. Bulletin Technique des GTV, 2 : 29-38.

Minvielle, F. 1998. La sélection animale. Collection Que sais-je ? Edition Presses Universitaires de France – PUF.

Monniaux, D., Caraty ,A., Clément ,F., Dalbiès-Tran R., Dupont ,J., Fabre, S., Gérard, N., Mermillod, P., Monget, P., Uzbekova S. 2009. Développement folliculaire ovarien et ovulation chez les mammifères. INRA Prod. Anim., 22(2) : 59-76.

Niang, M.M. 1985. évaluation de l'efficacité de l'insémination artificielle bovine dans la campagne d'insémination artificielle 2010-2011 réalisée par le PDESOC dans la région de Kolda pour obtenir le grade de docteur en médecine vétérinaire (Sénégal).

Norris, D.O., Lopez, K.H. 2010. Hormones and reproduction of vertebrates. Mammals Academic Press, Elsevier, London, Vol 5, 380 p.

Odde, K.G. 1990. A review of synchronization of estrus in postpartum cattle. J. Anim. Sci., 68: 817-830.

Ouedraogo, Maltoni, M. et Zecchini, M. 1996. Définition d'un moment optimum pour l'Insémination Artificielle chez les femelles bovines Baoulé, Zébu et N'dama en zone subhumide. In : Reproduction et production laitière Tunis : SERVICED.-316p.-(actualité scientifique AUPELF-UREF).

Parez, M., Duplin, J.M. 1987. Insémination artificielle bovine, reproduction et amélioration génétique , édité par ITEB VNCAIA .

Peralta, O.A., Pearson, R.E., Nebel, R.L. 2005. Comparison of three estrus detection systems during summer in a large commercial dairy herd. Anim. Reprod. Sci., 87, 59-72.

Picard-Hagen, N., Humblot, P., Berthelot, X. 2005. Le point sur les protocoles actuels de synchronisation. Le point vétérinaire, Reproduction des ruminants: maîtrise des cycles et pathologie.2005, p: 32-36.

Polge, C., Rowson, L.E.A. 1952. Results with bull semen stored at -79°C. Vet. Rec., 64: 851-853.

Ponsart, C., Freret, S., Humblot, P., Charbonnier, G., Dubois, P. 2006. Signes de chaleurs, profils de cyclicité, état sanitaire du début de lactation, état corporel et production laitière= 5 effets conjugués sur la reproduction. Bulletin Technique de l'Insémination Animale : 120, 33-36.

Saumande, J. 2000. La détection électronique des chevauchements pour la détection des vaches en chaleur : possibilités et limites. Synthèse Scientifique. Revue Méd. Vét., 151, 11, 1011-1020.

Sellier, P. 1992. La gestion des populations-La diversité des plans d'amélioration génétique, INRA Station de Génétique quantitative et appliquée 78352 Jouy-en-Josas Cedex

Soltner, D. 2001. La production des animaux d'élevage, 3eme édition, édité par collection sciences et technique agricole.

Thiam, O. 1996. Intensification de la production laitière par l'Insémination Artificielle dans quatre unités de production du Sénégal - Th.: Méd. Vét. : Dakar ; 42.

Thimonier, J., Chemineau P. 1988. Seasonality of reproduction in female farm animals under a tropical environment (cattle, sheep and goats. In: "11th International Congress on Animal Reproduction and Artificial Insemination. -Dublin (Ireland), 26–30 June 1988, University College Dublin, 1988 5: 229–237

Vaissair, J.P. 1977. Sexualité et reproduction des mammifères domestiques et de laboratoire Edition : maloin (S.A),1977.

Vandeplassche, M. 1985. Fertilité des bovins ; Manuel à l'intention des pays en développement. Rome : FAO.- 102p.-(Etude FAO : Productions et santé animales).

Vanerdenburg, F.J.C.M., Karthaus, D., Taverne, M.A.M., Merlcse, I., Szenco. 2005. The Relationship between Estrous Behavioral Score and Time of Ovulation in Dairy Cattle. J. Dairy Sci. 2002, p: 85, 1150-1156.

Wattiaux, 1996. Gestion de la reproduction de l'élevage. Inst. Babcock, Université du Wisconsin, 120-126 pp.

Wattiaux, A.M. 2006. Détection des chaleurs, saillie naturelle et insémination artificielle In : Reproduction et sélection génétique, Babcock Institute. [En ligne] accès Internet : <http://babcock.wisc.edu/node/156>. (page consultée le 20 Janvier 2012).

Weller, 1992. Analyse génétique des traits de fertilité chez les Holstein israéliens par modèles linéaires et à seuil. J.Dairy Sci.; 75: 2541-2548.

Yougbaré, B. 2013. Insémination artificielle au Burkina Faso : bilan et perspectives.