REPUBLIQUE FRANÇAISE
UNIVERSITÉ EUROPEENNE DE BRETAGNE
AGROCAMPUS OUEST
Ecole Doctorale : Vie-Agro-Santé

REPUBLIQUE TUNISIENNE
UNIVERSITÉ DE CARTHAGE
INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE DE TUNISIE

THÈSE EN COTUTELLE

Présentée pour l'obtention du titre de:

DOCTEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES/SCIENCES DE LA VIE

Spécialité : Sciences de production animale / biologie et agronomie

---

CARACTERISTIQUES ANATOMO-PHYSIOLOGIQUES DE LA GLANDE MAMMAIRE CHEZ LA CHAMELLE EN TUNISIE ET SON APTITUDE A LA MECANISATION DE LA TRAITE

Présentée par

Moufida ATIGUI

Devant le jury d'examen:

Pr Brahim HADDAD	INAT, Tunisie	Président
Pr Bernard FAYE	CIRAD, France	Rapporteur
Pr Taha NAJAR	INAT, Tunisie	Rapporteur
Pr Gerardo CAJA	UAB, Espagne	Examinateur
Pr Mounir KAMOUN	ESA de Mateur, Tunisie	Examinateur
Pr Pierre Guy MARNET	INRA/ AGROCAMPUS OUEST, France	Directeur de thèse
Pr Mohamed HAMMADI	IRA de Médenine, Tunisie	Directeur de thèse
Pr Jean-François GRONGNET	AGROCAMPUS-OUEST, France	Invité

19 Décembre 2014

DEDICACE

A mon père pour tous vos sacrifices, vos prières et votre confiance

A ma mère, merci d'être aussi exigeante et de nous avoir toujours poussé pour être les meilleurs

A mes frères Rafik et Hbib, merci pour votre soutien et encouragement continu

A ma sœur Faten, merci pour tes encouragements et d'être ma motivation et compétitrice dès notre enfance

A ma sœur Sassia, merci pour les moments d'escapade quand j'avais le plus besoin

A mon mari Yassine, pour votre patience surtout pendant la dernière ligne droite

Que vous soyez tous assurés de mes sentiments de reconnaissance, de gratitude et d'amour le plus profond

Moufida ATIGUI

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à souligner que cette thèse s'inscrit dans le cadre d'une convention de cotutelle entre l'Institut National Agronomique de Tunisie et l'AGROCAMPUS-OUEST Rennes (France). Les travaux de thèse ont été réalisés au sein du Laboratoire d'Elevage et de la Faune Sauvage à l'Institut des Régions Arides de Médenine (IRA) en collaboration avec l'UMR PEGASE INRA, AGROCAMPUS-OUEST. Je tiens à remercier très sincèrement **Pr Houcine Khatteli**, Directeur Général de l'IRA et **Pr Touhami Khorchani**, Chef du Laboratoire d'Elevage et de la Faune Sauvage de m'avoir si bien accueillie au sein de leur équipe et de l'opportunité qu'ils m'ont accordé pour mener mes travaux de recherche.

J'adresse mes remerciements les plus sincères au **Pr Mohamed Hammadi**, d'avoir dirigé et encadré cette thèse, pour sa rigueur scientifique, pour ses critiques instructives ainsi que pour ses précieux conseils. Je le remercie aussi pour la confiance qu'il m'a accordée, pour son soutien et ses encouragements. Je le remercie d'autant plus pour ses qualités d'écoute et de patience. Qu'il soit assuré de ma profonde reconnaissance et de mon très grand respect.

Je ne saurais assez remercier **Pr Pierre-Guy Marnet**, de m'avoir dirigé à l'Agrocampus Ouest. Je tiens à le remercier pour l'accueil chaleureux et familial à Rennes. Merci pour votre soutien et de m'avoir fait bénéficier de votre expérience et d'initier ensemble l'étude de la physiologie de lactation de la chamelle.

Je tiens à mentionner le plaisir et l'honneur que m'ont accordé **Mr Bernard Faye**, Chercheur au CIRAD, Montpelier et **Mr Taha Najar**, Professeur à l'INAT, qui ont accepté d'évaluer cette thèse et d'en être rapporteur. Je remercie également **Mr Brahim Haddad**, Professeur à l'INAT, Mr **Gerardo Caja**, Professeur à UAB, Espagne, **Mr Mounir Kamoun**, Professeur à ESA de Mateur et **Mr Jean-François Grongnet**, Professeur à l'Agrocampus Ouest d'avoir fait l'honneur et d'accepter d'évaluer mon travail, et y apporter leur regard critique et ainsi contribuer à son amélioration.

Mes remerciements vont de même aux membres de l'équipe du Laboratoire d'Elevage et de la Faune Sauvage à l'IRA, Medenine **Mr Mohsen Chammem**, **Mr Mohamed-Habib Yahyaoui**, **Mr Mouldi-Mabrouk Seddik, Mr Mekki Moslah** et **Mr Imed Salhi** pour leur amicale sollicitude et leur gentillesse. Je tiens à remercier particulièrement **Mr Ahmed Barmat** pour son aide et patience sur le terrain surtout au début de ce travail de thèse.

Je tiens à remercier en particulier mes collègues de bureau et amies **Naziha, Imen** et **Ghada**, je vous remercie pour tous les moments de bonheur que nous avons partagés, et les moments difficiles où vous étaient à mes côtés et vous l'êtes pour toujours ! Je remercie aussi **Samira** pour son soutien, ses encouragements, sa générosité et d'être là au moment de besoin. Mes remerciements s'adressent aussi à **Aicha** pour son aide et d'avoir facilité la vie pour tout le monde dans notre équipe.

Sans oublier **Mohamed, Hager, Meriem, Salma et Mouna**, j'ai eu une énorme chance d'avoir connu toutes ces personnes aussi différentes, mais tous ayant un grand cœur.

Tous mes sentiments de reconnaissance à mes amis à Rennes. Je tiens à remercier **Clara, Marie-Emmanuelle, Yanick, Lucile, Anne-Lise, Justine, Josseline, Vanessa** merci pour les bons moments, l'accueil chaleureux et les cadeaux que vous m'avez offert. Merci à **Nicolas et Clémentine** mes voisins du bureau pour l'encouragement et les fous rires que j'entends s'éclatés de leur bureau, merci **Clémentine** pour la chamelle que tu m'as dessiné j'en suis très fière. Un grand merci à **Jacques Portanguen** pour ton bonne humeur, ta patience et ton aide au laboratoire.

J'adresse aussi ma profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce travail. Je cite particulièrement le personnel de l'OEP, Messieurs **Mohsen Ben Sassi, Mohamed Saleh Cherni, Abdelkader Wahada, Ourimi Abed El Aziz, Meftah Abdelgaoui** pour leur aide précieuse lors de la réalisation des mensurations de la morphométrie de la mamelle de la chamelle auprès des éleveurs. Mr **Faouzi Souissi** et le personnel d'AGRI-Med Services pour leur assistance et le matériel fournis au cours du travail réglage de la machine à traire. Je tiens à remercier également l'équipe de la station de l'IRA à Chenchou pour l'accueil et l'ambiance familiale. Je remercie particulièrement **Mr Ahmed Belgacem** et **Mr Mohamed Dhaoui**, respectivement ex-directeur et directeur actuel de la station expérimentale de Chenchou, pour leur soutien et encouragement. Mes plus grande gratitude et reconnaissance sont adressées à **Mr Bechir Saafi**, qui m'a appris tant de la chamelle et avant tout la passion envers cet animal majestueux.

Enfin, mes vifs remerciements à l'Agence Universitaire de la Francophonie (**AUF**) pour son **soutien financier** lors de mon dernier séjour en France et la Communauté Européenne à travers le Project PROCAMED "Promotion des systèmes camelins innovants et des filières locales pour une gestion durable des territoires sahariens: référence IB/1.1/493" pour le soutien financier.

Et pour n'oublier personne, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

RÉSUMÉ

Le présent travail de thèse vise à étudier l'aptitude de la chamelle Maghrebi en Tunisie à la traite mécanique afin d'identifier les pratiques et la conduite de traite pour préserver voire optimiser son potentiel laitier.

Il s'avère que la chamelle (*Camelus dromedarius*) possède une conformation de mamelle et des trayons assez développée. L'intensification de l'élevage s'est traduite par l'augmentation de la production laitière et le volume de la mamelle et des trayons. Des corrélations positives et hautement significatives entre la production laitière et le diamètre et la longueur du trayon, et la profondeur de la mamelle ont été mises en évidence. De même, les débits maximum et moyen du lait ont été positivement corrélés au diamètre et à la longueur du trayon. Une grande hétérogénéité de la forme des trayons a été décrite (conique (41%), cylindrique (39%) et irrégulière (20%)).

Par ailleurs, la chamelle Maghrebi se caractérise par une citerne très réduite (inf. 5% du lait). En fin de lactation, les trayons sont flasques et vides avant éjection du lait suggérant l'importance de la pré-stimulation pour une bonne éjection du lait.

Trois profils types de cinétique d'émission du lait ont été définis. Le type 1 représente les courbes ayant un pic élevé et court du débit de lait. Le type 2 inclut les courbes au débit modéré avec un plateau plus étendu. Le type 3 représente les courbes à faible débit et un temps de traite relativement long. Le ratio des 3 types est respectivement, de 40:38:22%. Les animaux aux profils type 1 et type 2 sont les plus aptes à la traite mécanique.

Par ailleurs, un vide élevé et une pulsation faible (48 kPa, 60 cpm) s'avèrent efficaces pour une bonne traite de la chamelle. Ce couple vide/pulsation permet une vidange rapide et complète de la mamelle. D'ailleurs, à 38 kPa la durée de la traite s'étend jusqu'à 2 fois plus et l'extraction du lait chute jusqu'à 2,5 fois moins.

Il a été démontré clairement qu'une traite efficace de la chamelle doit inclure la pré-stimulation, la pose rapide des gobelets trayeurs et un environnement calme durant la traite afin d'assurer une éjection rapide du lait, une vidange complète de la mamelle et réduire l'incidence des bimodalités.

Mots-clés : Traite mécanique, morphologie de la glande mammaire, taille citernale, cinétique d'émission de lait, chamelle.

ABSTRACT

This thesis aims to study the machine milking ability of the Tunisian Maghrebi camel in order to identify the practices and milking management preserving and improving its dairy potential.

Camels (*Camelus dromedarius*) have a quite developed udder and medium sized teats. Intensification of animal management resulted in increase milk production and udder and teats size. Teat length, teat diameter and udder depth were highly and positively correlated to milk yield. Similarly, teat length and diameter were highly and positively correlated to average and peak flow rates. A high heterogeneity of teat morphology was described (conical (41%), cylindrical (39%) and irregular (20%)).

Furthermore, Maghrebi camel is characterized by a very small cistern (less than 5% of milk). In late lactation, teats were flaccid and empty prior to milk ejection which suggests the importance of pre-stimulation for a good milk ejection.

Milk flow kinetics of dairy camels were classified into three typical patterns. Type 1 represents curves with one high and short peak of milk flow. Type 2 includes curves with a moderate milk flow rate and a larger plateau phase. Type 3 represents curves with lower milk flow rate and a relatively longer milking time. The ratio of the different milk flow kinetics was 40:38:22%, respectively for the types 1, 2 and 3. Animals with type 1 and type 2 patterns had good machine milking ability.

In addition, high vacuum and low pulsation rate (48 kPa, 60 cpm) improve milking efficiency of dairy camels. This setting allows a rapid and complete emptying of the udder. While, milking at 38 kPa lengthens milking duration up to two times and reduces efficiency of milk removal (2.5 times less milk removed) indicating incomplete emptying of the udder.

It has been clearly demonstrated that efficient machine milking of camels should include pre-stimulation, quick cluster's attachment and calm milking surroundings in order to ensure rapid milk ejection, complete emptying of the udder and reduce incidence of bimodality.

Keywords: Machine milking, udder and teats morphology, cisternal size, milk flow kinetics, camels.

الملخص

حذف الأغشية إن تسبب استعمال ابمثان ُ قان غشبان خسرت ن هذب ا .نَ بذف حذذلن طش ق أن ًاسساث ان خ
جب اغ ًا ا ذخذس ٍ لذسح ا الاخاجث.

ا عخ أ الإ م (*Camelus dromedarius*) خضرب عش ع ده ًاثي خس طت ذاجي شك م عام. لذ اد اغ ًاد
ملطخشيثان لفت ا نحطبس دجي ان عش ع أن ذه ًاثبان خاصي الفرض ًادة فـ إخاجان ذه ث. حظش ذاس ت جد الت
يع ُث يجتب ٍ ك ًثان ذه ثبان خجتي ٍ جت ع ًكان عش ع ٍ لطشان ذه ًي ٍ جت اخ ش. ٍ ا ٍ غل
لطشان ذت ن ال التي ع ُث يجتب ًخسط أل ص معدلات خفكان ذه ث ثاء ل ذهب. ك ًاخضان ُ قان غش بجبا ٍ
يظ ش ك شن ش ك مان ذه ت) ي خش غ)41٪(،أس ط)39٪(غش ي خظت)20٪(.

ال ة ع ه رن ك، خضان ُ قان غش بجبض ا ظش ع ص غش ذاجي) أل مي ٍ 5٪ي إن ذه ث (. فـ أخشي ش دت
ن ذال ت حجذ أن ذه ًاثس خ ة فـ اس غ ل ٍ م إس اس ان ذه ث ي ًاش ش إ ن أ ث خف ٍ ا ال س ل ل ٍ مان ذهب عملث ل ذهب.

حظش ذاس ت جد الث أ ًاغ ذش ك ث خفكان ذهيب عندان ُ قي . ث مان ع الاول ان ًذ ُ اث ان خفك ف ٍ ا
ان ذه ثيس ش عت ُ لفاعك ش ٍ . خ ع ً إن ع إن ثا ان ًذ ُ اث ان خضرب خفك ده ث ال س ش عت ُ لش ي اخذاد. ي ا
ان ع ل ان ثفا ً ى ان ًذ ُ اث ر اث معدل خفك ده ث ي ُ خ فط ُ ي ذة دهب ا غل سرب ا . حث م سيت ز الأ اع ع ه
ان خا ن 38:40: 22٪. ُ ك ٍ اجبا ل ذ ا اث ي إن ع 1 ُ 2 ٍ الأس ب ن هذهب ا .نَ.

ُ ب الإضافت ، خ ٍ ا ٍ ظبطآرت ل ذهب ع ي س خ ظغط ع ال سيت بطي ُ ق ت)48 kPa، 60 cpm)ل ذ
ثبخ خ ل ن خ ا فـ اقش اغ ان عش ع ش ك ي س ش غ ك ي م. فـ د ٍ ك ٍ ا ٍ ؤ د ظبط ا ع ي س خ 38 kPa ا ن ا غ ي ذة
ل ذهب ي ش ح ٍ ك ش ح فـ ض اس خ ش اجان ذه ث 2.5 ي ش ة أل م .

ل ذج ٍ ب ظ ح أ عمل ٍ دهب فـ ل ن ه ُ قح خاجان ًاغ ًادان خض ل ٍ مان ذه، حش ك ث س ش غ ك ؤ ط ل ل ن ت
خفش ي ك ا ٍ ادئ ي ُ ض ل حج ُ ب خفـ ان ُ ال ت ث ُ اء ل ذهب ن ع ًا ٍ جذ ٍ فـ اعلث ل ذهب ا . ن إفش اغ ك ي م ه ع ش ع.

كلمات مفتاحية : ل ذهب ا .نَ، ي س فـ ن ج ث ان عش ع أن ذه ًاث، ض ا ان عش ع، ا ًاغ خفكان ذه ث، ان ُ قي.

LISTE DES PUBLICATIONS ET DES COMMUNICATIONS

Publications

Atigui M., Hammadi M., Barmat A., Farhat M., Khorchani T., Marnet P.G., **2014**. First description of milk flow traits in Tunisian dairy dromedary camels under intensive farming system. *Journal of Dairy Research*, 81, 173–182.

Atigui M., Marnet P.G. Ayeb N., Khorchani T., Hammadi M., **2014.** Effect of changes in milking routine on milking related behaviour and milk removal in Tunisian dairy dromedary camels. *Journal of Dairy Research*, 81, 494–503.

Atigui M., Marnet P.G., Barmat A., KhorchaniT., Hammadi M., **2014.** Effects of vacuum level and pulsation rate on milk ejection and milk flow traits in Tunisian dairy camels (*Camelus dromedarius*). *Journal of Tropical Animal Health and Production*, (*publier en ligne* . DOI 10.1007/s11250-014-0708-0).

Atigui M., Hammadi M., Bessalah S., Harrabi H., Seddik M.M., Khorchani K., and Marnet P.G. Milk partitioning in the udder and cisternal size throughout lactation in dairy camels (*Camelus dromedarius*). (*Soumis à Small Ruminant Research*).

Communications à des congrès

Atigui M., Hammadi M., Barmat A., Khorchani T. and Marnet P.G. **2011.** Effects of vacuum level and pulsation rate on milk flow traits in Tunisian Maghrebi camels (*Camelus dromedarius*). Poster et résumé: In *Book of Abstracts of the 62nd Annual Meeting of EAAP*, Stavanger, Norway **17,** 298.

Atigui M., Hammadi M., Ourieme A.A., Cherni M.S., Khorchani T. et Marnet P.G. Note sur la corrélation entre la morphométrie de la mamelle et la production laitière chez la chamelle en Tunisie élevée sous différents systèmes d'élevage. 22ème Forum de l'Association Tunisienne des Sciences Biologiques (ATSB) Mahdia, Tunisie, 28 – 31 Mars 2011.

Atigui M., Hammadi M., Khorchani T. and Marnet P.G. Aptitude de la chamelle à la traite mécanique: propriétés de la courbe d'éjection du lait. 24ème Forum de l'Association Tunisienne des Sciences Biologiques (ATSB) Sousse, Tunisie, 25 – 28 Mars 2013.

Atigui M., Hammadi M., Khorchani T. and Marnet P.G. Effects of delaying milking cluster attachment after teat stimulation on milk ejection in dromedary camels. Scientific Conference of Camel research and Production Khartoum, Sudan, April 17 - 18, 2013.

Atigui M., Hammadi M., Bessalah S., Harrabi H., Khorchani T. and Marnet P.G. Evolution de la taille citernale et de la répartition du lait dans la mamelle chez la chamelle *(Camelus dromedarius)* durant la lactation. 21ème journées 3R, Rencontre autours des Recherches sur les Ruminants. 3 - 4 Décembre 2014, Paris, France.

Atigui M., Marnet P.G., Dhaoui M., Khorchani T. and Hammadi M. Machine milking ability of dromedary camels: relationship between udder and teat measurements and milking traits. Séminaire International sur l'Élevage et la Faune sauvage en milieux Arides et Désertiques – SIEFAD^{2014}, Djerba, Tunisie, 16 – 18 Décembre 2014.

Atigui M., Hammadi M., Bessalah S., Harrabi H., Khorchani T. and Marnet P.G. Ultrasonography of udder and teats, and milk ejection in dairy camels (*Camelus dromedarius*) according to lactation stage. Séminaire International sur l'Élevage et la Faune sauvage en milieux Arides et Désertiques – SIEFAD^{2014}, Djerba, Tunisie, 16 – 18 Décembre 2014.

Travaux rédigés en lien avec le travail de la thèse

Atigui M. et Hammadi M. 2013. [Intensification de la production laitière de la chamelle : Bases physiologiques et pratiques de la traite.] Dans le cadre des Journée de formation et d'information : « Intensification de la production laitière de la chamelle et contrôle de la productivité » au profit des éleveurs des camelins et les techniciens de l'office d'élevage et des pâturages, ministère de l'agriculture tunisien. Gabès, Tunisie, 03 Juin 2013.

Atigui M., Barmat A., Seddik M.M., Khorchani T., et Hammadi M., [Traite mécaniques des chamelles.] Dépliant préparé au profil des éleveurs des camélidés, dans le cadre du projet PROCAMED, en collaboration avec Agence de Vulgarisation et de la Formation Agricole (AVFA), Ministère de l'agriculture, novembre 2014.

Khorchani T., Barmat A., Seddik M.M., **Atigui M.,** et Hammadi M., [Intensification de la production laitière du dromadaire dans les oasis et les périmètres irrigués.] Dépliant au profil préparé des éleveurs des camélidés, dans le cadre du projet PROCAMED, en collaboration avec Agence de Vulgarisation et de la Formation Agricole (AVFA), Ministère de l'agriculture, novembre 2014.

Atigui M. et Hammadi M. 2014. [Mécanisation de la traite de la chamelle]. Session de formation sur l'élevage, l'alimentation et la santé des dromadaires. Becosa: bureau d'études, de conseils et de services agricoles. CFPRA, 4-6 Novembre 2014 El-Fjé Medenine.

TABLES DES MATIÈRES

	Page
DÉDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
RÉSUMÉ	iv
ABSTRACT	v
ملخص	vi
LISTE DES PUBLICATIONS ET DES COMMUNICATIONS	vii
TABLES DES MATIÈRES	ix
LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX	xii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
Partie 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
Chapitre 1 : Aperçu sur le dromadaire et sa production laitière	4
1.1.Conduite de l'élevage camelin en Tunisie	4
1.1.1. Alimentation	5
1.1.2. Paramètres de reproduction	5
1.2. Caractéristiques de la production laitière	6
2.3. Facteurs de variation de la production laitière	7
2.3.1. Variabilité génétique	7
2.3.2. Disponibilité alimentaire	8
2.3.3. Fréquence d'abreuvement	8
2.3.4. Stade de lactation	9
2.3.5. Parité	9
2.3.6. Fréquence et intervalle de traite	9
Chapitre 2 : Morphologie de la glande mammaire chez les animaux laitiers	11
2.1. Intérêt de l'étude la morphologie mammaire	11
2.2. Morphologie de la glande mammaire de la chamelle	13
2.3. Morphométrie de la glande mammaire	15
2.3.1. Mensuration de la mamelle	15
2.3.2. Mensuration des trayons	16
2.3.3. Facteurs de variation de la morphologie de la mamelle	16

2.4. Anatomie interne de la glande mammaire 17
2.4.1. Structure interne de la mamelle 17
2.4.2. Distribution des fractions du lait dans la mamelle avant éjection 18
Chapitre 3 : Réponses physiologiques des animaux à la traite 21
3.1. Stimulation mammaire et réponse endocrine 21
3.1.1. Ocytocine (OT) et éjection du lait 21
3.1.2. Hormones galactopoïétiques 23
3.1.3. Effet de la répartition du lait sur sa sécrétion 24
3.2. Inhibition de l'éjection du lait 25
3.2.1. Inhibition centrale 26
3.2.2. Inhibition périphérique 26
Chapitre 4 : Adaptation des animaux à la traite mécanique 28
4.1. La machine à traire 28
4.1.1. Niveau de vide 29
4.1.2. Pulsation 31
4.1.3. Action spécifique du faisceau trayeur sur la traite 32
4.2. Aptitude des animaux à la traite mécanique 33
4.3. Influence des pratiques de traite sur l'éjection du lait et la vidange mammaire 36
4.3.1. Pré-stimulation 36
4.3.2. Préparation des trayons 37
4.3.3. Pose du faisceau trayeur 38
4.3.4. Environnement de la traite 39
4.3.5. Egouttage machine 39
4.3.6. Traitement post-traite 40
Objectifs de la thèse 41

Partie 2 : TRAVAIL EXPERIMENTAL

MATERIEL ET METHODES COMMUNS

1. Morphologie de la mamelle et du trayon 42
2. Mesures des courbes de débit du lait 43
2.1. Matériel de traite 43
2.2. Lactocorder 43

3. Analyses hormonales 45

3.1. Pose des cathéters et prises sanguines 45

3.2. Extraction et dosage de cortisol 45

3. Imagerie échographique 46

Chapitre 1: Anatomie et morphologie de la mamelle et du trayon de la chamelle : conséquence sur l'aptitude à la traite mécanique

Article 1: Aptitude de la chamelle à la traite mécanique : relation entre les caractères morphologiques et les caractéristiques de la cinétique d'émission de lait 47

Article 2: Répartition du lait dans la mamelle et évolution de la taille citernale en fonction du stade de lactation chez la chamelle laitière 73

Chapitre 2: Description des courbes d'éjection du lait et évaluation de l'aptitude à la traite mécanique des chamelles

Article 3: Première description des caractéristiques de la cinétique d'émission du lait chez la chamelle laitière en Tunisie élevées en système intensif..... 99

Chapitre 3: Effets du niveau de vide et de la fréquence de pulsation sur l'éjection du lait et les caractéristiques de la courbe du débit de lait chez la chamelle

Article 4: Effets du changement du niveau de vide et de la fréquence de pulsation sur l'éjection de lait et la cinétique d'émission du lait chez la chamelle laitière (*Camelus dromedarius*) en Tunisie..... 111

Chapitre 4: Etude des effets du changement de la routine machine à traire sur l'éjection du lait, les caractéristiques de la courbe d'éjection du lait et la réponse comportementale des chamelles

Article 5: Effet du changement de la routine de traite sur la réponse comportementale et la vidange du lait chez la chamelle laitière en Tunisie..... 119

Partie 3: DISCUSSION GÉNÉRALE

1. Morphologie externe de la mamelle et du trayon et aptitude à la traite mécanique de la chamelle 131

2. Taille citernal et répartition du lait dans la mamelle de la chamelle..... 135

3. Interprétation des cinétiques d'émission de lait de la chamelle 137

4. Routine et environnement de traite mécanique de la chamelle..... 139

CONCLUSION GÉNÉRALE..... 141

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... 143

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

(Hors publications en cours et publiés)

Figures

Page

Fig. 1 : Importance relative du dromadaire dans le monde arabe en 2012..... 1

Fig. 2 : Courbe de lactation moyenne chez la chamelle basée sur la production hebdomadaire pour 59 semaines de lactation 7

Fig. 3 : Variabilité morphologique de la glande mammaire chez la chamelle ……..…. 14

Fig. 4 : Différentes formes des trayons 14

Fig. 5 : Diversité en position, nombre et anatomie du trayon et de la mamelle des animaux domestiques 17

Fig. 6 : Deux ou trois orifices par trayon chez la chamelle 18

Fig. 7 : Reflexe d'éjection du lait 22

Fig.8 : Principe de fonctionnement de la machine de traite et action du gobelet trayeur sur le trayon..... 29

Fig. 9 : Effet du niveau de vide sur le débit maximum et le lait d'égouttage 30

Fig.10 : Les différentes phases d'éjection du lait chez la vache 34

Fig. 11 : Mesures des trayons et de la mamelle de la chamelle..... 43

Fig. 12 : Différentes formes de trayons chez la chamelle 43

Tableaux

Tableau 1 : Mensuration (cm) de la mamelle chez la chamelle élevée en intensif et en extensif 15

Tableau 2 : Mensuration (cm) des trayons chez la chamelle, la vache et la bufflonne 16

Tableau 3: Description des méthodes de mesures des traits morphologiques de la glande mammaire chez la chamelle 42

Tableau 4 : Description des paramètres de la cinétique d'émission du lait chez la Chamelle……..... 44

Avant propos

Tout au long de ce document de thèse nous utiliserons indifféremment le terme de chamelle au lieu du dromadaire femelle comme il est de coutume au Maghreb alors qu'en France il est plutôt habituel de réserver le terme de chamelle au chameau de Bactriane que l'on trouve en Asie. Toutes les études faites ici concernent le dromadaire Tunisien exclusivement.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La satisfaction des besoins de la population en termes de lait reste jusqu'à présent un souci majeur pour plusieurs pays, particulièrement les pays des régions arides et semi-arides où l'activité d'élevage laitier demeure limitée. Compte tenue de la croissance démographique continue et de l'évolution accrue du niveau de consommation, l'accroissement de la productivité des systèmes d'élevage laitier et la diversification de ses ressources devient un défi national pour les pays de ces régions. Dans ce cadre, les camélidés revêtent un intérêt particulier, car ils interviennent là où toute autre activité d'élevage devient difficile et serait par conséquence onéreuse et marginale (Narjisse, 1989). Dans le contexte actuel de changement climatique et de désertification qui va encore accroitre les surfaces arides peu propices à l'élevage laitier, l'adaptation de ces animaux et leurs multiples usages en font des alliés précieux et le choix ultime pour faire face à ces nouveaux défis (Faye, 2013). D'ailleurs, leur élevage est en pleine mutation avec des productions qui se diversifient et s'intègrent à la demande des consommateurs.

Cependant, l'élevage des grands camélidés demeurent marginal à l'échelle planétaire avec seulement 0,4% du cheptel herbivore mondial et une contribution de 0,2% à la production laitière totale dans le monde (Faye, 2013). Néanmoins, l'effectif des camélidés et plus précisément des dromadaires, représente une part importante de la biomasse herbivore domestique de l'Afrique avec 12% (Faye, 2008) et 8% de celle du monde arabe en 2012 (Fig. 1) (FAO, 2014).

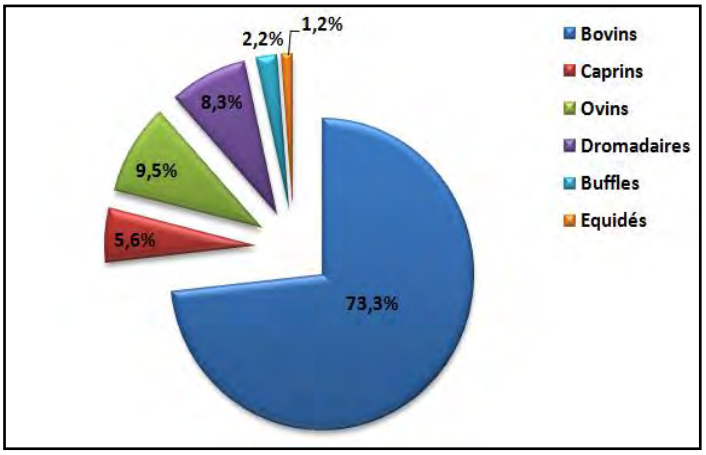

Fig. 1. Importance relative du dromadaire dans le monde arabe en 2012

Source : FAO DataBase (2014)

Les dernières statistiques de la FAO estiment l'effectif des grands camélidés à près de 27 millions de têtes en 2012, dont près de 23 millions en Afrique (dromadaires exclusivement). La production laitière est estimée de 2,8 millions de tonnes à travers le

monde en 2012. Etant donnés que les camélidés occupent en quasi-totalité des régions éloignés et à accès difficile, le contrôle de l'évolution de leurs effectifs et leurs performances sont rares, peu fiables ou limités à très peu d'animaux (Faye, 2009).

La production laitière individuelle n'est pas bien documentée dans la littérature. Un intervalle de 1000 à 3300 litres/lactation est rapporté pour le dromadaire en Afrique (Faye, 2008). La littérature provenant de l'Asie, offre de son coté un intervalle de 650 à 6000 litres/lactation voire plus (Khan et Iqbal, 2001). Une grande variabilité génétique est rapportée (Ismail et Al-Mutairi, 1998), mais la pression de sélection génétique est généralement faible. Raziq et al. (2008) qualifient le dromadaire comme étant un animal à potentiel laitier mais dans un environnement difficile. Dans leur revue de littérature, ils rapportent que le dromadaire Pakistanais de race « Marecha » produite de 8 à 10 litres/jour, mais dans des conditions d'élevage intensif cette production peut augmenter jusqu'à 15 à 20 litres/jour.

Cependant, les systèmes d'élevage camelin évoluent. Le dromadaire subit des changements des systèmes de production qui répondent aux changements de mode de vie des éleveurs qui passent du nomadisme à la sédentarisation ainsi qu'à la demande accrue en termes de produits camelins. En effet, Faye (2013) signale, en Arabie Saoudite, que l'urbanisation pousse les Bédouins à s'installer autours des villes et à intensifier leur production pour proposer des produits mieux adaptés aux besoins du marché. Dans les Emirats Arabes Unis (UAE), la création de la première ferme moderne à grand échelle dans le monde a permis de prouver la possibilité d'un projet pareil d'élevage laitier intensif de la chamelle (Juhasz et Nagy, 2008). Cependant, ces auteurs affirment que les défis pour réussir un tel projet sont multiples. En Tunisie, l'élevage du dromadaire est à l'origine concentré dans les zones arides et désertiques du centre et du sud du pays. Cet élevage est extensif avec recours à la complémentation alimentaire des chamelles en fin de gestation, en début de lactation et en période de disette (El Hatmi et al, 2003). Toutefois, ces dernières années ce secteur a soulevé beaucoup d'intérêt et des unités d'élevage intensif de chamelles laitières se sont implantées dans les zones périurbaines et les oasis du sud tunisien. La pérennité de ces élevages est liée à leur rentabilité qui dépend de l'augmentation de la production laitière qui est, entre autres, liée à l'intensification du système d'élevage et à l'adaptation de nouvelles technologies comme la mécanisation de la traite (Hammadi et al, 2010). L'encouragement des éleveurs et le développement du secteur camelin fait désormais partie intégrante du programme national de développement d'une part et conduit au développement d'un axe de

recherche qui ne cesse d'attirer l'attention des chercheurs nationaux et internationaux afin de promouvoir cette filière.

L'introduction de la traite mécanique dans les élevages intensifs est inévitable. O'Brien et al. (2012) estiment que 33% de l'apport net du travail / jour dans une entreprise laitière est associé au processus de la traite. Ainsi, l'optimisation de l'apport du travail est l'un des défis majeur qui font face aux éleveurs laitiers. La traite mécanique a été initialement introduite afin de diminuer la charge du travail liée au chantier de traite. Singh et Dang (2004) ont montré que la traite mécanique permet de gagner près de la moitié du temps de la traite, traire plus d'animaux/ trayeur/ heure dans des meilleurs conditions et d'éviter la traite incomplète. La traite mécanique permet aussi de récolter un lait de meilleur qualité hygiénique mieux adapté à la conservation, transformation et commercialisation (Filipovic et Kokay, 2009 ; Marnet, 2013). Cependant, la mécanisation de la traite dans l'élevage camelin s'est imposée suite à l'intensification de l'élevage de cette espèce par simple transcription de la technologie utilisée pour la vache laitière avant même d'étudier et proposer les adaptations et les améliorations des équipements requises pour une utilisation adéquate. D'autre part, la sélection actuelle des chamelles pour la traite mécanique se base essentiellement sur leurs performances individuelles de production et leur réponse comportementale (agressivité) lors du dressage à la traite mécanique, qui peut éventuellement provoquer des modifications excessives de la mamelle pour l'avenir dans le système d'élevage intensif.

Ce travail de thèse, entre dans le cadre de ces travaux sur l'appui au développement du secteur camelin laitier dans le sud tunisien, avec pour objectif l'étude de l'aptitude à la traite de la chamelle (*Camelus dromedarius*) afin d'identifier les pratiques et conduite d'élevage préservant voire optimisant le potentiel laitier de cette espèce.

La première partie de ce document, est consacrée à une synthèse des données de la littérature sur l'espèce caméline et sur les paramètres qui font l'aptitude à la traite mécanique chez les animaux laitiers. Nous la concluons par une présentation des objectifs de la thèse. En raison du manque de données bibliographiques sur l'aptitude de la chamelle à la traite mécanique, on s'est référé aux données traitant cet aspect chez d'autres espèces laitières. La deuxième partie porte sur le travail expérimental réalisé et comporte quatre chapitres. Le premier s'intéresse d'une part à la description de la morphologie de la mamelle et des trayons chez les chamelles et à la corrélation entre les caractères morphométriques et l'aptitude à la traite mécanique, d'autre part à l'estimation des mensurations mammaires internes par échographie et la répartition du lait dans la mamelle. Le deuxième chapitre décrit des courbes

d'éjection du lait chez la chamelle. Le troisième chapitre concerne la détermination des réglages de la machine les plus appropriés pour traire cette espèce. Le quatrième chapitre évalue l'effet du changement de la routine de traite sur la réponse comportementale et la vidange de la mamelle chez la chamelle. La troisième partie de ce document est consacrée à la discussion générale. Enfin, nous présentons les conclusions retirées, les recommandations à proposer et les perspectives de recherche.

Partie 1: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1 : Aperçu sur le dromadaire et sa production laitière

Le dromadaire est un animal de désert, bien adapté aux différents environnements hostiles par son comportement alimentaire particulier et sa physiologie digestive, hydrominérale et thermorégulatrice exceptionnelle. Il appartient à la famille des camélidés qui regroupes deux genres dont le plus important est le *Camelus*. Au sein de ce genre, on trouve deux espèces: *Camelus bacterianus* et *Camelus dromedarius*. Cette dernière est la plus importante et la plus répandue dans le monde. Son aire de distribution est limitée aux régions tropicales, subtropicales, arides et semi-arides d'Afrique et d'Asie et plus récemment après introduction par l'homme au XIX siècle, d'Australie. Selon la FAO (2014), l'effectif mondial des camélidés est d'environ 26,8 millions têtes dont plus de 80% se situent en Afrique. En Tunisie, 1.250.000 ha des parcours désertiques sont exploités par le dromadaire et la majorité de l'effectif camelin estimé à 100.000 têtes, est localisée dans les parcours du sud tunisien (Hammadi, 2010).

Le lait de la chamelle ainsi élevée sur les parcours naturels ne servait à l'origine que pour la survie des chamelons et partiellement pour l'alimentation des chameliers. Ce lait est cependant depuis quelques temps produit dans l'idée d'une commercialisation en circuit court mais plusieurs facteurs entravent le développement de la filière laitière cameline, parmi lesquels nous citerons: le système d'élevage extensif, le faible potentiel laitier, la pratique de la traite manuelle, l'infrastructure de base pour la collecte du lait,... Cependant, malgré cette quantité de lait faible disponible à la vente (El-Hatmi et al, 2004), la demande s'est accrue suite à l'accroissement de sa réputation pour ses vertus thérapeutiques diverses : Ce lait est assez riche en insuline (Agrawal et al, 2003) et ne contient pas de β-lactoglobuline, une des protéines du lactosérum la plus allergène chez le nourrisson. Il est aussi utilisé contre la tuberculose, le diabète juvénile (Beg et al, 1985).

1.1. Conduite de l'élevage camelin en Tunisie

Exception faite des effectifs destinés aux activités touristiques, l'élevage des dromadaires dans le sud tunisien, est organisé en troupeaux de taille variant de 40 à 120 têtes. La taille moyenne d'un troupeau camelin est de 85 têtes dont 7,1 et 30,2% sont respectivement des mâles et des femelles âgés de moins de 4 ans. Les femelles adultes constituent 61,5% alors que les géniteurs ne représentent que 1,1% de l'effectif total du troupeau (Ismaïl, 1999).

1.1.1. Alimentation

L'alimentation du dromadaire se compose d'espèces pastorales pérennes ou annuelles de faible valeur nutritionnelle. Pendant les saisons d'automne et d'hiver, les éleveurs amènent leurs troupeaux sur de grandes étendues où la végétation est riche en sels minéraux (surtout en Cl et Na), alors que pendant le printemps, les troupeaux transhument dans les régions de Dhahar. Dans cette région, le dromadaire ingère quelques dizaines d'espèces végétales, aussi bien herbacées qu'arbustives, selon un ordre de préférence lui permettant de subvenir à ses différents besoins, tout en évitant la consommation de plantes toxiques ou vénéneuses. Toutefois, la ration journalière se compose de végétaux caractérisés par une faible teneur en matière minérale et plus particulièrement en phosphore. La nature basique du sol limite davantage la diversité des espèces végétales et surtout les légumineuses, caractérisées par leur richesse en protéines nécessaires à la croissance ainsi qu'à la production des animaux. La carence en phosphore peut provoquer chez les jeunes un retard de croissance, une réduction de la fertilité, une grande vulnérabilité aux maladies parasitaires et des taux d'avortement et de mortalité importante (Hammadi, 1999). Le déséquilibre phosphocalcique vécu par les dromadaires au cours de leur séjour dans les parcours de Dhahar est aussi à l'origine de la maladie de Krafft communément connue sous le nom de H'chem (Seddik, 2006) et qui porte atteinte à l'appareil locomoteur des animaux. Pendant l'été, les animaux sont élevés dans une zone intermédiaire occasionnellement emblavée au cours du printemps.

1.1.2. Paramètres de reproduction

Sous les conditions d'élevage traditionnel, les premiers signes de chaleurs chez le dromadaire, s'observent en général lorsque la jeune femelle atteint 50-60% de son poids adulte. Ce poids peut être atteint à l'âge de 3 ans (Hammadi, 2003). Toutefois, la jeune chamelle n'est mise à la reproduction (nubilité) qu'après avoir atteint 70% du poids adulte (Moslah, 1993).

La chamelle présente une activité sexuelle saisonnière (Sghiri et Driancourt, 1999 ; Hammadi, 2003). La majorité des études rapportent une période d'accouplement entre la fin du mois de décembre et la fin du mois de mars (San Martin, 1961; Moslah, 1993).

La gestation chez la chamelle dure de 12 à 13 mois (Wilson, 1984; Moslah et Megdich, 1989). En Tunisie, Hammadi (2003) rapporte une durée de gestation de la chamelle égale à 387,6 jours.

Chez la chamelle, l'intervalle entre deux mises-bas consécutives est relativement long. La courte durée de la saison sexuelle (San Martin, 1961; Moslah, 1993), la sous-alimentation souvent chronique et l'allaitement semblent des facteurs limitant la reprise de l'activité sexuelle pendant l'année de chamelage (Hammadi, 2003). En Tunisie, cet intervalle est, en moyenne, de 24 mois (Ismail, 1990). Toutefois, la séparation précoce des jeunes de leurs mères ou l'induction hormonale de l'activité sexuelle des mères ont permis de réduire cet intervalle de 10 mois (Minoia et al, 1992; Hammadi et al, 2002).

1.2. Caractéristiques de la production laitière

Les données concernant la production laitière de la chamelle présentent une grande variabilité. Selon les références de différents auteurs, la durée de la lactation varie de 9 à 18 mois avec des rendements en lait compris entre 3,5 et 40 litres/ jour (Yagil, 2000 ; Khan et Iqbal, 2001). Les valeurs annoncées sont peu homogènes, leur grande dispersion s'expliquant par le fait que les mesures ont été établies de manière ponctuelle et sans prendre en compte des facteurs particuliers pouvant influencer la production laitière. De plus, il existe des races (bien que d'un point de vue génétique l'existence de plusieurs races de dromadaire soit controversée) et des individus à potentiel laitier très différents; la pression sélective de l'homme sur le dromadaire ayant été à ce jour très inférieure à celle exercée sur les autres espèces domestiques (Richard et Gérard, 1989).

Les études récentes sur l'élevage camelin laitier conduit de façon intensive citent des quantités produites plus homogènes. Juhasz et al (2008) rapportent une production laitière allant de 6,2 à 9,3 kg/jour enregistrée chez 570 chamelles. Cette variation est attribuée essentiellement au stade de lactation et une variation inter-individuelle importante avec quelques sujets dépassant 20 litres/ jour. Hammadi et al (2010) ont enregistré une production journalière de 7,5 ± 0,5 litres au cours du dressage des chamelles à la traite mécanique. Nagy et al (2013) trouvent une production moyenne de 6,0 ± 0,1 kg / jour sur une durée moyenne de lactation de 586 ± 11 jours. Le pic de lactation est enregistré durant le 4ème mois et atteint 8,9 ± 0,1 kg/jour.

Dans le même cadre, Musaad et al (2013), sur la base de soixante-douze courbes de lactation enregistrées sur 5 ans (Fig. 2) a calculé une durée moyenne de lactation de 12,5 mois et une production laitière totale de 1970 ± 970 l/ lactation. Le pic de lactation est attient durant 28ème semaine avec une production de 50,7 l/ semaine.

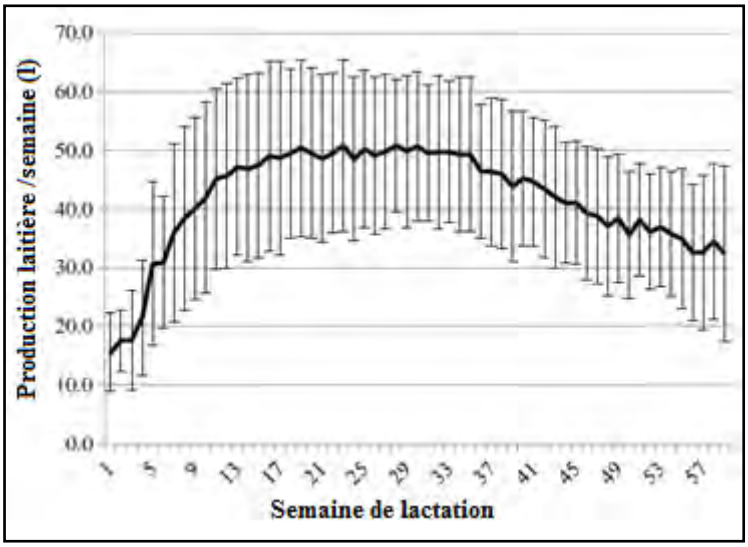

Fig. 2. Courbe de lactation moyenne (±écart type) chez la chamelle basée sur la production hebdomadaire (n=72 lactations) pour 59 semaines de lactation
(Musaad et al, 2013)

1.2.1. Facteurs de variation de la production laitière

La quantité du lait produit par la chamelle varie de 800 à 4000 kg/lactation. Elle est sous l'influence de plusieurs facteurs dont la génétique, la conduite d'élevage, la conduite et les pratiques de traite, le stade de lactation, le rang de lactation…

1.2.1.1. Variabilité génétique

La variabilité phénotypique chez les dromadaires est très importante. Par exemple, la description phénotypique des dromadaires en Arabie Saoudite a montré la possible existence de 12 groupes génétiques (ou races). On peut distinguer une classe qui regroupe les dromadaires de grande taille (de type phénotypiques : Homor, Majaheem, Waddah, Shaele et Sofor) qui sont bien adaptés au zones désertiques, mais aussi ayant un bon potentiel laitier et capables d'être conduits de façon intensive. Les deux autres groupes (de taille petite et intermédiaire) sont plutôt des animaux à vocation mixte et de course (Abdallah et Faye, 2012). Ismail et Al-Mutaïri (1998) ont recommandé le choix de la race Majaheem pour leur potentiel laitier suivie par la race Maghateer dite aussi Waddah. Raziq et al (2008) ont rapporté l'existence d'une race connue localement au Pakistan sous le nom « Marecha ». Elle est considérée comme probablement la meilleure laitière au monde avec une production journalière est de 8 à 10 litres dans des conditions d'élevage extensif, alors qu'en intensifiant la conduite d'élevage, cette race peut produire jusqu'à 15 à 20 litres / jour. En Tunisie, la population Maghrebi est essentiellement à vocation bouchère. Des sous populations sont

décrites par Chniter et al. (2013) qui indique l'existence d'un type dit « Khaouar » qui possède un potentiel laitier particulier dépassant les 5 litres par jour dans les conditions extensives (Ouled Ahmed, 2009).

Il semble qu'on puisse affirmer l'existence des populations à vocation plus laitière que d'autres, mais la pression de sélection dans cette espèce a été de faible ampleur sur ces critères et la variabilité intra-race est probablement très élevée, laissant supposer la possibilité d'une amélioration très notable de la capacité de production (Faye, 2004).

1.2.1.2. Disponibilité alimentaire

Narjisse (1989) rapporte qu'à partir d'un contrôle laitier effectué sur 7 chamelles pâturant des périmètres irrigués de *Panicum maximum*, la production laitière moyenne obtenue sur 12 mois de lactation atteint 2140 kg. Par contre, dans le Sud Marocain constitué de parcours dégradés et de faible valeur pastorale, une enquête touchant 158 chamelles ne révèle qu'une production de 640 kg. Les disponibilités alimentaires affectent aussi la durée de lactation, Richard (1984) observe qu'elle n'est que de 8 à 12 mois dans les plaines désertiques alors qu'elle atteint 16 à 18 mois dans les plaines côtières où les disponibilités alimentaires sont plus abondantes.

Au sud de la Tunisie, Hammadi (1996) rapporte que la production laitière des chamelles élevées sur un parcours de plantes halophytes sans complémentation varie entre 1,5 et 1,7 l/j contre 3,4 à 3,9 l/j si on donne une complémentation après le retour du pâturage. Alors qu'au nord de la Tunisie, Kamoun (1995) enregistre, dans un élevage semi extensif, une production quotidienne moyenne de 9 kg/j pendant une lactation de 10 mois en lactation.

Al-Saiady et al (2012) ont étudié l'effet de 4 rations à différents niveaux énergétiques et protéiques sur la production laitière. Cette étude a permis de conclure que l'amélioration du niveau énergétique a donné de meilleurs résultats que l'accroissement du niveau protéique vue probablement la capacité de la chamelle à recycler l'urée.

1.2.1.3. Fréquence d'abreuvement

Dans les conditions d'élevage extensif, où la production laitière dépasse à peine 2 l/j, la disponibilité de l'eau ne va que faiblement diminuer cette production en période de sécheresse. Une privation d'eau de 7 jours reste sans effet sur le niveau de production du lait (Yagil Et Etzion, 1980 ; Yagil, 1982 ; Farah, 1993 ; Yagil et al, 1994). Autant que nous

sachions, aucun travail ne s'est intéressé à l'étude de l'effet de la fréquence d'abreuvement et du besoin en eau de la chamelle laitière dans les conditions d'élevage intensif.

1.2.1.4. Stade de lactation

Juhasz et al (2008) rapportent que l'effet du stade de lactation sur la production laitière est élevée (P<0,001). Musaad et al (2013) enregistrent, en Arabie Saoudite, un pic de lactation à la 28ème semaine (6.4 mois), un coefficient de persistance de 94,7% et une chute de production laitière après la 59ème semaine (13 mois). La persistance de la lactation est autant plus élevée que le niveau de production est élevé. Babiker et El-Zubier (2014) confirment le même effet chez les chamelles Soudanaises de plusieurs types génétiques et enregistrent une production maximale au bout du 3ème mois et une chute significative après le 9ème mois.

1.2.1.5. Parité

Moslah (1994) signale que la production de la chamelle multipare est plus élevée que celle de la chamelle primipare lors de conduites avec ou sans complémentation. D'après Kamoun (1990) les quantités les plus faibles ont été produites par des chamelles en 1ère lactation (5,37 l/j) par rapport aux multipares (8,97 l/j). De façon générale, la production laitière est plus élevée à partir de la 3ème lactation (Raziq et al, 2008 ; Al-Saiady et al, 2012). Musaad et al (2013) ont trouvé que les chamelles les plus jeunes (primipares) et les plus âgées (9ème lactation) sont les moins productrices.

1.2.1.6. Fréquence et intervalle de traite

L'effet de l'intervalle de traite sur la production laitière dépend de l'espèce, la race et de l'animal. L'accumulation du lait dans la mamelle des ruminants durant les intervalles entre traite étendus réduit l'activité des cellules mammaires suite à une régulation intramammaire locale (Stelwagen et al, 1997). A l'inverse, il est généralement accepté que l'augmentation de la fréquence de traite (au maximum jusqu'à 3 à 4 /j) augmente la production laitière (Knight et Dewhurst, 1994). Chez la chamelle, le nombre de traites effectuées par jour varie d'une région à une autre, il peut aller d'une traite en Arabie Saoudite à sept chez les Afars d'Ethiopie (Narjisse, 1989). Evans et Pows (1980) ont enregistré une augmentation de la production de 17% lorsqu'on passe de 2 à 4 traites. Au Niger, le passage d'une à deux par jour durant toute la lactation augmente la production laitière totale de 50% (Saley et Steinmetz, 1994). La vitesse de sécrétion du lait est maximale lors d'intervalles de traite courts (585 g/h à 4 h d'intervalle) alors qu'elle décroit significativement lors d'intervalles supérieurs à 16 h

(Alshaikh et Salah, 1994). Caja et al (2011) trouvent que l'accumulation du lait dans la citerne de la chamelle décroit significativement après 12 h d'intervalle et précise que les intervalles de traite dépassant 16 h sont à éviter. Ayadi et al (2009) rapportent que la chamelle présente une aptitude modérée à tolérer les intervalles de traite étendus à la fin de lactation vue que la vitesse de sécrétion lacté chute en fin de lactation.

En conclusion, la chamelle est un animal dont certaines races et individus présentent de bons potentiels laitiers, mais les données fournies par la littérature sont très hétérogènes et manquent de précision. S'il est évident que les leviers alimentaires seront parmi les premiers à actionner pour améliorer et homogénéiser les niveaux de production, la grande variabilité inter-animale et inter-raciale laisse penser à une possibilité réelle de sélection génétique. Ainsi, les critères de choix décrivant une bonne chamelle laitière doivent être étudiés comme premier pas.

Chapitre 2 : Morphologie de la glande mammaire chez les animaux laitiers

2.1. Intérêt de l'étude la morphologie mammaire

La prise en compte des caractères de morphologie dans un schéma de sélection laitière présente des intérêts multiples. Le premier objectif est d'agir sur la longévité fonctionnelle des animaux, en réduisant la fréquence des réformes prématurées liées à un défaut d'origine morphologique, de façon à limiter les coûts de production qui en résultent. D'autre part, la prise en compte de la morphologie, en particulier de la morphologie mammaire, a pour objectif de faciliter l'adaptation des animaux à la traite mécanique ainsi que le travail de l'éleveur en réduisant le temps passé en salle de traite tout en évitant les facteurs de risques d'aggravation de la santé de la mamelle et préservant ainsi le revenu de la ferme (Clément et al, 2006). L'étude de la morphométrie mammaire chez les animaux laitiers a permis d'identifier des corrélations entre certain caractères morphologiques et la production laitière d'une part et l'aptitude à la traite mécanique d'autre part.

Chez les bovins, l'évaluation des caractères morphométriques a permis d'associer certains caractères avec la productivité et la longévité des animaux et par conséquent avec leur valeur commerciale (Van Vleck et al, 1969). Des corrélations positives ont par exemple été démontrées entre la distance entre les trayons, le diamètre des trayons ou la longueur des trayons arrières et la production laitière (Rogers et Spencer, 1991). Par ailleurs, Rogers et Spencer (1991) ont montré que le besoin d'ajustement manuel ou même la chute des gobelets trayeurs peuvent être partiellement expliqués par la morphologie de la mamelle et des trayons. Ils ont trouvé que les trayons les plus larges ont besoin de plus d'ajustement manuel et les cas de chute de la griffe sont plus fréquents. Il en est de même pour les mamelles déséquilibrées quand les trayons arrières sont plus bas que les trayons avants. D'autres travaux ont montré que certaines caractéristiques de la morphologie mammaire peuvent être associées à un risque de mammite plus élevé comme les mamelles basses, les trayons larges, les bouts des trayons plats… Il est important de prendre ces caractéristiques en considération puisqu'ils peuvent augmenter le risque de blessure et l'exposition aux agents pathogènes provenant de l'environnement de l'animal (Seykora et McDaniel, 1986 ; Monardes et al, 1990 ; Rogers et al, 1991).

Chez la brebis, Labussière (1988) rapporte que certain critères de taille et forme de la mamelle et des trayons, sont corrélés positivement avec la production laitière. La présence de citernes développées implique par exemple une bonne aptitude à supporter des longs

intervalles de traite ou même la pratique de la mono-traite (une traite par jour). En effet, la suppression d'une traite par jour implique des pertes nettement plus importantes chez les races ayant des citernes plus réduites (Labussière, 1988). Néanmoins, les mamelles de dimensions plus importantes se caractérisent par des trayons plutôt horizontaux et insérés haut par rapport à la base des citernes. Ce type de mamelle est associé à l'augmentation de la fraction du lait dit d'égouttage, c'est-à-dire nécessitant une intervention manuelle de massage et mouvement du pis pour collecter le lait non extrait par la machine (Casu et al, 1983; Labussière et al, 1983). D'autre part, Marnet et al (1999) ont montré que le débit de lait chez la brebis Lacaune est lié à la taille et la forme du trayon. Même si cela est en cours en France pour la race Lacaune, les études sur la répétabilité et l'héritabilité des caractères morphologiques de la mamelle et leurs relations avec la production laitière et la durée de traite doivent être approfondies chez cette espèce afin de pouvoir fournir des recommandations plus globales concernant l'implication de ces critères dans les schémas de sélection des brebis laitières (Rovai et al, 2004).

Chez la chèvre laitière, le critère utilisé en France dans le schéma de sélection des caprins de races Alpines et Saanen est un index de synthèse appelé index combiné caprin (ICC) qui ne concerne que les caractères laitiers (lait, TP, TB, MG, MP). Clément et al (2006) ont cependant défini un index de synthèse morphologique (IMC) incluant quatre paramètres descriptifs de la morphologie mammaire (profil de la mamelle, hauteur du plancher, qualité de l'attache-arrière et forme de l'arrière-pis), ainsi qu'un index synthétique global combinant l'ICC actuel et l'IMC. L'héritabilité de ces postes de morphologie mammaire varie entre 0,23 et 0,37, soit une gamme comparable à celle des caractères laitiers, illustrant la possibilité de sélection sur ces postes. Les postes liés aux trayons présentent des héritabilités moyennes à fortes, avec des estimations comprises entre 0,18 (inclinaison du trayon) et 0,45 (la longueur du trayon). Par contre, ces postes de trayons ne sont quasiment pas corrélés avec les caractères laitiers et sont sans évolutions génétiques observées dans les 10 dernières années. L'étude de la morphométrie mammaire chez les chèvres Murciana-Granadina rapporte des corrélations positives entre la longueur des trayons et le débit de lait (r = 0,55) et entre la surface des trayons mesurée soit à longueur constante (r = 0,47), ou à diamètre constant (r = 0,58) et le lait résiduel (Peris et al, 1999). Chez les chèvres de races Saanen et Blanche améliorée, Szymanowska et al (2010) ont rapporté l'existence d'une corrélation positive entre la demi-circonférence verticale, la circonférence horizontale de la mamelle, le diamètre des trayons et

la production laitière journalière (coefficients de corrélation sont respectivement $r = 0,65$; $r = 0,57$ et $r = 0,48$).

Les travaux sur la chamelle sont bien plus récents et seuls quelques chercheurs s'intéressent à l'étude de la morphologie mammaire chez la chamelle (Abdallah et Faye, 2012 ; Eisa, 2012 ; Ayadi et al, 2013 ; Dioli, 2013). Ces travaux ont permis de dégager des corrélations positives entre quelques caractères morphologiques mammaires et la production laitière chez la chamelle. Ayadi et al (2013) ont monté que la production laitière journalière est corrélée positivement à la distance entre les trayons ($r = 0,61$; $P < 0,05$), la profondeur du pis ($r = 0,29$; $P < 0,05$) et le diamètre de la veine mammaire ($r = 0,34$; $P < 0,05$). Dioli (2013) rapporte que le choix des chamelles à bonne conformation de pis et des trayons est l'une des opérations les plus importantes au sein d'un élevage à cause de son effet direct sur la survie du chamelon, la facilité de la traite et l'hygiène du lait. Une mauvaise conformation peut impliquer des difficultés au cours de la traite, augmente les risques d'incidence des mammites et gène l'ingestion correcte et rapide du colostrum par le nouveau-né.

Ces travaux restent limités en termes de nombre d'individus et caractères étudiés. C'est dans ce cadre qu'on a jugé intéressant d'étudier les caractéristiques morphologiques et anatomiques de la glande mammaire de la chamelle afin de mieux comprendre son aptitude à la traite mécanique.

2.2. Morphologie de la glande mammaire de la chamelle

Contrairement aux autres animaux laitiers, peu de travaux ont été consacrés à l'étude de l'anatomie de la mamelle de la chamelle. À propos de l'anatomie externe de la glande mammaire, Tibary et Anouassi (2000) rapportent que chez les femelles avant la puberté et les nullipares, il n'est visible de la mamelle que quatre petits trayons car le tissu mammaire ne se développe que vers la fin de la première gestation. Après mise bas, la mamelle augmente de volume et présente une irrigation veineuse bien développée. La mamelle de la chamelle est constituée de quatre glandes séparées ou quartiers indépendants les uns des autres et chacune se termine par un trayon (Fig. 3). Les deux moitiés gauche et droit sont séparées par un tissu fibro-elastique. Un sillon est généralement visible entre ces deux moitiés (Nosier, 1974). Les quartiers antérieurs et postérieurs sont aussi indépendants bien que la séparation soit invisible. Comme chez la vache, les quartiers postérieurs chez la chamelle produisent plus de lait que les deux antérieurs (+12,8% pour Kulaeva, 1979 et +15% pour Eisa, 2012) bien que les quartiers arrières paraissent plus petits de l'extérieur. La peau de la mamelle est généralement

de couleur sombre (Kausar et al, 2001) et souvent poilue à très poilue (constatation personnelle sur la chamelle de type maghrébine). La conformation de la mamelle chez la chamelle varie énormément en fonction de la race, de l'âge et du stade de lactation (Tibary et Anouassi, 2000). Juhaz et al (2008) ont montré une grande hétérogénéité dans la morphologie de la mamelle (Fig 3.) et des trayons chez la chamelle (Fig. 4).

Fig. 3. Variabilité morphologique de la glande mammaire chez la chamelle (Juhaz et al, 2008)

Ces auteurs ont défini au moins 5 formes différentes de trayons chez les chamelles avec des formes cylindriques (1), conique-cylindriques (2), à bases coniques (3), entièrement coniques (4), ou irrégulières (5).

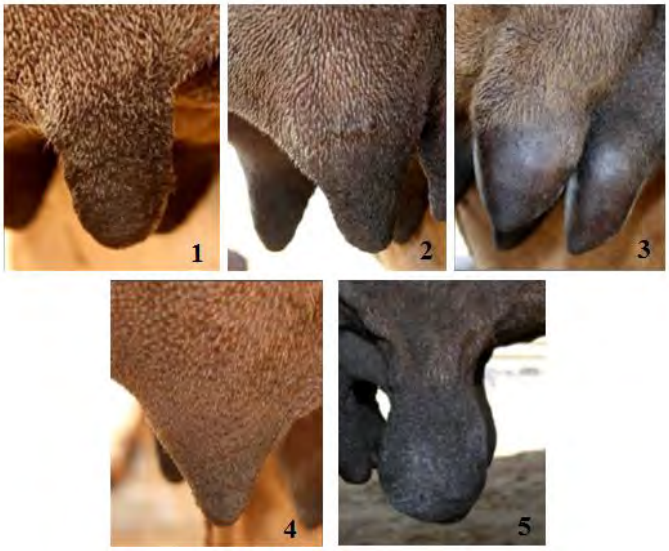

Fig. 4. Différentes formes des trayons décrites par Juhaz et al (2008)

2.3. Morphométrie de la glande mammaire

2.3.1. Mensuration de la mamelle

Chez la vache laitière, les grosses mamelles sont en général celles qui donnent le plus de lait. Fiedler (1962), cité par Labussière et Richard (1965), estime que les corrélations entre le volume estimé de la mamelle et la production laitière peuvent varier de 0,60 à 0,82 suivant les races et qu'en moyenne la production totale augmente de 149 kg quand le volume du pis s'accroît de 1 dm^3 (Le volume est calculé par la formule des ellipsoïdes : 4 /3 r a*b*c où a, b, c représentent respectivement la profondeur, la longueur et la largeur de la glande). Selon Dioli (2013) une bonne mamelle de chamelle se caractérise par des quartiers bien développés et symétriques. Elle doit être horizontale ou parallèle au sol. Les quartiers ne doivent pas être pendants et les trayons doivent être bien développés, de forme régulière et homogènes et bien espacés. Ayadi et al (2013) rapportent que la longueur et la profondeur de la mamelle chez la chamelle sont du même ordre de grandeur que celles indiquées pour la vache (Rogers et Spenser, 1991; Alfonso et al, 2011) et pour la bufflonne (Prasad et al, 2010). Des corrélations positives ont été établies entre la profondeur de la mamelle et la production laitière journalière de la chamelle. Ayadi et al (2013) ont avancé un coefficient égal à 0,29 chez des chamelles conduites en élevage intensif, alors que Eisa (2012) a trouvé une corrélation beaucoup plus forte de l'ordre de 0,62 chez des chamelles élevées de façon extensive. La hauteur ou distance sol-plancher de la mamelle chez la chamelle est assez élevée. Elle dépasse en moyenne un mètre (tableau 1). Chez la vache laitière, Labussière (1966) considère que la hauteur du pis doit être environ de 50 cm pour que la griffe de la machine à traire ne traîne pas par terre et ainsi minimiser l'aspiration de poussières et débris par l'entrée d'air des griffes. De même, les risques de blessure de la mamelle diminuent aussi.

Tableau 1 : Mensuration (cm) de la mamelle chez la chamelle en élevage intensif (Ayadi et al, 2013) et extensif (Eisa, 2012)

	Elevage intensif	Elevage extensif
Longueur	49,68 ± 0,90	-
Profondeur	44,50 ± 0,64	17,07 ± 1,4
Hauteur	107,48 ± 1,44	109,25 ± 9,6
Circonférence horizontale	-	92,56 ± 6,7
Semi-circonférence verticale	-	53,03 ± 3,4
Diamètre de veine mammaire	2,31 ± 0,09	1,76 ± 0,2

2.3.2. Mensuration des trayons

Chez la vache laitière, selon Illes (1962) cité par Labussière et Richard (1965), les trayons doivent être implantés verticalement et à une distance telle que la suspension de la griffe ne provoque ni flexion, ni tiraillements et gènes entre gobelets à la base de ceux-ci. Ainsi, la distance entre eux ne doit jamais être inférieure à 6 cm. Les trayons larges sont associés à un score de cellules somatiques (SCS) élevé, ainsi qu'à des risques sur la santé mammaire et la qualité du lait produit (Chrystal et al, 1999).

Chez la chamelle, Dioli (2013) recommande de sélectionner au niveau du troupeau les femelles ayant des trayons implantés verticalement, uniformes et bien espacés. Les chamelles à trayons de tailles très réduites sont difficiles à traire efficacement entrainant un risque accru de traumatismes et blessures lors de la traite à la fois pour l'animal et le trayeur. De même, les animaux aux trayons trop larges sont à éviter puisqu'ils rendent la tétée quasi impossible au nouveau-né et imposent l'assistance du chamelier pour garantir la survie du chamelon. Les trayons placés très près l'un de l'autre et parfois même fusionnés sont fréquents chez la chamelle. La longueur des trayons varie de 3,00 à 8,80 cm avec une valeur moyenne de 4,86 cm pour les trayons avant et 5,32 cm pour les trayons arrière (Ayadi et al, 2013). Eisa (2012) rapporte que la longueur du trayon varie en fonction de la parité avec des trayons plus courts chez les primipares (3,40 cm) que chez les multipares (6,10 cm). Par ailleurs, le diamètre du trayon à sa base varie de 1,60 à 5,60 cm avec une moyenne de 2,94 cm pour les trayons antérieurs et 2,99 cm pour les trayons postérieurs (Ayadi et al, 2013). Comparé aux trayons de la vache et de la bufflonne, la chamelle possède des trayons légèrement plus courts mais de diamètre moyen équivalent malgré une diversité énorme de formes.

Tableau 2 : Mensuration (cm) des trayons chez la chamelle, la vache et la bufflonne

	Chamelle (Ayadi et al, 2013)	Vache (Porcionat et al, 2009)	Bufflonne (Prasad et al, 2010)
Longueur du trayon (avant – arrière)	4,86 – 5,32	5,87 – 4,92	7,81
Diamètre du trayon (avant – arrière)	2,99 – 2,94	2,50 – 2,58	2,76
Distance entre les trayons avant	-	18,60	8,62
Distance entre les trayons arrière	-	8,69	7,62
Distance entre les trayons avant et arrière	9,69	-	8,85

2.3.3. Facteurs de variation de la morphologie de la mamelle

Comme toute autre espèce laitière, les mensurations de la mamelle et des trayons de la chamelle varient en fonction de plusieurs facteurs. Tout d'abord la race car Abdallah et Faye

(2012) rapportent une différence significative entre les mesures de la longueur du trayon et de la mamelle de 12 races camelines en Arabie Saoudite. Il faut y ajouter une grande variabilité interindividuelle intra-race (Dioli, 2013). Ensuite la parité puisque Eisa et al (2010) ont enregistré une supériorité des mensurations et du volume des mamelles des multipares par rapport aux primipares. L'origine de ces variations est donc principalement génétique, mais peut aussi être liée au type de la conduite d'élevage avec des différences notables entre animaux conduits en systèmes intensifs et extensifs (Tableau 1). Notons aussi que des accidents et les pratiques traditionnelles des éleveurs (attachement de la mamelle ou bien des trayons pour empêcher le chamelon de téter sa mère) peuvent aussi expliquer certaines morphologies.

2.4. Anatomie interne de la glande mammaire

2.4.1. Structure interne de la mamelle

Comparée à la mamelle des autres ruminants, la mamelle de la chamelle est constituée de 4 glandes séparées, chacune se terminant par un trayon avec deux orifices et parfois même trois (Fig. 4 et Fig. 5). L'échographie de la mamelle de la chamelle a montré que chaque quartier est composé de deux sous-unités séparées par une paroi ou mur interciternal (Abshenas et al, 2007).

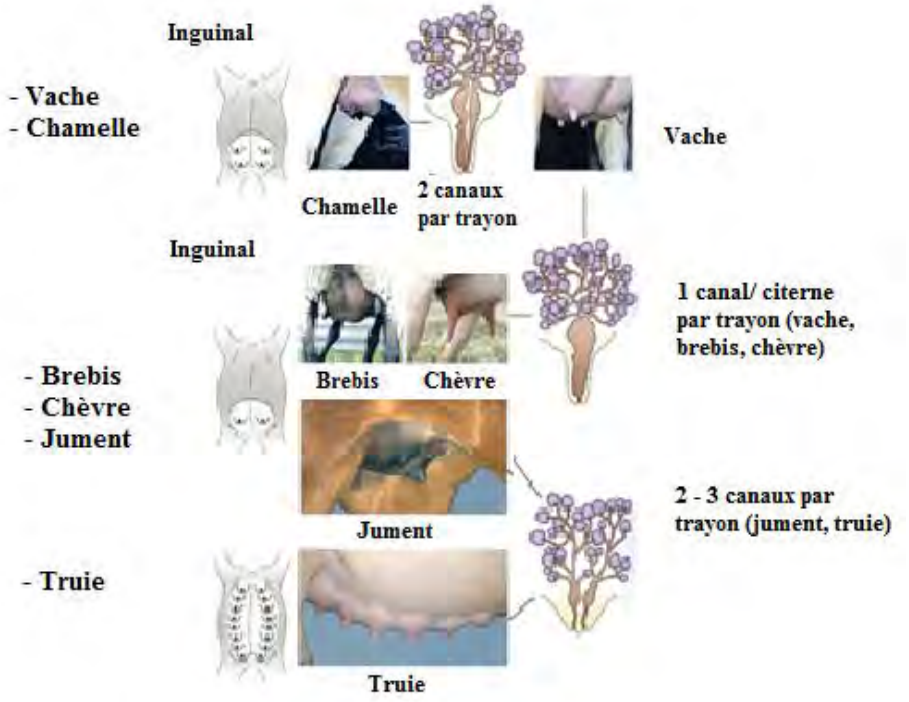

Fig. 5. Diversité en position, nombre et anatomie du trayon et de la mamelle des animaux domestiques (Singer, 2003 in Husvéth, 2011)

Fig. 6. Deux ou trois orifices par trayon chez la chamelle (Juhaz et al. 2008)

L'étude de la structure du trayon par échographie a montré que la longueur du canal du trayon est de l'ordre de 9 mm (Abshenas et al, 2007). Sa rosette de Furstemberg est très plissée (11,5 à 13, 6 par canal de trayon, Kausar et al, 2001) comme celle des bufflonnes (Nickerson, 1992). Comme chez la vache, la partie glandulaire de la mamelle de la chamelle est constituée par un tissu sécrétoire noyé dans le tissu conjonctif. Le tissu sécrétoire est constitué par un épithélium alvéolaire avec des cellules épithéliales de formes colonnaires, ovoïdes ou piriformes. L'épithélium alvéolaire passe de la forme aplatie à la forme en colonne en fonction du stade de lactation. Les canaux sécrétoires sont bordés par un épithélium cubique non sécréteur. Le nombre et la taille des alvéoles par lobule diminuent simultanément avec le parenchyme et sont remplacés par du tissu conjonctif durant la phase de tarissement des chamelles (Kausar et al, 2001).

2.4.2. Distribution des fractions du lait dans la mamelle avant éjection

Les cellules épithéliales alvéolaires secrètent le lait durant l'intervalle entre traite, qui est stocké dans la zone alvéolaire avant d'être transféré vers l'espace citernal puis extrait par la suite durant la traite. Ainsi, avant la traite le lait présent dans la mamelle est réparti en deux fractions : citernale et alvéolaire (Knight et Dewhurst, 1994). La fraction du lait citernal correspond à la proportion du lait stockée dans les cavités citernales et les gros canaux galactophores, disponible immédiatement à la traite. Afin d'extraire cette fraction, il faut surmonter la barrière du sphincter du trayon. Par ailleurs, la fraction alvéolaire représente le lait localisé dans les alvéoles et les canaux galactophores les plus fins. Cette fraction est retenue à l'intérieure de la mamelle par des forces capillaires, nécessitant l'intervention active de l'animal *via* le reflexe d'éjection du lait qui servira à l'expulser dans les cavités citernales, pour qu'il soit ainsi, disponible à la machine. Le taux de remplissage intra-mammaire et la capacité de stockage du lait cisternal peuvent affecter le choix de la routine de traite la plus adéquate. Le remplissage excessif de la mamelle augmente la pression intra-mammaire et la

distension des alvéoles au-delà d'une limite qui peut compromettre la synthèse ultérieure du lait (Peaker, 1980).

La taille de la citerne et la proportion du lait citernal affectent à la fois le taux de sécrétion et la cinétique d'émission du lait. En effet, les animaux à grandes citernes sont considérés comme les producteurs de lait les plus efficaces, tolérants des intervalles de traite plus longs et pouvant supporter des routines de traite plus simple (Dewhurst et Knight, 1994; Knight et al, 1994; Davis et al, 1998; Stelwagen, 2001). Bruckmaier et Hilger (2001) signalent que chez la vache laitière, la présence du lait citernal avant l'éjection du lait rend les trayons plus fermes et rigides au moment de la pose du faisceau trayeur. Autrement, l'application du vide sur des trayons vides peut entrainer l'écrasement des parois du trayon et l'obturation rapide au niveau du repli annulaire, causant ainsi la rétention de lait dans la citerne de la glande et la vidange incomplète de la mamelle.

La proportion du lait citernal varie en fonction de l'espèce, des races, du degré de remplissage de la mamelle, du niveau de production et du stade lactation (Castillo et al, 2008). Chez la vache, cette fraction représente 20% de la production totale d'une traite après un intervalle entre traite de 12 h (Davis et al 1998). Knight et al (1994) rapportent que la fraction du lait citernale, 12 h après la traite, est de 5,1 kg en début de lactation et chute à 2,6 kg vers la fin de lactation. Chez la brebis laitière, la proportion du lait citernal représente plus que 50% du lait stocké dans la mamelle (Caja et al, 1999; McKusick et al, 2002). Par ailleurs, Salama et al (2004) signalent que la chèvre laitière peut stocker jusqu'à 75% du lait dans le compartiment citernal.

Chez la chamelle, on supposait que la récupération du lait n'était possible qu'après éjection du lait (Yagil et al 1999) suggérant l'absence de lait citernal. Ayadi et al (2009) et Caja et al (2011) ont montré que la chamelle possède bien une citerne dont le volume représenterait 19% et 7% du lait total selon que les chamelles sont traites respectivement une fois par jour en fin de lactation ou deux fois par jour à mi-lactation. Aucune des études précédentes n'a utilisé de moyen de blocage total de l'éjection de lait par voie pharmacologique mais seulement des traits en conditions stressantes pour l'animal. Par ailleurs, ces études sont limitées à un stade de lactation et ne sont pas étendues sur la totalité de la lactation.

Compte tenu de l'impact des caractéristiques anatomo-physiologiques sur les aptitudes laitières et à la traite des ruminants mais en particulier de la très forte variabilité de

morphologie d'ores et déjà décrite en l'espèce caméline, il nous a semblé essentiel d'en avoir une connaissance fine dans la race magrébine qui nous intéresse en Tunisie. Dans la partie expérimentale de cette thèse nous commencerons donc en décrivant la morphologie externe de la mamelle et du trayon de la chamelle et en déterminant la capacité de stockage et son évolution en fonction du stade de lactation. Cela sera un préalable utile afin 1) de définir les mamelles les plus aptes à la production laitière et traite. 2) de proposer des pratiques et des conduite d'élevage préservant voire optimisant leur potentiel et 3) de déterminer les paramètres et le matériel de traite mécanique les plus adaptés à nos animaux.

Chapitre 3 : Réponses physiologiques des animaux à la traite

3.1. Stimulation mammaire et réponse endocrine

Depuis la découverte du reflexe d'éjection du lait en 1941 par Ely et Petersen, on admet que la vidange complète de la mamelle n'est possible que par la participation active de l'animal par la contraction des cellules myoépithéliales qui entourent les acini mammaires sous l'action de l'ocytocine (OT). Par conséquent, le lait est expulsé hors de la lumière des acini vers la cavité citernale (Fig. 6). La stimulation tactile des trayons durant la tétée ou la traite reste le principal stimulus capable de déclencher le reflexe neuroendocrinien d'éjection de lait (Cowie et al, 1980). D'autres stimuli indirects sont capables de faciliter, voire de provoquer de façon conditionnée une décharge d'ocytocine et l'éjection du lait chez les animaux. Ces stimuli sont liés aux conditions de la traite tel que l'environnement sonore de la salle de traite (Labussière, 1993; Hurley, 2002) et la distribution du concentré durant la traite (Svennersten et al, 1995; Thomas et al, 2005).

3.1.1. Ocytocine (OT) et éjection du lait

L'ocytocine est un peptide composé de neuf acides aminés. C'est une neuro-hormone synthétisée par les neurones hypothalamiques. Il en existe cependant aussi une source ovarienne sécrétant l'OT en continue durant la durée de vie cyclique des corps jaunes et tout aussi efficace sur l'éjection du lait (Labussière et al, 1996 ; McKusick et al, 2002). Elle est secrétée dans la circulation sanguine par la post-hypophyse. La décharge de l'OT, outres ses effets sur l'éjection du lait (Fig. 6), stimule des muscles lisses de l'utérus à la mise bas et intervient au niveau central dans l'établissement du comportement maternel (Crowley et Armstrong, 1992). L'OT agit au niveau des cellules myoépithéliales par l'intermédiaire des récepteurs spécifiques. Cependant, inversement au récepteurs ocytociques de l'utérus, il semble que ni le nombre, ni l'affinité des récepteurs à OT ne sont affectés durant les cycles gestation-lactation dans la mamelle des ruminants (Soloff, 1982 ; Zhao et Gorewit, 1986). La régulation de l'éjection du lait dépendrait donc principalement de la quantité et de la cinétique de la décharge de l'OT et de sa capacité à atteindre les cellules myoépithéliales mammaires.

On considère depuis longtemps que la demi-vie de l'ocytocine est brève. Toutefois, on fait la distinction entre une demi-vie courte de 1,9 min chez la chèvre et de 3,9 min chez la vache, qui traduit la diffusion hormonale à l'extérieur des vaisseaux (temps de demi-répartition) et qui correspond peu ou prou à la durée d'action de l'hormone et une demi-vie longue qui est la vraie demi-vie pharmacologique de l'hormone ou temps de demi-élimination

(22,3 min chez la chèvre et 25,5 min chez la vache) qui résulte de son catabolisme et de son excrétion. Quoi qu'il en soit, il ne faut donc pas attendre entre la stimulation, responsable de la décharge d'ocytocine, et l'attachement des gobelets trayeurs, afin de profiter de l'effet bénéfique mais bref de l'hormone (Labussière, 1993).

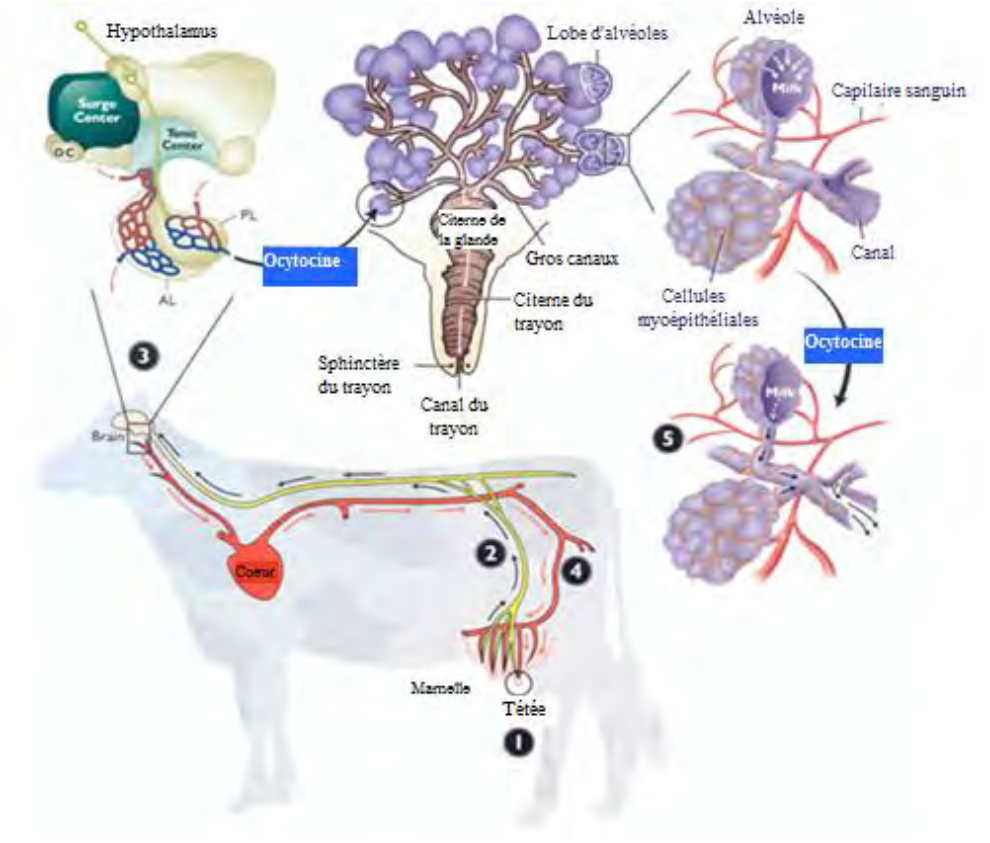

Fig. 7. Reflexe d'éjection du lait (Singer, 2003 in Husvéth, 2011) : Le mécanisme d'éjection du lait est stimulé par la tétée (1). Les terminaisons nerveuses sensorielles du trayon sont stimulées et les impulsions passent vers l'hypothalamus à travers les nerfs afférents (2). Les nerfs dans les noyaux para-ventriculaires sont stimulés, et les terminaisons dans le lobe postérieur de l'hypophyse (3) libèrent l'ocytocine qui arrive vers la glande mammaire par voie sanguine (4). L'ocytocine cible les cellules myoépithéliales qui entourent les alvéoles. La contraction de ces cellules provoque l'expulsion du lait de chaque alvéole vers les petits canaux, ensuite vers les gros canaux galactophores, puis dans la citerne de la glande mammaire (5), ainsi le lait est disponible pour l'extraction.

Pendant la période d'adaptation de la brebis à la traite/tétée, l'OT est libérée en quantité croissante, avec une meilleure efficacité de la décharge qui devient plus intense et plus concentrée dans le temps (Marnet et al, 1998). Le temps nécessaire entre l'administration en intraveineuse et l'effet de l'OT au niveau de la mamelle est en moyenne de 24,3 secondes chez la chèvre (Martinet et Denamur, 1960), de 16,9 secondes chez la brebis et de 16 à 29 secondes chez la vache en fonction de la dose injectée (Labussière et al, 1970). Il est ainsi,

possible de détecter l'effet de l'OT sur la mamelle entre 30 et 40 secondes après le début de la stimulation de la mamelle (massage/lavage ou pose des gobelets trayeurs) (Marnet, 1998). La réponse physiologique d'éjection du lait n'est pas vraiment dépendante de la concentration circulante d'OT (Marnet et al, 1998). La concentration d'OT doit en revanche être maintenue supérieure au seuil nécessaire pour une bonne éjection du lait durant toute la durée de la traite afin de garantir une vidange complète de la mamelle (Bruckmaier et al, 1994). En conséquence, la stimulation des trayons par les gobelets trayeurs n'est pas seulement requise au début de la traite, mais aussi tout au long de la traite. Par ailleurs, la décharge de l'OT ne chute pas quantitativement durant la lactation alors que l'éjection du lait est retardé quand la production laitière chute (Mayer et al, 1991) ou à des niveaux de remplissage faible de la mamelle (Bruckmaier et Hilger, 2001). Il en ressort que les variations de l'efficacité du reflexe d'éjection du lait dépendent donc plus de la cinétique de décharge d'OT que des quantités libérées (Schams et al, 1984). Compte tenue d'une cinétique d'élimination rapide dans le sang, il est évident que si la décharge d'OT n'est pas maintenue durant toute la durée de la traite ou qu'elle n'arrive plus en quantité suffisante, le myoépithélium se décontracte rapidement faisant chuter la pression intra-mammaire, ce qui augmente la proportion du lait résiduel (Bruckmaier et al, 1994). En outre, le débit sanguin mammaire s'accroît normalement lors de la traite. Cet effet est lié en partie à la décharge de l'OT qui possède un effet vasodilatateur (Houvenaghel et Peeters, 1974). Ainsi, l'OT aurait un effet facilitateur sur sa propre disponibilité à la mamelle, mais aussi sur l'apport en nutriment et autres hormones galactopoïétiques (Marnet, 1998).

3.1.2. Hormones galactopoïétiques

Outre l'efficacité du reflexe d'éjection du lait, le maintien de la lactation nécessite une stabilité du nombre de cellules épithéliales et de leur capacité de synthèse. La prolactine, l'hormone de croissance, les glucocorticoïdes, l'insuline, les hormones thyroïdiennes participent au contrôle de la galactopoïèse et l'OT assure le bon déroulement de l'éjection du lait (Jammes et Djiane, 1988).

Durant la traite, la stimulation de la mamelle induit la libération de l'OT, de la prolactine et du cortisol (Smith et al 1972 ; Gorewit et al 1992 ; Marnet et Negrao, 2000). Ces hormones n'ont pas la même cinétique de libération. En effet, l'ocytocinémie, liée à une décharge neuronale, s'accroit dès les premières 30 secondes de la traite et atteint son maximum de décharge entre 60 et 90 secondes. L'OT agit donc immédiatement pour assurer

la vidange des cellules épithéliales où elle agit très vite sur le transit intracellulaire et la sécrétion des protéines du lait (Lollivier et al, 2006) puis des alvéoles mammaires. La prolactinémie, liée à une synthèse et libération directe par les cellules spécialisées de l'adéno-hypophyse, n'augmente qu'après 1 minute du début de la traite et atteint son maximum après 6 min. La cortisolémie, liée à la synthèse et sécrétion par la glande corticosurrénalienne après stimulation par la décharge adénohypophysaire de l'ACTH, n'est donc déclenchée que relativement tard après 2 min pour atteindre son maximum vers 10 à 15 min (Marnet et Négrao, 2000). Marnet (1998) déduit que ces deux hormones agissent à plus long terme que la traite ou la tétée qui les a fait libérer et agiraient plutôt sur l'entretien de l'activité sécrétoire et la relance de la synthèse pour le remplissage ultérieur de la glande.

Au cours de la lactation, la décharge de prolactine liée à la traite, diminue parallèlement à une diminution de la production laitière (Koprowski et Tucker, 1973). En revanche, le cortisol fortement déchargé au moment de la mise bas, va être libéré ensuite d'une façon constante durant la lactation (Marnet, 1998). D'où l'importance de bien stimuler la décharge de l'ocytocine et de ces hormones en début de lactation et en particulier chez les primipares afin de les aider à la fin de leur mammogénèse (Forsyth, 1986).

Il semble donc que la stimulation de la mamelle entraîne un effet bénéfique sur la fonction mammaire. D'autres effets d'ordre mécanique liés à la vidange du lait peuvent aussi intervenir au niveau local cette fois, d'où la nécessité de comprendre l'influence de la répartition du lait dans la mamelle sur sa propre sécrétion.

3.1.3. Effet de la répartition du lait sur sa sécrétion

Il convient de souligner que les animaux possédant des citernes réduites ralentissent leur taux de sécrétion plus vite que les autres et ceci d'autant plus que le temps d'accumulation du lait est grand (intervalle entre traites plus long). Peaker et Blatchford (1988) en déduisent que le lait alvéolaire a un effet inhibiteur sur sa propre sécrétion. Ainsi, le taux de sécrétion est d'autant moins freiné que les cavités citernales sont grandes, ce qui limite la stagnation du lait dans les alvéoles (Linzell et Peaker, 1971). Cela explique aussi que les animaux ayant des citernes relativement réduites bénéficient mieux d'une fréquence de traite de 3 fois/jour (Dewhurst et Knight, 1992). A titre expérimental, Stelwagen et al (1996) ont montré chez la vache que le drainage continu du lait de la moitié du pis pendant 24 h conduit à la production d'une quantité de lait significativement plus élevée que la moitié non cathétérisée. Le drainage continu du lait simule donc une citerne de capacité infinie suggérant que l'absence

de frein augmente la production laitière. L'augmentation de la fréquence de traite limite aussi le remplissage des alvéoles et le ralentissement de la sécrétion du lait ce qui explique en partie l'accroissement de la production laitière qui en découle chez la vache (Ayadi et al, 2004; Soberon et al, 2011), la chèvre (Wilde et al, 1987, Salam et al, 2003; Marnet et al, 2005), la brebis (Labussière et al, 1978; Negrao et al, 2001) et la chamelle (Ayadi et al, 2009 ; Al-Saiady et al, 2012). Cette augmentation se maintient aussi longtemps que la fréquence des vidanges est gardée élevée.

Cependant, la diminution de la fréquence de vidange mammaire entraîne un freinage de la sécrétion lactée. En revanche, les animaux qui stockent une proportion plus élevée du lait dans la citerne présentent des pertes réduites de la production laitière en passant à une seule traite/jour (Knight et Dewhurst, 1994). Knight et al (1988) ont distingué trois phases de réponse de la glande mammaire pour s'adapter à cette accumulation du lait. Une phase aigüe (d'un à quelques jours) qui intègre les mécanismes régulateurs tels que la régulation de la synthèse du lactose, la diminution de la sécrétion liée à l'accroissement de la perméabilité des jonctions serrées et au début d'action du facteur local inhibiteur de la lactation (FIL) sur les récepteurs à la prolactine et les processus de sécrétion. Une phase à moyen terme (des jours à des semaines) qui consiste en une régulation négative généralisée sur l'activité de synthèse et de métabolisme cellulaire (baisse de synthèse des protéines du lait et des activités enzymatiques par exemple). Le tout va s'accompagner d'un début d'apoptose cellulaire afin de réguler le nombre de cellules sécrétrices à la baisse. Finalement, une régulation à long terme (des semaines à des mois) qui suite à une disparition significative de cellules sécrétrices, engendre un remodelage du parenchyme mammaire. Toutefois, il semble que la vidange mammaire suite à une bonne éjection du lait soit capable de contre balancer très vite ce processus de régulation négative de la synthèse de lait et de prolonger la lactation (Stelwagen, 2001). Cette relance ou entretien est par ailleurs facilitée par la production d'hormones galactopoïétiques lors de chaque traite/tétée.

3.2. Inhibition de l'éjection du lait

L'éjection du lait pendant la traite ou la tétée est principalement sous la dépendance de l'OT. L'action de cette dernière peut être bloquée au niveau du système nerveux central ou au niveau périphérique dans la glande mammaire.

3.2.1. Inhibition centrale

En général, l'inhibition voire le blocage de la décharge d'OT au niveau du système nerveux central se produit chez les animaux soumis à un stress sévère au cours de la traite ou la tétée. Cette inhibition est enregistrée par exemple durant les premières traites des vaches primipares après parturition et séparation du petit (Bruckmaier et al, 1992), parfois chez les vaches en œstrus qui semblent plus sensibles à l'environnement (Bruckmaier et Blum, 1994) et durant les perturbations liées à une modification brutale d'environnement de traite (Bruckmaier et al, 1993). Dans ces cas, une injection de 0,2 IU d'OT exogène (dose physiologique) suffit à provoquer une éjection normale du lait (Wellnitz et al, 1997). Il est intéressant de noter qu'une stimulation vaginale dans ce cas, peut aussi induire une décharge d'OT par une autre voie réflexe et que la prolactine et le cortisol sont normalement libérés par stimulation de la mamelle chez ces animaux (Bruckmaier et al, 1993). Le mécanisme passe donc par un blocage de la décharge hypophysaire d'OT qui pourrait être d'origine noradrénergique. Lefcourt et al (1997) ont en effet enregistré des niveaux élevés de noradrénaline dans le sang des brebis dont la décharge d'OT était inhibée à la traite ou lors de la stimulation des trayons. Cependant, les β-endorphines co-libérées avec l'ACTH au cours de la traite et dont on peut lever l'action par l'intermédiaire de la naloxone, pourraient aussi être impliquées dans cette inhibition (Bruckmaier et al, 1996).

3.2.2. Inhibition périphérique

L'inhibition périphérique du reflexe d'éjection du lait se produit en réponse aux catécholamines qui stimulent les récepteurs α-adrénergiques des canaux galactophores et des parois du trayon. L'activation de ces récepteurs peut inhiber le transfert du lait alvéolaire vers le compartiment citernal et le passage du lait à travers le canal du trayon (Bruckmaier et al, 1991; Hammon et al, 1994). Cependant, un blocage *via* la contraction du canal trayon est peu probable car la stimulation des récepteurs α-adrénergiques parait incapable de réduire le débit du lait chez la vache et par conséquence la contraction du trayon ne peut pas s'opposer à la force du vide de la machine à traire comme l'ont démontré Bernabé et Ricordel (1985). Une autre hypothèse est proposée par Gorewit et Aromando (1985), qui ont montré que l'éjection incomplète du lait est la conséquence d'une réduction du débit sanguin qui irrigue la glande mammaire due à l'action vasoconstrictrice de l'adrénaline secrétée par la médullosurrénale suite à un stress.

Il est ainsi établi que la vidange mammaire est en premier lieu fonction de la réponse hormonale de l'animal. Si la stimulation n'est pas assez efficace ou inhibée comme nous venons de le voir, la contraction de la mamelle se fera de façon désynchronisée et l'augmentation de la pression intramammaire sera plus lente, ce qui va se traduire par un débit de lait plus faible et un rallongement du temps de traite et/ou un pourcentage de lait résiduel accru (Bruckmaier et al, 1996). Cela est d'autant plus sensible avec la baisse de la production laitière au cours de la lactation, ce qui amène certains auteurs à recommander de stimuler plus les animaux qui ont des niveaux faibles de remplissage de la mamelle (Kaskous et Bruckmaier, 2011). Cependant, pour entrainer cette bonne stimulation et la maintenir au maximum durant la traite, les paramètres de fonctionnement de la machine à traire doivent être fixés suivant les besoins spécifiques de chaque espèce. Bien que de nombreux travaux aient été consacrés à l'étude du réglage machine et à l'adaptation des animaux à la traite mécanique, les données disponibles pour la chamelle sont très rares et les réglages machine pour traire cette espèce sont fixés de façon empirique. *Dans une partie de notre travail expérimental, nous chercherons à déterminer le réglage machine le plus adapté à cette espèce considérant ces besoins anatomique et physiologique d'une part afin d'étudier son aptitude à la traite mécanique d'autre part.*

Chapitre 4 : Adaptation des animaux à la traite mécanique

De nos jours, la traite mécanique est devenue une procédure régulière des animaux hauts producteurs laitiers puisqu'elle permet de traire plus d'animaux par heure dans de meilleures conditions de travail que la traite manuelle. Étant donné que la traite mécanique permet de collecter un lait de meilleure qualité hygiénique et mieux adapté pour la transformation et la commercialisation, l'introduction de cette technique dans les élevages des animaux laitiers moins conventionnels (brebis, chèvre, bufflonne, chamelle, jument…) a commencé de se développer ces dernières années (Marnet, 2013). Néanmoins, la traite mécanique ne consiste pas seulement à extraire le lait de la mamelle. C'est une procédure complexe qui exige la compréhension des besoins spécifiques des animaux et leur participation active (Marnet, 1997). Comme nous l'avons montré dans le chapitre précédent, la vidange complète de la mamelle est conditionnée à une bonne stimulation du reflexe d'éjection du lait, qui à son tour dépend des procédures et du matériel de traite utilisés. Dans ce chapitre, nous allons décrire les équipements et les procédures utilisés durant la traite mécanique des animaux laitiers et l'interaction entre eux, tout en précisant les caractéristiques des animaux les plus aptes à la traite mécanique.

4.1. Machine à traire

Le principe de la première machine à traire avec pulsateur destiné à faire varier les conditions d'application du vide sous le trayon, a été inventé vers la fin du 19eme siècle. Jusqu'à présent, plusieurs éléments de détail ont été améliorés mais le principe de base reste le même. La traite mécanique consiste en une alternance de cycles de vide et de pression atmosphérique dans l'espace annulaire du gobelet afin de créer des phases de succion/massage à l'intérieur du manchon et donc sur le trayon (Labussière et Richard, 1965 ; Bramley et al, 1992). Ainsi, la machine à traire utilise le vide pour extraire le lait. Cependant, si le vide est maintenu constamment sous le trayon, le sang et la lymphe peuvent s'accumuler à son extrémité entraînant congestion et œdème, et donc douleur et réduction du débit de lait (Marnet, 2013) et risques pour la santé de la mamelle (Gleeson et al, 2003). C'est pour cette raison que l'on a créé la pulsation, grâce au développement du gobelet à double chambre. Lorsque la chambre du gobelet est soumise au même vide que sous le trayon, la paroi du manchon ne bouge pas et la différence de pression, entre l'intérieur du trayon et l'extérieur, force le sphincter de s'ouvrir et le lait est éjecté de la citerne du trayon vers le tuyau court à lait et la griffe (Fig. 7), c'est la phase de succion (Gourreau et al, 1995). Lorsque le pulsateur

permet l'entrée d'air atmosphérique dans la chambre du gobelet, la pression à l'intérieur de la chambre devient supérieure à celle de l'intérieur du manchon sous le trayon qui reste sous vide. Les parois du manchon se déforment jusqu'à s'écraser sur le trayon (phase de massage) ce qui ferme le canal du trayon et cause l'arrêt du flux du lait (Labussière et Richard, 1965). Sur cette base, deux paramètres primaires contrôlent le bon fonctionnement de la machine à traire et influencent l'éjection du lait : le niveau du vide (contrôlé par la pompe à vide et le régulateur) et la pulsation (contrôlée par un pulsateur).

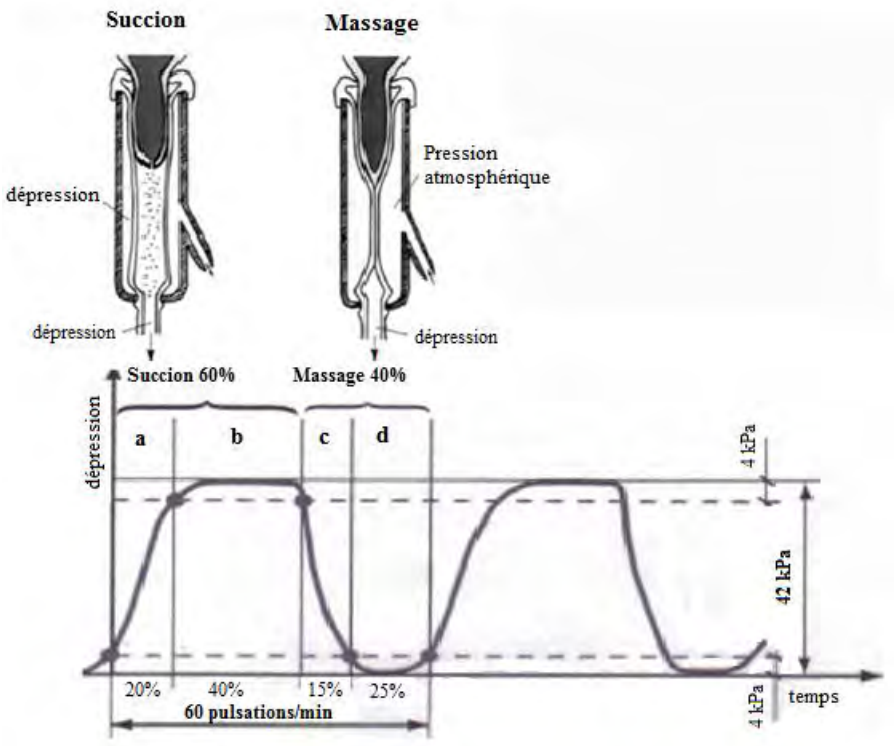

Fig. 8. Principe de fonctionnement de la machine de traite et action du gobelet trayeur sur le trayon (Gourreau et al, 1995)

4.1.1. Niveau de vide

Le niveau de vide minimum sera déjà requis pour faire tenir le faisceau trayeur sur la mamelle et il dépendra du poids de ce matériel et de la tubulure liée. Ce niveau de vide devra aussi permettre de surmonter la barrière du sphincter du trayon qui retient normalement le lait. Ce seuil, est très variable suivant les animaux et dépend aussi de leur stade de lactation qui fait varier la production et la pression du lait intra-mammaire. Au-delà de ces exigences minimales, l'augmentation du niveau de vide peut accroître le débit maximum du lait la vitesse de traite (Fig. 8) (Rasmussen et Madesen, 2000 ; Spencer et Rogers, 2004 ; Caria et al 2012). On doit néanmoins, s'attendre à trouver une limite supérieure au-delà de laquelle il

sera difficile d'améliorer le débit qui dépendra du degré d'extension maximum de l'orifice de sortie du lait (Labussière et Richard, 1965) d'une part et du risque de congestion/œdème de l'extrémité du trayon qui va réduire le diamètre du canal du trayon (Bramley et al, 1992). Par ailleurs, cela peut s'avérer risqué pour l'intégrité du tissu du trayon (Hamann et al, 1993 ; Reinemann et al, 2008). En effet, si le niveau de vide élevé est maintenu longtemps, la kératine du canal du trayon va s'externaliser (hyperkératose) et on peut aller jusqu'à l'éversion du canal du trayon. Cela réduit l'efficacité du sphincter à se fermer ce qui diminue son action dans la prévention des invasions bactériennes de la citerne du trayon (Brouillet et al, 2003). Enfin, si le vide à l'intérieur du manchon est trop élevé ou les gobelets trop légers, ces derniers vont grimper le long du trayon et pincer la zone d'attache à la mamelle. Cela bloque le flux du lait et la fraction du lait d'égouttage augmente (Marnet, 2013).

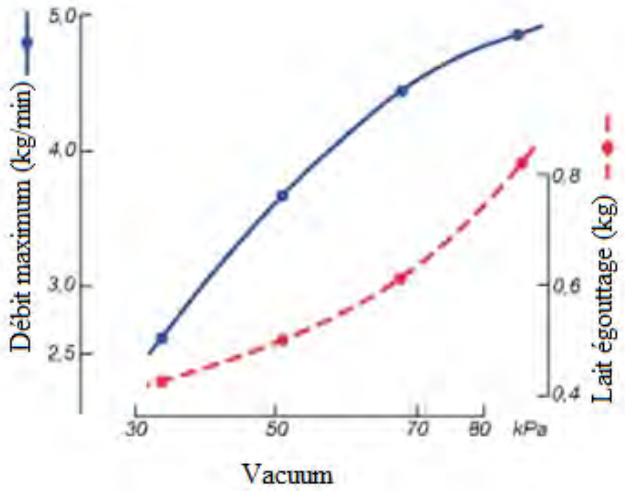

Fig. 9. Effet du niveau de vide sur le débit maximum et le lait d'égouttage (Bramley et al, 1992).

Les niveaux de vide trop faibles, s'ils ne présentent pas ces dangers pour le trayon, n'en sont pas dépourvus d'inconvénients. Outre une traite ralentie, cela augmente le risque de glissement et de chute des gobelets durant la traite (Spencer et Rogers, 1991). Ces mouvements sont responsables de fortes fluctuations du vide qui peuvent être à l'origine d'impacts de lait sur l'extrémité des trayons toujours branchés et de transmissions de germes (Thompson et Pearson, 1983). Rasmussen et Madsen (2000) recommandent un niveau du vide minimum de 32 kPa dans les tuyaux courts à lait.

4.1.2. Pulsation

Dans le système de traite, le pulsateur est sujet à deux réglages : la fréquence de pulsation exprimée en nombre de cycle par minute et le ratio de temps entre la phase de succion et la phase du massage, exprimé en pourcentage du cycle. D'après Marnet (2013), l'augmentation du ratio de pulsation à un effet équivalent à l'augmentation du niveau de vide. De fait, même si son accroissement est efficace pour accélérer la traite, un ratio trop élevé (> 66%) entraîne une réduction du débit du lait à cause de la congestion du bout du trayon autant qu'un niveau de vide trop élevé. La modification de la fréquence de pulsation n'a pas d'effet mécanique majeur sur la vidange du lait, mais un effet physiologique de stimulation du reflexe d'éjection du lait (Marnet et al, 1996). Cela peut cependant se traduire de la même façon car l'augmentation de la fréquence de pulsation augmente le débit du lait chez la vache (Clough et Dodd, 1956 cité par Marnet, 2013), chez la brebis (Casu et Carta, 1973 ; Le Du, 1985) et chez la chèvre (Lu et al, 1991; Sinapis et al, 2000). Son effet sur la santé mammaire est généralement limité (Peris et al, 2003). Cependant, certains chercheurs ont trouvé que la santé de la mamelle de la vache laitière pourrait être affectée négativement par des fréquences de pulsation dépassant 75 cpm (Walsh et Nyhan, 1969) ou inférieures à 55 cpm (Osteras et al, 1995).

Le paramétrage de la machine à traite est donc une opération multifactorielle qui doit tenir compte des caractéristiques du faisceau trayeur (poids, manchon…), de l'installation (type, nombre de postes, type de ligne de lait, capacités de réglage…) et des animaux (espèces, races, aptitude à la traite, particularités anatomiques, état sanitaire…). Chez les petits ruminants, Marnet et al (1996) et Billon et al (1999) ont suggéré un faible niveau de vide (moins de 40 kPa) et une fréquence de pulsation assez élevée (plus de 120 cpm) pour assurer une traite efficace. Chez la vache laitière, Hamann et al (1993) ont proposé un niveau de vide entre 40 et 51 kPa pour réduire au minimum le lait d'égouttage, la chute des gobelets et la pression appliquée sur les trayons.

Chez la jument, Le Du (1986) rapporte l'utilisation d'un large intervalle du vide variant de 37 à 53 kPa et une fréquence de pulsation supérieure à 120 cpm. Par contre chez la bufflonne, Thomas (2004) rapporte l'utilisation des niveaux de vide très élevés dans différentes parties du monde variant de 45 à 68 kPa. Caria et al (2012), qui ont testé l'effet d'un large intervalle de vide (37 à 52 kPa) sur les caractéristiques de la traite chez la bufflonne, ont conclu que les niveaux de 37 à 40 kPa permettent déjà une traite satisfaisante quoique les meilleurs résultats aient été obtenus avec des niveaux de vide supérieur à 46 kPa.

Chez la chamelle, les premiers essais de traite mécanique ont eu lieu en Russie (Belokobylenko, 1978 ; Musaev, 1982), en Arabie Saoudite, Egypte et Lybie (Shareha, 1987). Les rares travaux disponibles ont montré une large gamme de paramètres utilisés lors de la traite mécanique. Wernery et al (2004) ont rapporté l'utilisation d'un niveau de vide bas et d'une fréquence de pulsation moyenne comme c'est le cas en caprin: 36 - 40 kPa, 90 cpm avec un rapport de pulsation de 60:40. Cependant, d'autres études réalisées dans notre centre de recherche et en Arabie Saoudite ont rapporté l'utilisation d'un vide plus élevé et d'une fréquence de pulsations plus faible, 45 à 48 kPa et 60 cpm avec le même rapport de pulsation (Hammadi et al, 2010 ; Ayadi et al, 2013). *Aucun travail n'a donc été réalisé afin de tester le paramétrage le plus adéquat.*

4.1.3. Action spécifique du faisceau trayeur sur la traite

Le lait est récolté dans les quatre manchons trayeurs et est acheminé par quatre tuyaux courts à lait vers la griffe. Cet ensemble est appelé faisceau trayeur. La griffe à lait est rattachée par un tuyau long à lait vers un lactoduc de traite (cas de salle de traite) ou un pot trayeur. Les manchons sont maintenus en place sur les trayons par le vide appliqué dans la griffe et les manchons. Un clapet permet de mettre la griffe en communication avec le vide et de le couper en fin de traite pour déposer les faisceaux (Bramley et al, 1992). Le choix des gobelets et du faisceau trayeurs est d'une grande importance pour l'efficacité de la traite. Il faut prendre en considération les différences anatomiques des trayons et le débit du lait des animaux d'une part et les réglages de vide et de pulsation adoptés d'autre part (Gleeson et al, 2004 ; Marnet, 2013).

Le poids total du faisceau trayeur représente un critère de choix important. En effet, l'intérêt d'augmenter le poids du faisceau est de réduire la fraction du lait d'égouttage (Institut de l'élevage, 2009). Cependant, les faisceaux lourds ont besoin de plus de vide pour rester accrochés sur les trayons, avec plus de risque de fluctuations du niveau de vide, de glissement voire de la chute des gobelets et de risque d'entrée d'air, conduisant à des effets néfastes sur le tissu du trayon (Marnet, 2013). Le poids du faisceau est réparti essentiellement entre les gobelets et la griffe. Il est intéressant de signaler que l'utilisation d'une combinaison de gobelets trayeurs relativement lourds et d'une griffe légère permet l'amélioration des performances de la traite. Une telle combinaison permet d'uniformiser la répartition du poids du faisceau entre les quartiers et d'éviter la traite incomplète (Institut de l'élevage, 2009).

Le volume et la forme de la griffe doivent être adaptés au débit du lait qui y circule afin d'éviter sa stagnation. De plus, un minimum d'entrée d'air doit être assuré afin de garantir une bonne évacuation du lait et éviter les fluctuations du vide dans la griffe qui peuvent entraîner le déplacement du lait entre les gobelets et augmenter par conséquence le risque sur la santé mammaire (Jones, 2006; Marnet 2013). L'augmentation du volume de la griffe et du diamètre des tubes à lait permettrait d'améliorer la stabilité du vide dans le faisceau trayeur. Cependant, O'Callaghan (2001) a montré qu'à partir d'un certain seuil une telle augmentation n'améliore plus l'efficacité de la traite.

4.2. Aptitude des animaux à la traite mécanique

La machine à traire a été développée au début pour la vache laitière. Son adaptation pour les autres espèces fut beaucoup plus tardive en commençant par les petits ruminants dans les années 1960. Cependant, la traite s'est faite pendant longtemps encore avec un équipement et des réglages conçus pour la vache. Graduellement, pendant les 30 dernières années, des tentatives de traire à la machine d'autres espèces traditionnellement traites à la main s'est répandu à travers le monde comme ce fut le cas pour les zébus et hybrides vaches zébus, les bufflonnes, les juments et ânesses et encore plus exotique, les rennes et les élans (Marnet, 2013). Définir de manière objective un certain nombre de paramètres de comparaison afin de caractériser les animaux aptes à la traite mécanique de façon plus ou moins précise fut l'objet de plusieurs travaux de recherche (Labussière et Richard, 1965). Labussière (1988) défini une traite mécanique efficace comme une traite capable de retirer le lait du pis aussi facilement, rapidement et complètement que possible avec le minimum d'intervention manuelle. Lee et Choudary (2006) précisent eux aussi que l'aptitude à la traite d'un animal est mesurée par sa vitesse de traite et le travail nécessaire au cours de la séance de traite. Par conséquent, il fut proposé que l'aptitude à la traite soit évaluée à l'aide des courbes de cinétiques d'éjection du lait. Ces dernières ont longtemps été enregistrées à titre expérimental afin d'évaluer la qualité du processus de la traite et les performances individuelles des animaux (réponse physiologique et facilité de vidange du lait) (Labussière et Martinet, 1964). Mais il a fallu attendre plus de 40 ans pour qu'un premier appareillage commercial (Lactocorder®) permette de mesurer cette cinétique en élevage. En général, le profil de la courbe d'éjection du lait est fonction de la répartition du lait dans la mamelle, de l'existence et efficacité du reflexe d'éjection du lait et de l'anatomie du trayon (Labussière, 1988; Marnet et McKusick, 2001; Boselli et al, 2010). C'est pour cette raison que ce profil est en général très répétable pour un même animal sous réserve que les conditions de la traite soient optimales et non modifiées

(Institut de l'élevage, 2009). L'étude des profils des courbes d'éjection du lait a fait l'objet de plusieurs travaux concernant plusieurs espèces notamment la vache laitière (Bruckmaier et al, 1995; Tancin et al, 2006; Sandrucci et al, 2007), la chèvre (Billon et al, 1999; Marnet et al, 2001), la brebis (Labussière, 1988; Marnet et al, 1999), et la bufflonne (Bava et al, 2007; Boselli et al, 2010). La courbe d'éjection du lait se divise théoriquement en trois parties : la phase ascendante, la phase de plateau et la phase descendante (Fig. 9). Une bonne aptitude à la traite mécanique se traduit par une augmentation rapide du débit du lait dès la pose des gobelets trayeurs (Institut de l'élevage, 2009). La durée de la première phase est cependant dépendante des pratiques de traite et particulièrement de la préparation du trayon et stimulation de la mamelle (Tancin et al, 2007) et du moment d'attachement des gobelets trayeurs après cette stimulation (Tamburini et al, 2010). La phase plateau commence dès que le débit du lait se stabilise à un niveau maximal. Ce niveau est caractéristique de chaque animal et dépend de l'anatomie du trayon et de la capacité du canal à s'ouvrir et de la pression intra-mammaire au moment de la traite (Institut de l'élevage, 2009). La phase descendante correspond à la décroissance du débit du lait à partir de la fin du plateau jusqu'à l'arrêt de l'écoulement du lait ou la dépose du faisceau trayeur (Billon et al, 2006). Cette décroissance peut être linéaire et rapide traduisant une vidange simultanée et facile des 4 quartiers ce qui signifie une très bonne aptitude à la traite mécanique. Toutefois, la chute du débit est souvent observée par paliers au fur et à mesure que les quartiers se vident. Ainsi, le déséquilibre de la mamelle peut être déduit du nombre de paliers enregistrés (Institut de l'élevage, 2009).

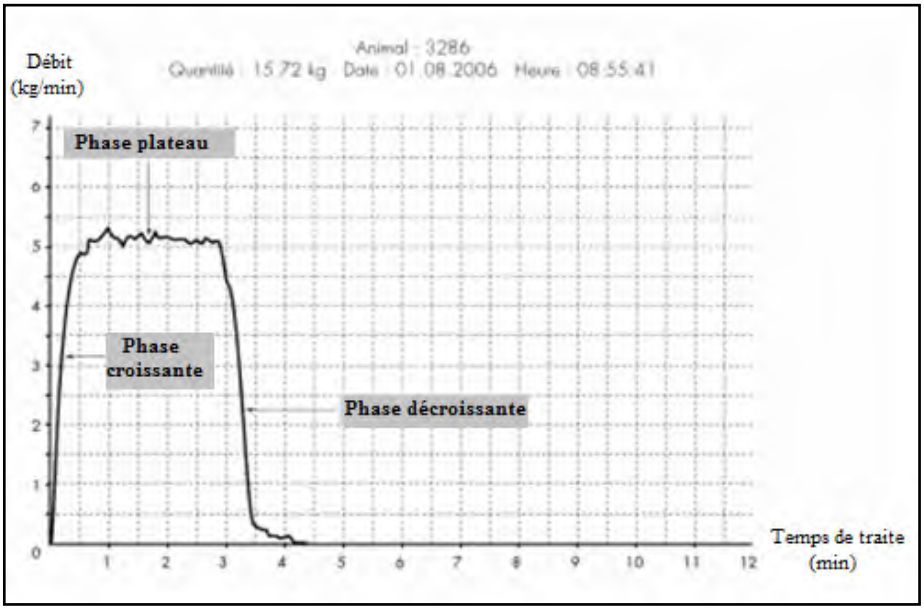

Fig. 10. Les différentes phases d'éjection du lait chez la vache
(Institut de l'élevage, 2009)

Labussière et Richard (1965) dans leur revue bibliographique ont montré que l'aptitude à la traite mécanique des vaches laitières peut être appréciée à partir de certain paramètres de la courbe d'éjection du lait, notamment le temps de la traite et le débit maximum du lait. Le temps de la traite est en fonction de plusieurs paramètres, particulièrement la production laitière (Labussière et Ricordeau, 1970), l'anatomie du trayon (Bruckmaier et al, 1997), le niveau de remplissage du pis (Bruckmaier et Hilger, 2001 ; Kaskous et Bruckmaier, 2011) et les différents réglages de la machine y compris le réglage du décrochage automatique du faisceau (Rasmussen, 1993 ; Stewart et al, 2002). Le débit maximum est moins directement lié à la quantité de lait dans la mamelle même si cela a été décrit par Labussière et Richard, (1965) sur des brebis de faible niveau de production dont le débit maximum en court de traite n'était surement pas le débit limite de l'animal. C'est le canal du trayon qui a l'incidence la plus marquée sur le débit d'écoulement du lait et qui, dépendant des caractéristiques anatomo-physiologiques de l'animal, représente la mesure la plus objective de l'aptitude à la traite. C'est Marnet et al (1999) qui ont montré la plus forte corrélation phénotypique entre la résistance de ce canal de trayon à l'ouverture et le débit maximum du lait chez la brebis Lacaune. Wiess et al (2004) ont montré de leur coté une corrélation négative entre le débit maximum et la longueur du canal du trayon à la fois au niveau du quartier et au niveau de la glande entière de la vache laitière mais aucune corrélation avec les mensurations externes du trayon. Chez la bufflonne, Boselli et al (2010) ont montré que l'anatomie du trayon, particulièrement la longueur du canal, son diamètre et l'épaisseur des parois, influencent l'allure de la courbe d'éjection du lait. Par ailleurs, l'implantation des trayons peut aussi influencer l'aptitude à la traite mécanique et en particulier la quantité du lait d'égouttage et le besoin d'intervention à la fin de la traite lorsque cela affecte la position du faisceau trayeur comme c'est le cas chez la brebis, (Bruckmaier et al, 1997 ; Dzidic et al, 2004 ; Macuhova et al, 2008).

Lorsque l'allure de la courbe d'éjection de lait présente un profil en deux phases dite courbe bimodale, la première phase représente l'écoulement immédiat du lait stocké dans la citerne dès la pose des gobelets trayeurs et la seconde correspond à l'écoulement retardé du lait alvéolaire. Le plus souvent la forme bimodale traduit donc une stimulation insuffisante ou tardive de l'animal ou l'inhibition de son réflexe d'éjection du lait (Bruckmaier et Blum, 1996 ; Sandrucci et al, 2007 ; Ambord et Bruckmaier, 2009) mais peut être observée chez certains animaux au volume citernal très faible pouvant se vidanger en totalité avant l'arrivée du lait éjectée par l'ocytocine. La bimodalité est donc assez généralement associée

négativement à l'efficacité de la traite en étant associée à une augmentation du temps de traite (Bruckmaier et Blum, 1996) et affectant les paramètres de débit d'écoulement du lait (Sandrucci et al, 2007). Cependant, certains animaux mal stimulés peuvent ne pas présenter obligatoirement une courbe bimodale si leur débit de lait est faible et que leur citerne est importante (Institut d'élevage, 2009). L'interprétation des courbes ne pourra donc pas se faire sans prise en compte des caractéristiques anatomiques des animaux et sans analyse fine du débit de lait.

Actuellement, le choix des chamelles destinées à la traite mécanique se base essentiellement sur les performances individuelles des animaux et sur leur réponse comportementale (agressivité) au cours du dressage à la traite mécanique. Bien que, l'enregistrement des courbes d'éjection du lait soit, comme nous venons de le démontrer, le moyen le plus connu et simple d'évaluation de l'aptitude à la traite des animaux laitiers, il n'y a aucun travail à ce jour qui ait décrit cette aptitude par cette technique chez cette espèce. Sans cette information, il est difficile de proposer des améliorations de l'équipement et du réglage de la machine à traire, de déterminer les pratiques de traite les plus appropriées et de sélectionner objectivement les chamelles aptes à la traite mécanique. Dans ce travail de thèse, nous tenterons donc de combler ce manque en étudiant les courbes d'éjection de lait chez la chamelle et l'effet des pratiques et de la routine de traite sur l'éjection du lait et la vidange de la mamelle.

4.3. Influence des pratiques de traite sur l'éjection du lait et la vidange mammaire

Une traite mécanique optimale assure la vidange complète et rapide du lait stocké dans la mamelle et garantit une bonne qualité hygiénique du produit, permettant le maintien d'un niveau élevé de production et la santé de l'animal à moindre coût (Bruckmaier et Blum, 1998). Une bonne routine de traite doit ainsi fournir un environnement non stressant pour l'animal et intègre une bonne préparation des trayons et stimulation de l'animal pour une éjection complète de lait au tout début de la traite afin de minimiser les rétentions de lait et le travail d'égouttage en fin de traite. Elle intègre aussi souvent un nettoyage des trayons qui contribue à la préparation et stimulation des animaux ainsi qu'une désinfection de ces derniers après le décrochage du faisceau trayeur quand la traite est achevée.

4.3.1. Pré-stimulation

Le besoin de la pré-stimulation a été prouvé pour la plupart des espèces laitières, bien que les vaches hautes productrices très sélectionnées telles que la Holstein ne demandent que

très peu de stimulation pour une éjection du lait appropriée (Mein, 1995). Cependant, Rasmussen et al (1992) ont montré qu'une stimulation manuelle de 10 à 20 s n'est pas suffisante quelque soit le stade de lactation ou du niveau de production laitière pour des vaches de race Holstein, Jersey et Friesian. Particulièrement, à des niveaux bas de remplissage de la mamelle, notamment en fin de lactation ou à des intervalles entre traites rapprochés, une pré-stimulation suffisante est recommandée afin d'éviter les effets négatifs de l'application du vide sur des trayons vides et plus mous au début de la traite (Bruckmaier et Hilger, 2001). Sachant que l'éjection du lait se produit quand le niveau d'ocytocine attient un niveau seuil de 3 à 5 ng/l et qu'une concentration supérieure n'a aucun effet supplémentaire sur la vidange mammaire, par conséquent le moment opportun de la décharge d'ocytocine est plus important que la valeur absolue de la concentration (Mayer et al, 1984). Ainsi, la durée et le moment de la stimulation sont cruciaux et liés au degré du remplissage de la mamelle. En revanche l'intensité de la stimulation ne semble pas aussi importante (Bruckmaier, 2005). Ce besoin de la stimulation tactile semble varier entre les espèces. Chez la chèvre et la brebis, la fraction importante du lait citernal permet d'appliquer les gobelets trayeurs après une courte ou même sans pré-stimulation (Cross, 1977 ; Basic et al, 2009). Cependant, Marnet et McKusick (2001) affirment que la stimulation de l'éjection du lait reste importante afin d'extraire le lait alvéolaire riche en matière grasse et ceci d'autant plus que la traite est rapide et qu'un décrochage est possible avant que le réflexe ne soit à sa pleine efficacité.

La pré-stimulation est donc d'autant plus recommandée chez les espèces à citerne réduite. En effet, chez la bufflonne, le lait citernal ne dépasse pas les 5%, et la pré-stimulation est d'une importance extrême pour une éjection du lait optimale (Costa et Reinemann, 2002 ; Ambord et al, 2010). Chez cette même espèce, Svennersten-Sjaunja (2000) rapporte que l'éjection du lait nécessite en moyenne 2 min de stimulation et donc bien plus que ce qui est nécessaire à la vache. Chez la chamelle, comme pour beaucoup de races rustiques, la présence du jeune est encore souvent considérée comme impérative pour la stimulation de l'éjection du lait (Debora et Reinemann, 2002). L'effet de la pré-stimulation manuelle durant la traite mécanique chez cette espèce n'est pas encore étudié à notre connaissance.

4.3.2. Préparation des trayons

Il est recommandé d'inclure l'extraction des premiers jets de lait dans la routine de traite afin de vérifier l'état sanitaire des mamelles (lait anormal ou autre signe de mammites cliniques) (Costa et Reinemann, 2004). De plus, cela représente un stimulus très puissant du

reflexe d'éjection du lait si bien appliqué au début de la routine de traite chez la vache laitière (au moins 10 s) (Marnet, 2013). L'action nettoyage et séchage des trayons avant la pose des gobelets trayeur permet d'éviter la contamination du lait par les résidus des produits bactériostatiques utilisés en post traite (Marnet, 2013), de réduire la charge bactérienne sur le trayon (Galton et al, 1986) et aide aussi à cette pré-stimulation. Gleeson et al (2009) ont montré que l'utilisation d'une solution désinfectante avant la traite (prétrempage) permet de réduire encore plus efficacement la charge en staphylocoques, streptocoques et coliformes sur la peau des trayons et dans le lait comparé au lavage et séchage des trayons et à l'absence de préparation des trayons mais cette routine peut devenir lourde et couteuse en temps et finir par desservir lorsque le nombre d'animaux et les cadences requises sont élevées.

4.3.3. Pose du faisceau trayeur

Chez la vache, certains auteurs recommandent la pose des gobelets trayeurs immédiatement après la fin de la préparation de la mamelle soit entre 20 et 30 s (Labussière, 1988). Cependant, un débit de lait élevé immédiatement après la pose du faisceau suivi d'une réduction immédiate avant de ré-augmenter (bimodalité) indique une pré-stimulation insuffisante et témoigne d'une pose de faisceau sur une mamelle qui n'était pas encore sous pression (Reinemann et al, 2001). Aussi, certains auteurs recommandent d'attendre jusqu'à 45 à 90 s après le début de la stimulation de la mamelle afin de profiter encore mieux de l'effet stimulant de l'OT (Gorewit et Gasman, 1985; Rasmussen et al, 1992 ; Bruckmaier et al, 1994) en permettant l'augmentation maximale de la pression intra-mammaire avant la fixation du faisceau trayeur (Neijenhuis et Hillerton, 2003). Kaskous et Bruckmaier (2011) recommandent une période de latence de 45 s après une courte pré-stimulation de 15 s au lieu d'une stimulation continue afin d'induire encore plus l'éjection du lait. Ceci est d'autant plus important à des niveaux faibles de remplissage de la mamelle < 40%. Cependant, Reinemann et al (2001) ont rapporté qu'un retard de pose de gobelets trayeurs supérieur à 3 min augmente la fraction du lait résiduel et réduit la production laitière car l'effet bénéfique de l'ocytocine commence alors à s'estomper, le lait remonte vers les alvéoles (retour élastique- Caja et al, 2011) et la pression rebaisse dans la mamelle. Ces derniers auteurs indiquent d'ailleurs que cet effet de décroissance rapide de l'effet de l'OT est d'autant plus rapide et sensible que les animaux ont de petites citernes comme les chamelles.

4.3.4. Environnement de la traite

Les conditions d'environnement des animaux avant et durant la traite sont déterminantes pour l'efficacité de la traite. En effet, un stress entrainera, comme nous l'avons vu précédemment, la libération de l'adrénaline qui même libérée 30 min avant la traite peut interférer avec l'éjection du lait ce qui va rallonger la traite par ailleurs moins efficace (Ruegg, 2006). Pendant la traite, Bruckmaier et al (1994) ont montré que les concentrations élevées en continu de l'OT sont nécessaires pour assurer la vidange complète de la mamelle des vaches laitières. Ceci suggère que toute perturbation des animaux, surtout à citernes réduites, lors de la vidange de la mamelle, pourrait provoquer une traite incomplète. Ces perturbations peuvent venir d'un environnement nouveau, étrange ou bruyant, la présence d'individus ou animaux inhabituels, de la douleur aiguë causée par un disfonctionnement de la machine à traire ou la traite sur une mamelle enflammée, des problèmes de santé ou de traitements sanitaires réalisés malencontreusement pendant la traite ou dans la salle de traite (Marnet, 2013). Ces sources de stress peuvent causer l'inhibition de la décharge d'OT (Bruckmaier et al, 1993) ou limiter son accès à la mamelle *via* une réduction dramatique du débit sanguin irrigant la mamelle (Gorewit et Aromando, 1985) comme déjà vu avant. La réponse au stress varie beaucoup entre les animaux. Les réponses typiques consistent à éviter les manipulateurs (respect de la distance de fuite, refus d'avancer), à se débattre (coups de pattes, piétinement, agitation, décrochage du faisceau trayeur…), à avoir des manifestions physiologiques (sueurs, rythme cardiaque élevé, blocage de la rumination, défécation…) et à se plaindre (meuglement, bêlements de forte intensité...). Les animaux non stressés sont toujours plus calmes, curieux, entrent à l'inverse facilement, ruminent souvent et ne défèquent pas généralement dans la salle de traite. Si un certain nombre d'animaux refusent d'entrer dans la salle ou défèquent fréquemment, les trayeurs ainsi que les équipements de traite devraient être examinés (Ruegg, 2006).

4.3.5. Egouttage machine

L'égouttage machine permet la collecte de la dernière fraction du lait restante dans la citerne. Cette pratique est de plus en plus abandonnée d'autant que les équipements et les réglages des machines à traire ont évolué permettant une meilleure vidange de la mamelle et autorisant la dépose automatique du faisceau trayeur en fin de traite quand le débit du lait se réduit fortement. Même si O'Shea (1987) rapporte une augmentation du taux des mammites si l'égouttage machine est omis, Marnet (2013) déclare que l'égouttage machine est à éviter si la

fraction du lait d'égouttage ne dépasse pas 15% du lait machine car ce lait n'aura pas d'effet négatif sur la synthèse ultérieure (dans le cas d'animaux avec citernes). Dans le cas contraire, ceci signifie que la machine à traire n'est pas adaptée à l'animal et/ou que le réglage machine n'est pas ajusté pour une meilleur stimulation. Dans le cas d'utilisation du système de décrochage automatique du faisceau, l'élévation du seuil de décrochage automatique de 0,2 kg/min à 0,4 kg/min par vache permet de raccourcir la durée de la traite, sans perte de rendement en lait chez la vache (Rasmussen, 1993) ce qui confirme l'absence d'utilité de la pratique l'égouttage par ailleurs couteuse en temps. L'égouttage machine est aussi à éviter quand la fréquence de traite augmente, dans le but de réduire la durée d'action des gobelets sur les trayons (Stewart et al, 2002).

4.3.6. Traitement post-traite

L'utilisation d'un produit bactériostatique à la fin de la traite, après retrait des gobelets trayeurs, a été initialement développé pour réduire l'infection post traite des mamelles lorsque les sphincters des trayons encore ouverts s'opposent mal à la pénétration des pathogènes. Ces produits sont appliqués soit par trempage, soit par pulvérisation. Cependant, il est plus difficile d'appliquer correctement le produit sur la totalité de la surface du trayon par pulvérisation (Ruegg, 2006). Le risque de pénétration de germe sera encore plus accru si la traite est très agressive et perturbe la production de kératine dans le canal des trayons ou si les tissus des trayons sont congestionnés ou œdémateux suite à un niveau de vide élevé, un défaut de massage ou à la sur-traite (Marnet, 2013). Ainsi, ces auteurs conseillent de faire en sorte que les animaux restent debout après la traite afin de limiter les risques de contamination par contact avec le sol ou la litière en mettant ce temps à profit pour l'alimentation. La distribution d'aliments frais est recommandé afin d'encourager ce comportement.

En général, l'ordre d'importance de ces pratiques de traite varie en fonction des particularités anatomiques et physiologiques et la conduite des animaux. Toutefois, les données concernant la routine de traite mécanique de la chamelle et les pratiques recommandées sont rares. Durant ce travail de thèse on vise à déterminer l'importance de quelques pratiques de traite sur l'aptitude à la traite de la chamelle, afin de pouvoir conseillers des pratiques permettant de faciliter la traite mécanique de cette espèce.

Objectifs de la thèse

L'objectif général de ce travail est de donner un aperçu sur l'aptitude de la chamelle à la traite mécanique. Notre intérêt s'est focalisé sur la relation complexe entre la mamelle/trayon et la machine à traire, les performances au cours de la traite et la réponse comportementale des animaux suite au changement de paramétrage et de routine de traite. Les objectifs spécifiques de l'étude sont énoncés ci-dessous:

Le premier chapitre concernera l'étude des caractéristiques anatomo-fonctionelles des mamelles des chamelles. Une première partie de ce travail, décrira la morphologie externe de la mamelle et des trayons chez les chamelles élevées dans différents systèmes d'élevage et nous examinerons l'influence du stade de lactation. Par ailleurs, nous étudierons la corrélation entre quelques uns de ces caractères morphométriques de la mamelle et du trayon avec les caractéristiques de la courbe d'éjection de lait afin de déduire leurs conséquences sur l'aptitude à la traite mécanique. La seconde partie, concernera la morphologie interne des glandes et trayons des chamelles et nous estimerons les dimensions des citernes mammaires et la répartition du lait dans la mamelle avant et après éjection du lait et ceci en fonction du stade de lactation.

Le deuxième chapitre décrira les modalités de l'éjection du lait en cours de traite qui nous aidera à définir les caractéristiques des cinétiques liées à l'aptitude à la traite des chamelles.

Le troisième chapitre, décrira l'effet de la variation des paramètres de la machine à traire sur l'efficacité de la traite. Nous ciblerons principalement les effets de niveaux de vide élevé et faible combinés à différents taux de pulsation sur les caractéristiques de la courbe d'éjection de lait afin de déterminer les réglages les plus appropriés pour traire cette espèce.

Le quatrième et dernier chapitre concernera l'effet de certains changements de la routine de traite (pré-stimulation, perturbation de l'environnement avant et pendant la traite, retard de pose des gobelets trayeurs) sur l'éjection du lait, les caractéristiques de la courbe d'éjection du lait et la réponse comportementale des chamelles.

Partie 2: TRAVAIL EXPERIMENTAL

MATERIELS ET METHODES COMMUNS

Matériels et méthodes communs

1. Morphologie de la mamelle et du trayon

Le tableau 3 et la figure 10 récapitulent les caractères morphométriques de la glande mammaire de la chamelle que nous avons étudiés et la façon de les mesurer. Les mesures ont été prises juste avant la traite du matin sur des mamelles et des trayons pleins, à un intervalle de traite de 16 h.

Tableau 3: Description des méthodes de mesures des caractères morphologiques de la glande mammaire chez la chamelle

Caractères (cm)	Description
Diamètre du trayon (TD)	Mesuré à moitié trayon par pied à coulisse.
Longueur du trayon (TL)	Distance entre la base et le bout du trayon mesurée par un pied à coulisse.
Distance entre trayons avants (FTD), arrières (RTD) et latéraux (STD)	Ces quatre mesures sont prises par un mètre ruban placé au bout des trayons.
Profondeur de la mamelle (UD)	Distance entre le point d'attache de la mamelle et la base des trayons.
Hauteur de la mamelle (UH)	Distance mesurée entre le bout des trayons et le sol par un mètre ruban tendu verticalement.
Circonférence horizontale de la mamelle (UHC)	Mesuré par un mètre ruban placé directement contre la peau de la mamelle et qui passe du point milieu du ligament suspenseur médian entre les quartiers arrières jusqu'au point milieu entre les quartiers avants. Les deux moitiés de mamelle ont été mesurées et la circonférence horizontale représente la somme des deux.

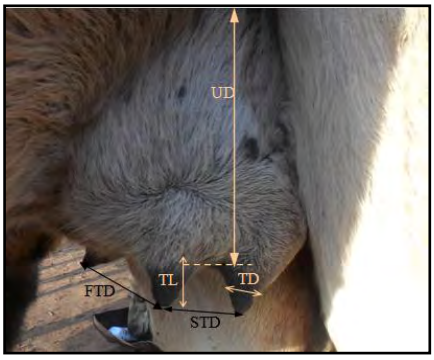

Fig. 11. Mesures des trayons et de la mamelle de la chamelle

Pour l'étude de la forme du trayon, quatre formes majoritaires ont été décrites (Fig. 11) : Trayons cylindriques, trayons coniques/cylindrique ou dite « entonnoir » et trayons irréguliers ou en forme de bouteille.

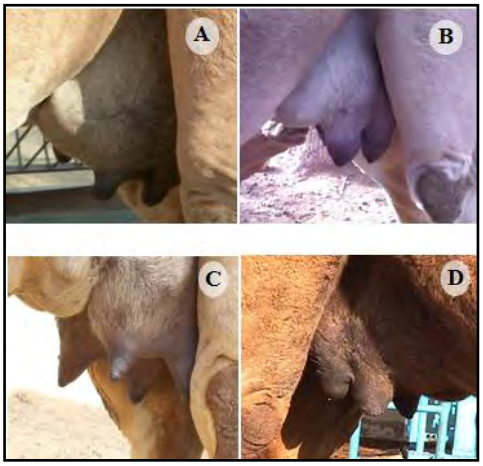

Fig. 12. Différentes formes de trayons chez la chamelle, A : trayons cylindriques, B : trayons coniques/ cylindriques ou entonnoir, C : trayons coniques, D : trayons irréguliers ou en forme de bouteille.

2. Mesures des courbes de débit du lait

2.1. Matériel de traite

La traite mécanique des chamelles durant ce travail de thèse a été effectuée par un pot trayeur réservé à la traite des bovins (Modèle AM/ T115, Agromilk, Italie), équipé d'un pulsateur pneumatique réglable manuellement. La griffe à lait est de marque DeLaval (Modèle : 00100349 S / S de type Alfa / Laval) de capacité 180 cc; Les manchons sont en caoutchouc (Ref. : 91000301), ont une longueur de corps de 320 mm, et un diamètre de la lèvre d'embouchure de 25 mm.

2.2. Lactocorder

Les courbes d'éjection de lait ont été enregistrées durant la traite du matin à l'aide d'un compteur à lait électronique (Lactocorder®, WMB AG, Balgache, Suisse), calibré

spécialement à des débits faibles (<0,05 kg / min; calibré pour la traite de chèvre). Cet appareil n'a pas encore l'approbation de l'ICAR pour l'utiliser dans les mesures de débit de lait pour l'espèce cameline, néanmoins, cet appareil est agréé pour mesurer avec précision la production laitière pour les animaux produisant de 100 ml à plus de 40 l et des débits allant de 100 g/min (calibration chèvre) à 12 kg/min (calibration vache) avec une précision de ± 2% et erreur standard de 2,5% (standards de ICAR). La production et le débit de lait de la chamelle sont compris dans cet intervalle. Nous avons de notre coté également vérifié manuellement la précisions de la mesure de volume par pesée du pot trayeur (par différence après moins avant la traite) ainsi que l'enregistrement du temps de la traite. Nous avons ainsi vérifié, ainsi que les données de quantité de lait (lait total, lait machine, égouttage et résiduel) et débits d'écoulement moyen de lait étaient représentatives. Nous avons particulièrement fait attention, afin d'éviter les entrées d'air qui sont associées à la formation excessive de mousse qui pourrait éventuellement modifier les mesures. Le tableau 4 récapitule la description des différents paramètres de la cinétique d'émission du lait étudiés.

Tableau 4 : Description des paramètres de la cinétique d'émission du lait chez la chamelle

Paramètre	Description
Temps d'éjection du lait (min)	Temps écoulé entre la stimulation de la mamelle (pose du faisceau trayeur, ou stimulation manuelle) jusqu'à éjection du lait déterminé visuellement par gonflement brusque des trayons, enregistré par chronomètre.
Temps total de traite (min)	Temps écoulé entre la pose du faisceau trayeur et sa dépose, enregistré par chronomètre.
Temps effectif de traite (min)	Temps nécessaire pour la récupération de la fraction du lait machine (voir ci-dessous)
Lait machine (kg)	Quantité de lait recueillie dès que le débit de lait dépasse 0,250 kg/min jusqu'à sa chute sous 0,100 kg/min à la fin de la traite.
Lait égouttage (kg)	Quantité de lait recueillie lorsque le débit de lait re-dépasse 0,250 kg/min, 15 secondes après la fin de collecte du lait machine.
Débit maximum du lait (kg/min)	Niveau du débit maximal (moyenne sur 22 secondes).
Débit moyen du lait (kg/min)	Débit moyen durant le temps effectif de traite.
Bi-modalité (%)	% de courbes présentant une bimodalité, déterminé directement et visuellement sur les courbes de cinétique d'émission de lait, quand la courbe présente 2 pics dont le 1er se produit durant la 1ère minute.

3. Analyses hormonales

3.1. Pose des cathéters et prises sanguines

Afin de faciliter le prélèvement sanguin en série, un cathéter en silicone de diamètre 1,2 × 2,0 mm et longueur 60 cm (Laboratoire pharmaceutique Vycon, France) a été introduit dans la veine jugulaire droite de chaque animal, grâce à un trocart d'un diamètre 2,7 mm et de 52 mm de longueur, (Laboratoire pharmaceutique Vycon, France). L'obstruction a été assurée par un mandrin de nylon dans le cathéter préalablement remplis d'une solution anticoagulante (héparine 1000 UI/ml). Le cathéter a été maintenu fixé au cou de la chamelle par sparadrap et reste ainsi en place durant toute la période de l'essai. Le cathéter a été allongé par un tube en polyéthylène (diamètre 1,5 à 2,5 mm et longueur 150 cm) médical de manière à permettre le prélèvement à distance de l'animal au cours de la traite. Cette intervention a été réalisée quelques jours avant le début des prises de sang et le cathéter a été protégé par un pansement faisant une poche sur le cou de l'animal. Avant chaque prélèvement, la solution anticoagulante et environ 5 ml du sang ont été aspirés par seringue et éliminés. Une cinétique de prélèvement comprends des prélèvements réalisés avant, durant et après la traite à -2 ; -1 ; 0 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 ; 3 ; 6 ; 12 min par rapport à la pose du faisceau trayeur.

Aussitôt après le prélèvement du sang, les tubes sont placés dans l'eau glacé et transporté rapidement au laboratoire où ils ont été centrifugés à 3000 tours/min pendant 15 min à 4°C. Le plasma ainsi obtenu a été conservé à -20°C jusqu'au jour d'analyse hormonale.

3.2. Extraction et dosage de cortisol

Le cortisol a été dosé par la méthode immuno-enzymatique (EIA) développée à l'UMR PEGASE INRA/AGROCAMPUS-OUEST. Cent µl de plasma ont été mélangés avec 1 ml d'éthanol glacial (99% à – 20°C) afin d'induire la précipitation des grosses protéines. Le surnageant (250 µl) a été transféré dans un autre tube, puis évaporé dans une centrifugeuse sous vide (speed-vac). Avant le dosage, les échantillons ont été reconstitués dans 200 µl de tampon EIA (Marnet et al, 1994) et 50 µl ont été utilisés pour la détermination de la concentration du cortisol. Pour le dosage du cortisol, la zone de sensibilité maximale, évaluée par la valeur de B/Bo à 50% (DE50) était de 1 ng/ml. Le coefficient de variation intra-essai a varié de 24% (à 0,1 ng/ml) à 9% (à 1,6 ng/ml). Le coefficient de variation inter-essai a varié entre 8% (25 ng/ml) à 5% (1,6 ng/ml). La limite de détection était de 0,1 ng/ml.

4. Imagerie échographique

Un échographe type Aquila Pro (Esaote paramédicale, France), équipé d'une sonde sectorielle de fréquence 5 MHz et d'une sonde linéaire de fréquence 6 MHz, a été utilisé. Afin de faciliter le contact des sondes, un gel de contact (Tecnocarta med s.r.l Taranto, Italy) appliqué directement sur la mamelle de la chamelle est indispensable pour éliminer toute présence d'air et améliorer la transmission des ondes sonores et la qualité de l'image obtenue. La profondeur d'exploration était de 14 cm pour la sonde sectorielle et de 10 cm pour la sonde linéaire. L'échographie a été réalisée dans le lieu de traite, les chamelles étaient en position dressée. La procédure d'échographie a été basée sur la méthodologie utilisée par Ayadi et al (2003). Dans notre expérience, la sonde sectorielle a été placée perpendiculairement à la base de la mamelle et parallèlement à l'axe du trayon. La sonde linéaire a été placée directement sur le trayon parallèlement à son axe.

Pour éviter l'éjection du lait lors de la manipulation de la mamelle et du trayon, chaque chamelle a reçu avant d'entrer dans l'enclos de traite une dose de 10 µg d'atosiban® par kg de poids vif, par voie intraveineuse, afin de bloquer les récepteurs à l'ocytocine,. Comme la demi-vie calculée de l'atosiban est de 18 min (Wellnitz et al, 1999), une seule dose était suffisante pour empêcher l'éjection du lait chez les chamelles pendant toute la procédure. Les images obtenues ont fait l'objet d'une analyse par un programme de traitement d'image médicale (Image Tool 3.00) afin d'évaluer les distances et les surfaces des citernes des trayons et de la glande.

CHAPITRE 1: Anatomie et morphologie de la mamelle et du trayon de la chamelle : conséquence sur l'aptitude à la traite mécanique

Ce travail fait l'objet de deux projets de publications:

Publication 1: "Machine milking ability of dromedary camels: udder morphological traits and milking characteristics"

Auteurs : Atigui M., Marnet P.G., Dhaoui M., Khorchani T., Hammadi M.

En cours de finalisation

Publication 2: "Milk partitioning in the udder and cisternal size throughout lactation in dairy camels (*Camelus dromedarius*)"

Auteurs : Atigui M., Hammadi M., Bessalah S., Harrabi H., Seddik M.M., Khorchani T. et Marnet P.G.

Soumis pour publication à Small Ruminant Research

Aperçu sur l'article 1:

Aptitude de la chamelle à la traite mécanique : relation entre les caractères morphologiques et les caractéristiques de la cinétique d'émission de lait

Ce travail vise à mettre en lumière la relation entre certains caractères morphologiques de la mamelle et l'aptitude à la traite mécanique de la chamelle. En total, 114 chamelles appartenant à différents élevages appliquant 3 systèmes de production différents et à différents stades de lactation ont été utilisées. Les mesures ont été prises justes avant la traite du matin après 16 h d'intervalle entre traite qui est un intervalle classique dans ces élevages. L'effet du mode d'élevage et du stade de lactation a été considéré.

Cette étude a permis de montrer que la chamelle laitière possède une conformation de mamelle intermédiaire et des trayons de taille eux aussi intermédiaires en système d'élevage extensif et mixte. L'amélioration et l'intensification des conditions d'élevage ont permis l'amélioration de l'état corporel des animaux, l'augmentation de la production laitière et l'augmentation du volume de la mamelle et des trayons. Les dimensions du trayon ont doublé suite à l'intensification de l'élevage. La distance entre les trayons a augmenté considérablement. De même, la profondeur et la circonférence de la mamelle ont augmenté parallèlement à l'augmentation de la quantité du lait stockée.

Les chamelles Maghrebi élevées de façon extensive avaient une conformation similaire (profondeur de la mamelle égale à 19,59 ± 0,63 cm et circonférence horizontale égale à 65,80 ± 1,82 cm) mais des trayons plus petits (diamètre 2,07 ± 0.10 ; 2,16 ± 0,12 cm et longueur 2,96 ± 0,13 ; 3,13 ± 0,17 respectivement pour les trayons avants et arrières) que ceux rapportés chez la chamelle Arabie-Lahwee élevées dans des conditions d'élevage extensif au Soudan (Eisa et al, 2010). Nos chamelles élevées de façon intensive se caractérisaient aussi par des trayons plus larges (diamètre 4,02 ± 0,18 et 4,24 ± 0,20 cm respectivement des trayons avants et arrières) par rapport aux chamelles élevées dans des conditions proches en Arabie Saoudite (Ayadi et al, 2013). Il s'avère que la chamelle en Tunisie possède des trayons particulièrement larges comparativement à ceux de la vache (Rogers et Spenser, 1991; Zwertugher, 2012) ou de la bufflonne (Prassad et al, 2010). Cette différence pourrait être attribuée, au moins en partie, à la durée de l'intervalle de traite qui est de 16 heures dans notre cas. De telles différences liées à la race et aux conditions d'élevage devront être prises en considération au moment de l'adaptation ou la conception d'une machine à traire et de ses différentes composantes pour la chamelle. Indépendamment du mode d'élevage, les

mensurations de la mamelle et des trayons ont chuté en fin de lactation parallèlement à la chute de la production laitière en conséquence de la diminution du tissu sécrétoire et de la chute du taux de la sécrétion lactée (Wilde et al, 1997). En outre, en fin de lactation, les trayons étaient plus courts, petits, pliés et vides. Ces résultats soulignent l'importance d'une stimulation à ce stade tardif afin d'éviter la traite sur des trayons vides et risquer une vidange incomplète de la mamelle (Nickerson, 1992). Les corrélations entre les caractères morphologiques et la production laitière ont montré une corrélation positive élevée entre la production journalière et la profondeur de la mamelle, la distance entre les trayons et le diamètre du trayon avant.

Une étude complémentaire a été menée à la station expérimentale de Chenchou sur 20 chamelles bien adaptées à la traite mécanique, afin de déterminer les caractères morphologiques de la mamelle influençant les paramètres de l'aptitude à la traite mécanique. Dans ce contexte, 40 courbes d'éjection de lait ont été étudiées. Ce travail a permis de confirmer les corrélations trouvées précédemment dans les élevages commerciaux. En effet, la production laitière a été positivement corrélée au diamètre ($r = 0,56$; $P<0,001$) et la longueur du trayon ($r = 0,61$; $P<0,001$) et la profondeur de la mamelle ($r= 0,53$; $P<0,001$). De même, les débits maximum et moyen sont positivement corrélés au diamètre et la longueur du trayon. Rogers et Spencer (1991) ont trouvé que la production laitière chez la vache est positivement corrélée au diamètre et la longueur du trayon. A l'échelle du trayon, Weiss et al (2004) ont trouvé que les mensurations externes du trayon ne sont pas corrélées au débit maximum et moyen du lait, alors que la longueur du canal du trayon est liée à une réduction des débits maximum et moyen du lait. Cette différence peut être attribuée à la pression de sélection que connait l'espèce bovine. L'étude de la forme du trayon a montré une grande hétérogénéité entre individu et au sein du même animal. Il est fréquent de trouver différentes formes de trayon sur la même mamelle. Ainsi, l'étude de la corrélation de la forme du trayon aux paramètres de la cinétique d'émission de lait n'est possible qu'avec l'enregistrement des paramètres du flux de lait à l'échelle du trayon ce que nous n'avons pas fait. Sur 80 trayons étudiés, on a distingué 3 classes de forme essentiellement : conique (41%), cylindrique (39%) et irrégulière (20%). La sélection des mamelles les plus uniformes faciliterait la traite et diminuerait le besoins aux interventions manuelles.

Ces résultats montrent que la chamelle Maghrebi possède en général une mamelle de conformation et des trayons de taille moyenne. L'intensification de l'élevage entraine un net développement des mamelles et des trayons larges. Quelques caractères morphologiques ont montré des corrélations positives avec la production laitière et le débit de lait et pourraient

ainsi être adoptés pour un schéma de sélection de chamelles laitières. L'effet du stade de lactation sur les mensurations des trayons suggèrent l'évolution des pratiques de la traite mécanique au cours de la lactation des chamelles tel que la réduction de l'intervalle entre traite durant les périodes de haute production et l'importance de la stimulation en fin de lactation.

Article 1: Machine milking ability of dromedary camels: udder morphological traits and milking characteristics

Moufida Atigui[1,2,3,4], Pierre-Guy Marnet[2,3], Mohamed Dhaoui[1], Touhami Khorchani[1], Mohamed Hammadi[1]

[1]*Livestock and Wildlife Laboratory, Arid Lands Institute–University of Gabes, 4119 Médenine, Tunisia.*

[2] *AGROCAMPUS OUEST, UMR1348 PEGASE, F-35042 Rennes, France*

[3] *INRA, UMR1348 PEGASE, F-35042 Rennes, France*

[4] *Institut National Agronomique de Tunis, 43 Av. Charles Nicole, 1082 Mahragène, Université de Carthage, Tunisia*

Correspondance: Pierre-Guy MARNET, AGROCAMPUS OUEST, UMR1348 PEGASE, 65 rue de st Brieuc, F-35042 Rennes cedex, France Tel. 33 (0)2-23-48-56-81; E-mail: marnet@agrocampus-ouest.fr

Abstract

The present study aims to highlight the relationships between morphological traits, milk yield and milking characteristics in dromedary camels. A total of 114 Maghrebi camels reared under different management systems were use. Measurements were recorded at 16 h milking interval, at different lactation stage. Effects of management system and lactation stage were studied. This investigation revealed a great variability in udder and teat measurements under extensive and supplemented management systems. Camels had medium sized udder and teats and very low milk production (1.72 ± 0.10 l/day and 2.69 ± 0.14 l/day respectively for extensive and supplemented systems). Improving management conditions improved milk productivity (6.34 ± 0.40 l/day) and morphological traits. Milk production was positively correlated to udder depth (r= 0.50; P< 0.0001), fore teat diameter (r= 0.41; P<0.0001) and teats perimeter (r= 0.34; P<0.001). Regardless of management system, milk yield and morphological traits decreased significantly à late lactation compared to early and mid lactation. A complementary trial was conducted on 20 Maghrebi camels reared under intensive conditions and machine milked in order to assess udder morphology and milking performances. Measurements were realised twice during lactation, immediately before morning milking after 16 h milking interval. Milk yield and milk flow parameters were recorded using a portable milk flow meter (Lactocorder®). Results revealed that our dairy camels had well developed teats and udders. Three typical teat shapes were described for these camels. The most commune shape was cylindrical teats (39%) followed by conical/funnel teats (41%) and irregular shaped teats (20%). Milk yield ranged between 1.70 and 10.20 l/day with an average 6.24 ± 0.40 l/day. Time to milk ejection and total milking time averaged 1.11 ± 0.08 and 4.41 ± 0.13 min, respectively. Mean peak and average milk flow rates were 3.08 ± 0.19 and 1.34 ± 0.07 kg/min. Milk yield was highly and positively correlated to teat length (r= 0.72, p<0.001), teat diameter (r= 0.75, p<0.001) and udder depth (r= 0.54, p<0.001). Similarly, peak and average milk flow rates were highly and positively correlated with teat length (r= 0.64, p<0.001 for each) and diameter (r= 0.67, p<0.001 and r= 0.65, p<0.001 respectively) and udder depth (r= 0.50, p<0.001 and r= 0.48, p<0.01 respectively). On the contrary, time to milk ejection was negatively correlated to udder depth (r=-0.30, p<0.05). Our study gave first elements for morphological selection on milking ability but further studies involving larger herds mechanically milked are needed in order to be able to confirm these results.

Key words: Udder and teat morphology, milk flow, milking ability, camels

Introduction

In arid and desert regions camels are of particular interest. Despite the severe environmental conditions, camels are able to produce where the existence of alternative farming would be risky and expensive (Nargisse, 1989). Compared to other dairy animals, camels remains the best producers under these conditions, they can profit of the limited resources to produce daily milk yield ranging from 4 to 18 l/head (Aljumaah et al., 2011). Faye (2005) stated that the dairy potential of camel appeared higher than cow reared under the same climatic and feeding conditions. Raziq et al. (2008) reported that Pakstani camels produce far better than the indigenous dairy breeds of cattle and buffalo, Friesian and their crosses, per head basis. In addition, an increasing interest to camel's milk for human consumption in different parts of the world has been noticed. It has been proposed as a substitute for cows' milk in allergic children, as a substitute for mother's milk for premature newborns, and as a therapeutic way to repress hyperglycaemia in diabetic patients (Agrawal et al., 2003; Sboui et al., 2009). As a result, many intensive dairy camel farms have been recently created around the world (Wernery et al., 2004; Hammadi et al., 2010; Ayadi et al., 2013).

Identification of camel's factors, particularly udder and teat characteristics that influence milking characteristics, has decisive implications for milking management and adjusting the machine milking design and settings. It has been shown that udder and teat morphology is very heritable (Seykora and McDaniel, 1986; VanRaden et al., 1990).

Udder morphology and functional milking traits are one of the most important factors determining milking ability in dairy animals. Although, it has been well studied in dairy cattle (Monardes et al., 1990; Rogers and Spencer 1991), dairy ewes (Labussière et al., 1981; Bruckmaier et al., 1997; Marnet et al., 1999; Dzidic et al., 2004) and dairy goats (Le Du and Benmederbel, 1984; Bruckmaier et al., 1994; Peris et al., 1999), little information is available on dairy camels. Recent studies describing udder morphology reported that some of the udder morphometric measurements have an impact on milk yield (Eisa et al., 2010; Ayadi et al., 2013). Abdallah and Faye (2012) reported a large variability in teat and udder length of 12 camels breed in Saudi Arabia. Nevertheless the data differs a lot due to the different breed and system studied. Ayadi et al. (2013) suggested that some of these udder morphological traits could be adopted for genetic improvement in the breeding programs of dromedary camels. Additionnaly, as far as we know there is a lack of data describing the relationship between udder morphology and milking ability in dairy camels.

In consequence, our work aimed to describe the udder and teats morphological traits in our Tunisian dromedary camels reared under different management systems and to examine the influence of lactation stage. To underline the morphological traits with functional interest, we also sought to determine their relationships with milk flow characteristics and their consequences on machine milking ability.

Materials and Methods

Animals and management

A total of 114 dromedary camels were used during this investigation to study the udder and teat morphology and their relation with milk yield. The study was conducted on Arid Land Institute experimental herd and in 8 private herds in Southern Tunisia. Three different animal management systems were identified:

Extensive management: Thirty five animals were reared exclusively on pasture of arid regions where dry matter intake was estimated about 6 kg/camel/day (Ben Arfa et al., 2004). Animals were supplemented with 2 kg of olive cakes, barley grains and wheat bran mixture/head. Animals had access to water once each one or 2 days. Animals were exclusively suckled and hand milking is only practiced to satisfy the needs of the cameleer.

Mixed management: Thirty four animals grazed 6 to 7 h/ day in pasture of arid regions and returned to the farm where they were fed with 5 kg of waste dates and *ad-libitum* oat hay. They had access to water once a day. Camels spent the grazing period with their calves and were milked once a day in the morning after a separation period of 16 h.

Intensive management: Forty five animals were maintained exclusively in the farm in a loose stall housing systems (20 m²/ animal). They were fed with a forage mixture of 10 kg alfalfa hay and 6 kg of fresh alfalfa and 2 kg of commercial concentrate for dairy cows with a free access to water. Camels are routinely machine milked twice a day (0800 and 1600) as described by Atigui et al. (2014a).

Udder morphology measurements and daily milk yield estimation

Udder and teat measurements were taken just before morning milking or pasture time which coincided with approximately 16h milking/ suckling interval. Measurements were taken as follows (Fig.1): Teat diameter (measured in the middle of the teat using a vernier caliper), teat length (distance from the teat base to the teat tip), distance between fore, rear and side teats were measured at the tip of the teats, udder depth (the distance between the udder attachment and the floor of udder/base of the teats), udder height (measured between the teat tip and the ground), udder horizontal circumference (measured by matching the tape to the surface

distance of the udder half from the median suspensory ligament between the front quarters till the median point between the rear quarters). Both udder sides were measured and the sum of the two readings was considered as the udder circumference.

Fig.1. In this round

Daily milk yield was estimated according to the milking practice used in each management system. For animals exclusively suckled, milking was performed by a familiar cameleer and milk ejection was in parallel induced by their calf. The cameleer milked the tow right quarters while the left half was left for the calf. Daily milk yield was estimated as: ((milk yield × 2) /milking interval (h)) × 24 h. For the mixed-management system, camels were milked without their calves. Milk ejection was induced by an intravenous injection of 10 UI of oxytocin. While camels in intensive system were well adapted to machine milking and did not need oxytocin injection. Daily milk yield was estimated as (milk yield / milking interval (h))× 24 h.

Machine milking ability assessment

As machine milking ability traits could only be measured for machine milked camels, a second trials was conducted to assess relationship between milking ability traits and morphological characteristics. Twenty camels from the 3rd group were measured twice during lactation, immediately before morning milking after 16 h milking interval as previously described. Along with morphological measurements, milk yield and milk flow parameters were recorded using a portable milk flow meter (Lactocorder®, WMB AG, Balgache, Switzerland) as described by Atigui et al. (2014b).

The following milking parameters were evaluated : time to milk ejection occurrence (from start of udder stimulation until milk ejection occurs, visually detected when teats suddenly swell), total individual milking duration (from cluster attachment until their removal when milk flow ceased), machine milk yield (since milk flow exceed 0.250 kg/min until it dropped below 0.100 kg/min), daily milk yield (estimated as : milk yield / milking interval (h))× 24h), PFR : mean Peak Flow Rate recorded during 22 s of the main milking phase, AFR : Average Flow Rate during all the main machine milking phase and bimodality (2 observed succeeding milk emissions with the first one occurring just after cluster attachment, followed by a significant decline in milk flow before occurrence a second milk flow rise generally after 1 min. Abrupt, very short and/or accidental milk flow drop inducing a milk flow curve pattern close to two peak emissions patterns were not considered as bimodality). Milk flow curves were evaluated and a type score was attributed for all milk kinetic curves, according to Atigui et al. (2014b). Type 1 milk kinetic curves were characterized by sharp peak flow curve with a

continuous increase in the milk flow followed by a declining phase without going through a plateau phase. Type 2 was characterized by milk flow curves with intermediate milk flow rate and showing a significant plateau phase. Finally, type 3 milk flow curves were characterized by a low milk flow rate and a longer milking duration.

Statistical analyses

The results are presented as means ± SE. Statistical analyses were carried out using the MIXED procedure of SAS program (SAS version 9.0, SAS Inst. Inc., Cary, NC). Significant differences between least square means were determined with PDIEF test. Significance was declared at $P < 0.05$, otherwise stated. Paired *t-test* was used to find out the variation between fore and rear, left and right udder halves measurements. The χ^2 test was used to evaluate group differences of Bimodality trait, curve type and teat shape. Pearson correlation coefficient among milk yield, milking traits and morphological traits were calculated using the CORR procedure.

Results

Results revealed a wide range of all udder and teat measurements which varied significantly according to management system and lactation stage. For all measurements no differences were detected between left and right udder halves, therefore values were averaged and discussed jointly (Table 1 and 2). However, rear teats were significantly larger than front teats, while no difference between teat lengths was detected. Rear udder depth was significantly higher ($P<0.001$) than front one.

Daily milk yield was significantly higher for camels managed under intensive system and machine milked (6.34 ± 0.40 l) compared to extensive or mixed management systems (1.7 ± 0.10 and 2.69 ± 0.14 l, respectively).

Independent to the animal's management system, milk yield and morphological measurements varied significantly throughout lactation, except for side teats distance and udder height (Table 2). At the middle of lactation, udder and teat measurements were most developed and milk yield was accordingly higher.

Positive correlations were observed between teat length and diameter ($r= 0.47$ to 0.65, $P< 0.0001$) as well as between udder depth and teats diameter ($r= 0.52$ and 0.54, $P< 0.0001$ respectively for front and rear teats) and teats perimeter ($r= 0.46$, $P< 0.0001$). Udder horizontal circumference was highly and positively correlated to teats diameter ($r= 0.53$ and 0.52, $P< 0.001$), teat length ($r= 0.31$, $P< 0.001$ for both fore and rear teats), teats perimeter ($r= 0.35$, $P< 0.001$) and udder depth ($r = 0.50$, $P< 0.0001$). Conversely, udder height was not

correlated to any other measurements. Daily milk yield was positively and highly correlated to front teats diameter (r= 0.41, P< 0.0001), teats perimeter (r = 0.34, P< 0.001) and udder depth (r= 0.52, P<0.0001).

Table 3 shows milking characteristics and morphological measurements of machine milked camels according to lactation stage. Regarding characteristics of milk emission, only total milking duration was not affected by lactation stage. Milk ejection took significantly more time to occur at late lactation (1.45 ± 0.14 min) compared to middle lactation (0.91 ± 0.04). Daily milk yield was significantly lower at late lactation, 3.14 ± 0.32 kg *vs.* 7.17 ± 0.45 and 7.97 ± 0.44 kg at early and middle lactation respectively. Accordingly, average and peak milk flow rates were significantly higher at early and middle lactation compared to late lactation. Over 70% of milk flow curves were bimodal at early and middle lactation while at late lactation no bimodal curves were recorded.

Correlations between milk emission characteristics were strong and predictable (Table 5). A high a positive correlation was determined between milk yield and milk flow rate (P< 0.001). Time to milk ejection was negatively correlated to milk yield and milk flow rate (P< 0.01). Although main milking duration was positively correlated to milk yield (P< 0.01) and milk flow rate (P< 0.001). Total milking duration was not associated to any of these traits.

In relation to morphological measurements, milk yield was highly correlated to teat diameter and teat length (r= 0.613; r =0.565, P< 0.001 respectively) and udder depth (r= 0.527, P< 0.001). Conversely, udder height, udder circumference and teat's perimeter were correlated neither to milk yield nor to milk flow rate. Interestingly, teat length and diameter were highly correlated to peak flow rate (r= 0.505; r= 0.587, P< 0.001). Udder depth was positively and highly correlated to main milking duration (r= 0.546, P <0.001), average (r= 0.426, P< 0.01) and peak flow rates (r= 0.507, P< 0.001).

Discussion

Population survey

Investigating factors influencing machine milking ability is essential to succeed introducing the technology in dromedary camels. The current study gave us an idea about the large variability of udder and teat measurements depending on management system. On average our dromedary camels showed a well developed udder and teats. Improving breeding conditions and introducing machine milking improved the general body condition of camels and increased udder and teats size. Data showed that our Maghrebi camels reared under extensive and mixed management system had shorter teats compared to Arabi-Lahwee camel breed in

similar condition that registered 3.4 ± 0.8 to 6.0 ± 0.7 cm for front teats and 3.4 ± 0.6 to 6.1 ± 1.3 cm for rear teats depending on parity. As for distances between front and rear teats were in the same range reported by Eisa et al. (2010), while distance between side teats was higher (2.6 ± 1.3 to 3.7 ± 2.9 cm). However, udder depth was higher, while udder height and circumference were lower than the same measurements reported by Eisa et al. (2010) (15.3 ± 1.3 to 19.9 ± 1.1 cm; 108.0 ± 3.0 to 114.3 ± 5.2 cm and 85.7 ± 7.8 to 100.9 ± 8.9 cm respectively for udder depth, height and circumference depending on parity). Our observation showed also that udder and teat measurements for our machine milked camels were higher than those reported by Ayadi et al. (2013) for Saudi Arabian camels managed in comparable conditions, except for teat length and side teats distance. We can conclude that our camels had particularly larger teat diameters (almost twice) than values reported for camels by Ayadi et al. (2013), dairy cow (around 2.5 cm, Rogers and Spenser, 1991; Zwertvagher et al. 2012) and buffaloes (2.76 ± 0.02 cm, Prasad et al. 2010). This should be taken into account when upgrading a machine milking for these dairy camels. In fact, such large teats might cause some problems during machine milking and require special settings and practice during milking. Atigui et al. (2014a) reported a special need for high vacuum level during milking camels with large teats to ensure that milking clusters are well attached to teats and embedded into teat cups at the appropriate depth to provide more efficient stimulation and massage. Stripping after machine milking is also a common practice for dairy camels (Hammadi et al., 2010) indicating a probable incompatibility of teatcups to teat morphology. Rogers and Spencer (1991) found that larger teat diameters and longer teats of dairy cows tended to be associated with increased liner slips.

Our observations showed an imbalance between the fore and rear udder halves as reported by Eisa and Hassabo (2009). Larger rear teats and higher depth in the rear udder half suggest difference in milk yield between quarters. In fact, Eisa and Hassabo (2009) reported that rear quarter produced 15% more milk than the front quarters. If not compensated by different milk flow ability (that remain to be measured) this might cause extended milking duration and extended milking on empty fore teats. In dairy cows, Weiss et al., (2004) recorded also shorter and larger rear teats with higher milk yield and peak flow rate and milking time for rear quarters. Front teat distance was almost 30% higher than rear teat distance. In dairy cows, the distance between the front teats was twice the distance between rear teats. In each case, a minimum distance will be required to avoid contact and difficulty of positioning between teat cups during milking. Wider teats were associated with increased liner slips, manual adjustments, milk yield, and milking time (Rogers and Spencer, 1991).

Dioli (2013) reported that camels with very small teats are hard to milk efficiently. Therefore, trauma and injuries are possible during milking for both animal and milker. Similarly, animals with larger teats should be avoided as they make it almost impossible for the newborn to suckle. Therefore assistance is required to ensure the survival of the calf. Such a difficulty will also induce problem with machine milking and we propose to eliminate this kind of morphology for machine milking's selection of animals

The decrease in milk production throughout lactation caused modifications in udder traits as a due to the decrease in udder secretory tissue and secretion rate (Wilde et al., 1997). Lactation stage had significant effect on udder and teat measurements in dairy camels as reported for dairy ewes (Rovai et al. 1999) and dairy goats (Peris et al. 1999). At late lactation, teats were shorter, smaller and more floppy. Indeed, at late lactation cisternal milk was very limited and dropped 3 to 4 times compared to early and middle lactation (Atigui et al. 2014c). Likewise, cisternal area decreased about 3 times throughout lactation (Atigui et al. 2014c). Adjusting machine milking equipment and setting should consider this large difference between teat measurements at late lactation. Moreover, a proper udder and teat stimulation should be considered to avoid milking on empty teats. Nickerson (1992) explained that, if the milking machine is attached while teats are still limp and soft as at the end of milking, vacuum will suck the teats too deeply into the teatcups. In this case closure of the udder teat passage is possible and can cause incomplete milking. Such a case is very frequent in our animals especially because of the very high vacuum level used (48 kPa) compared to cows (around 40kPa).

Correlation obtained between milk yield and udder and teat morphology showed high and positive correlation between milk yield and udder depth and distance between teats as reported by Ayadi et al. (2013) and Eisa et al. (2010). Distance between front teats, distance between rear teats and teats perimeter were highly correlated with each other and with milk yield, suggesting that only one of these measurements could be included in the selection schema. Udder depth was highly correlated to all other udder and teat measurements except for udder height and side teat distance. This suggests that udder depth could be considered as a good indicator of udder and teats size and could be included in selection program.

We have to keep in mind that in extensive or mixed management system, camels were continuously suckled. Thus our estimation of milk production over 24 h is probably under estimated because generally in ewes (Marnet et Negrao 2000), goats (Hernandez et al, 2002, 2007) or cows (De Passillé et al, 2008), a mixed system of milking and suckling that needs the conservation of the maternal bond, imply a clear reduction of the milk ejection reflex

occurrence and efficiency during milking episodes. We have also to keep in mind that camels conducted in a mixed system of sucking and milking episode, need to have a good morphology to be suckled without need of cameleer intervention i.e. not too unbalanced and low udders, not too thick teats. That could explain that the bigger measurements recorded in intensive reared camels could be due to a lower pressure of selection on these traits by opposition to a selection on milk production ability. Such joint modification of udder and teat shape with milk productivity was always seen in other species leading sometimes to very bad udder conformation (example of Awassi ewes in which teat position is so high now that the farmers need to use a hook to suspend the udder and allow a correct cluster attachment, McKusick, 2000). We have to try to preserve a good morphology and avoid excessive udder modification for the future in intensive system if we want to preserve also a good adaptation of udder to milking machine.

Machine milking ability assessment

As far as we know, this experiment is the first one that studies udder and teats measurements and milkability traits at the same time. The observed milking characteristics confirmed previous investigation on dromedary camels (Atigui et al, 2014d). They reported close machine milk yield when camels were milked without pre-stimulation (4.49 ± 0.23 kg). Average and peak milk flow rates were 1.34 ± 0.10 and 3.08 ± 0.35 kg/min, respectively. Measurements were performed at 16 h milking interval. Such a large milking/suckling interval should have consequences on morphological traits. These results were similar to those registered during the first survey for camels reared in intensive system, but were higher than those in extensive and mixed management system camels. These results confirmed the fact that improving management conditions improved udder and teat conformations. Earlier investigation in the similar production system reported shorter and smaller teats in dairy camels (Ayadi et al., 2013). Nevertheless, their measurements were taken 9 h after milking. Compared to dairy cows at 11 h milking interval, our camels had particularly larger teats and similar teat length (Weiss et al., 2004). They reported teat diameter ranging between 2.7 to 2.8 cm and teat length about 5.6 to 6.7 cm. The decrease of milk production through lactation also caused modifications in morphological traits. Teats and udder measurements decreased dramatically at late lactation. These results confirm our earlier observations in different management systems and show that camel's udder is able to adapt morphologically at least for a part to extended milking intervals.

Results revealed that our dairy camels had well developed teats and udders. Three typical teat shapes were described for these camels. The most common shape was cylindrical teats (39%) followed by conical/funnel teats (41%) and irregular shaped teats (20%). Milk yield ranged between 1.70 and 10.20 l/day with an average 6.24 ± 0.40 l/day.

In the present investigation, high and positive correlation between teat length, diameter, udder depth and milk yield was registered. Similarly high and positive correlation was calculated between average and peak milk flow rates and teat measurements and udder depth. This indicates that camels with larger teats were milked easier which could be due to larger teat canals or lower resistance of the teat sphincters. These results agreed with findings of Rogers and Spencer (1991) in dairy cow who registered positive correlation between teat length and diameter and milk yield. However, these results disagree with findings of Weiss et al. (2004) in dairy cow. They reported negative correlation between teat length and milking characteristics, due to differences between fore and rear quarters. Our results agreed partially with those recorded by Peris et al., (1999) in dairy goats. Despite milk yield was not correlated to teat measurements, milk flow rate was highly and positively correlated to teat length but not with teat diameter. Milk yield it was logically and positively correlated to udder size.

Time to milk ejection was negatively correlated to milk yield (r= -0.48; P<0.01), and udder depth (r= -0.31; P<0.05), but it was not correlated to all other morphological traits, as this parameter indicates physiological response of the animal and is not subjected to physical effects of the teat.

Conclusion

Camels had medium udder and teat sizes and low milk production under extensive management conditions, but improving their management led to improving productivity and improved morphological traits. Positive correlation between teat measurements, udder depth and milk yield, average and peak milk flow was recorded. Nevertheless, it is not suggested to improve al this traits systematically and without limits, and camels should be chosen with good udder and teat conformations because of its direct effect on the survival of calves, ease of milking and milk hygiene. Poor conformation due to excessive milk production selection can involve difficulties during milking and could increase the risk of mastitis incidence and prevents the newborn to perform a proper and prompt ingestion of colostrum.

Acknowledgements

This work was carried out in collaboration between Arid Lands Institute (IRESA, Tunisia) and Agrocampus Ouest-INRA (France). Authors would like to thank the Tunisian and French Authorities for the financial support. Visits to camel herds was provided and accompanied by technical personnel of Livestock and Pasture Office (OEP, Ministry of agriculture, Tunisia), authors would like to thank Mr Meftah Abed Alkawi, Mr Abed Kader Wahada, Ouriemi Abed El Aziz and Cherni Mohamed Saleh for facilitating access to camel herds.

References

Abdallah, H.R. and Faye, B. 2012. Phenotypic classification of Saudi Arabian camel (*Camelus dromedarius*) by their body measurements. Emirate Journal of Food and Agriculture 24, 272–280

Agrawal, R.P., Swami, S.C., Beniwal, R., Kochar, D.K. and Kothari, R.P., 2003. Effect of camel milk on glycemic control, risk factors and diabetes quality of life in type 1 diabetes: A randomized prospective controlled study. Journal of Camel Practice and Research 10, 45–50

Aljumaah, R.S., Almutairi, F.F., Ayadi, M., Alshaikh, M.A., Aljumaah, A.M. and Hussein, M.F. 2011. Factors influencing the incidence of subclinical mastitis in lactating dromedary camels in Riyadh region, Saudi Arabia. Journal of Tropical Animal Health and Production 43, 1605–1610

Atigui, M., Hammadi, M., Barmat, A., Farhat, M., Khorchani, T., Marnet, P.G., 2014b. First description of milk flow traits in Tunisian dairy dromedary camels under intensive farming system. Journal of Dairy Research 81, 173–182.

Atigui, M., Hammadi, M., Bessalah, S., Harrabi, H., Khorchani, T. Marnet, P.G. 2014c. Cisternal sizes and milk partitioning in the udder according to lactation stage in camels (Camelus dromedarius). 21ème journées 3R, Rencontre autours des Recherches sur les Ruminants. 3 et 4 Décembre 2014, Paris, France.

Atigui, M., Marnet, P.G., Ayeb, N., Khorchani, T., Hammadi, M., 2014d. Effect of changes in milking routine on milking related behaviour and milk removal in Tunisian dairy dromedary camels. Journal of Dairy Research, doi:10.1017/S002202991400051X.

Atigui, M., Marnet, P.M., Barmat, A., Khorchani, T., Hammadi, M. 2014a. Effects of vacuum level and pulsation rate on milk ejection and milk flow traits in Tunisian dairy camels (*Camelus dromedarius*). Journal of Tropical Animal Health and Production. (*in press*).

Ayadi, M., Aljumaah, R. S., Musaad, A., Samara, E. M., Abelrahman, M. M., Alshaikh, M. A., Saleh, S. K., Faye, B., 2013. Relationship between udder morphology traits, alveolar and cisternal milk compartments and machine milking performances of dairy camels (*Camelus dromedarius*), Spanish Journal of Agricultural Research, 1, 790–797

Ben Arfa, A., Khorchani, T., Hammadi, M., Chammem, M., El-Hatmi, H., El-Jeni, H., Abdouli, H., and Cheniti, T.L. 2004. Digestibilité et ingestion de la végétation d'un parcours d' halophytes par le dromadaire dans le Sud tunisien. Option méditerranéennes 62, 301–305.

Bruckmaier, R. M., E. Rothenanger, and J. M. Blum. 1994. Measurement of mammary gland cistern size and determination of the cisternal milk fraction in dairy cows. Milchwissenschaft 49:543–546.

Bruckmaier, R., Paul, G., Mayer, H., and Schams, D. 1997. Machine milking of Ostfriesian and Lacaune dairy sheep: udder anatomy, milk ejection and milking characteristics. Journal of Dairy Research 64, 163–172

De Passillé, M., Marnet, P.G., Lapierre, H., Rushen, J., 2008. Effects of twice-a-day nursing a calf on milk ejection and milk yield during nursing and milking in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91, 1416-1422.

Dioli, M., 2013. Body and udder conformation faults. Chapter 3 in book: Pictorial Guide to Traditional Management, Husbandry and Diseases of the One-Humped Camel. 2nd Edition, Chapters 8 to 13. 125p.

Dzidic, A., Macuhova, J. and Bruckmaier, R.M., 2004 Effects of cleaning duration and water temperature on oxytocin release and milk removal in an automatic milking system. Journal of Dairy Science 87, 4163–4169

Eisa, M.O. and Hassabo, A.A., 2009. Variations in milk yield and composition between fore and rear udder-halves in she-camel (*Camelus Dromedarius*). Pakistan Journal of Nutrition, 8 (12), 1868–1872

Eisa, M.O., Ishag, I.A. and Abu-Nikhaila, A.M., 2010. A note on the relationships between udder morphometric and milk yield of Lahween camel (*Camelus dromedarius*).

Livestock Research for Rural Development 22 (10) 2010. Available in http://www.lrrd.org/lrrd22/ 10/eisa22188.htm [19 September 2014].

Faye, B., 2005. Productivity Potential of Camels. Proc. of Int. Workshop. Desertification Combat and Food Safety – The Added Value of Camel Producers. Ashkabad (Turkmenistan), 19-22 April 2004. NATO science Series, In: Life and Behavioral Sciences, Vol. 362, pp: 127–134. Faye, B. and P. Esenov (eds.). IOS Press Publ., Amsterdam (The Netherlands)

Hammadi, M., Atigui, M., Ayadi, M., Barmat, A., Belgacem, A., Khaldi, G. and Khorchani, T. 2010. Training period and short time effects of machine milking on milk yield and milk composition in Tunisian Maghrebi camels (*Camelus dromedarius*). Journal of Camel Practice and Research 17, 1–7

Hernandez, H., Delgadillo, J.A., Flores, J.A., Rodriguez, A.D., Serafin, N., Kann, G., Marnet, P.G., and Poindron, P., 2007. Effects of restricted nursing on milk production and collection, kid growth and plasma prolactin and growth hormone concentration in dairy goats. *Animal.* 1:233-240.

Hernandez, H., Serafin, N., Terrazas, A., Marnet, P.G., Kann, G., Delgadillo, J.A., and Poindron, P. 2002. Maternal olfaction differentially modulate oxytocin and prolactin release during suckling in goats. *Horm. Behav.* 42- 2: 232-244.

Labussière, J, Dotchewski, D, and Combaud, J.F. 1981. Caractéristiques morphologiques de la mamelle des brebis Lacaune. Méthodologie pour l'obtention des données. Relations avec l'aptitude à la traite. Annales de Zootechnie 30,115–136

Le Du, J., Benmederbel, B., 1984. Aptitude des chèvres de race Saanen à la traite mécanique. Relations avec les caractéristiques physiques du trayon. Annales de Zootechnie 33, 374–384

Marnet P.G., and Négrao, J.A., 2000. The effect of a mixed-management system on the release of oxytocin, prolactin, and cortisol in ewes during suckling and machine milking. *Reprod. Nutr. Develop.,* 40: 271-281

Marnet, P.G., Combaud, J.F., Dano, Y., 1999. Relationships between characteristics of the teat and milkability in Lacaune ewes. In: Barillet, F., Zervas, N.P. (Eds), Milking and milk production of dairy sheep and goats. Proc. 6th International Symposium on the

Milking of Small Ruminants, Sept. 26-Oct. 1, 1998, Athens, Greece. EAAP Publication 95, 41–44

McKusick, B.C., 2000. Physiologic factors that modify the efficiency of machine milking in dairy ewes. In: Proceeding of the 6th Great Lakes Dairy Sheep Symposium, November 2-4, 2000. Guelph, Ontario, Canada.Monardes, H.G., Ceu, R.I. and Hayes, J.F., 1990. Relationship of calving ease with type traits. Journal of Dairy Science 73, 1337–1342

Narjisse, H. 1989. Nutrition et production laitière chez le dromadaire**.** Options Méditerranéennes - Série Séminaires – n° 2 -1989, 163–166

Nickerson, S.C. 1992. Anatomy and physiology of the udder. In *Machine Milking and Lactation*, pp. 37–68 (Eds AJ Bramely, FH Dodd, GA Mein & JA Bramley) Graway Hill, Herefordshire, UK: Insight Books

Peris, S., Caja, G. and Such, X. 1999. Relationships between udder and milking traits in Murciano-Granadina dairy goats. Small Ruminant Research 33, 171–179

Prasad, R.M.V., Sudhakar, K., Raghava Rao, E., Ramesh Gupta, B. and Mahender, M. 2010. Studies on the udder and teat morphology and their relationship with milk yield in Murrah buffaloes. Livestock Research for Rural Development, 22 (20). Retrieved October 19, 2014, from http://www.lrrd.org/lrrd22/1/pras22020.htm

Raziq, A., Younas, M. and Kakar, M.A., 2008. Camel-A potential dairy animal in difficult environments. Pakistan Journal of Agriculture Science 45(2), 263–267

Rogers, G.W. and Spenser, S.B., 1991. Relationships among udder and teat morphology and milking characteristics. Journal of Dairy Science 74, 4189–4194

Rovai, M., Such, X., Piedrafita, J., Caja, G., Pujol M.R., 1999. Evolution of mammary morphology traits during lactation and its relationship with milk yield of Manchega and Lacaune dairy sheep. In: Milking and milk production of dairy sheep and goats. EAAP Publication nº 95. F. Barillet and N.P. Zervas (Eds.). Wageningen Pers, 1999, p. 107–109.

Sboui, A., Khorchani, T., Djegham, M., Agrebi, A., El-hatemi, H. and Belhadj, O., 2009. Anti-diabetic effect of camel milk in alloxan-induced diabetic dogs: a dose-response experiment. Animal Physiology and Animal Nutrition 94, 540–546

Seykora, A. J. and McDaniel, B. T. 1986. Genetics statistics and relationships of teat and udder traits, somatic-cell counts, and milk-production. Journal of Dairy Science 69, 2395–2407

Van Raden, P.M., Jensen, E.L., Lawlor, T.J. and Funk, D.A. 1990. Prediction of transmitting abilities for Holstein type traits. Journal of Dairy Science 73,191–197

Weiss, D., Weinfurtner, M. and Bruckmaier, R.M., 2004. Teat anatomy and its relationship with quarter and udder milk flow characteristics in dairy cows. Journal of Dairy Science 87 3280–3289

Wernery, U., Juhasz, J. and Nagy, P., 2004. Milk yield performance of dromedaries with an automatic bucket milking machine. Journal of Camel Practice and Research 11, 51–57

Wilde, C.J., Addey, C.V.P., Li, P., and Fernig, D.G., 1997. Programmed cell death in bovine mammary tissue during lactation and involution. Experimental Physiology 82, 943–953

Zwertvaegher, I., Van Weyenberg, S., Piepers, S., Baert, J., De Vliegher, S., 2012. Variance components of teat dimensions in dairy cows and associated factors, J. Dairy Sci. 95, 4978–4988.

Table 1: Milk yield (l) and udder measurements (cm) in dairy camels (Means) according to breeding system

	Management system			
	Extensive	Mixed	Intensive	Range
Milk yield	1.72 ± 0.10[c]	2.69 ± 0.14[b]	6.34 ± 0.40[a]	0.75 – 14.30
Front Teats				
Diameter	2.07 ± 0.10[b]	2.21 ± 0.07[b]	4.02 ± 0.18[a]	1.05 – 6.43
Length	2.96 ± 0.13[b]	2.82 ± 0.11[b]	5.67 ± 0.21[a]	1.80 – 7.90
Distance	12.33 ± 0.41[c]	14.20 ± 0.41[b]	19.84 ± 0.67[a]	8.80 – 29.00
Rear teats				
Diameter	2.16 ± 0.12[b]	2.21 ± 0.07[b]	4.24 ± 0.20[a]	1.32 – 6.75
Length	3.13 ± 0.17[b]	3.04 ± 0.14[b]	6.05 ± 0.20[a]	1.15 – 8.53
Distance	11.30 ± 0.54[b]	12.24 ± 0.52[b]	14.16 ± 0.49[a]	5.2 – 26.00
Side teats distance	5.31 ± 0.27[b]	4.56 ± 0.21[c]	7.61 ± 0.20[a]	2.42 – 10.31
Perimeter	33.48 ± 1.04[b]	34.29 ± 0.86[b]	49.23 ± 1.16[a]	24.20 – 67.75
Udder				
Height	100.88 ± 0.68[ab]	102.82 ± 0.87[a]	99.21 ± 0.68[b]	91.28 – 111.25
Depth	19.59 ± 0.63[c]	22.59 ± 0.40[b]	32.90 ± 0.68[a]	13.07 – 39.38
Cir. H	65.80 ± 1.82[b]	64.42 ± 1.60[b]	102.36 ± 2.42[a]	46.00 – 137.00

Table 2: Milk yield (l) and udder measurements (cm) in dairy camels (Means) according to lactation stage

	Lactation stage		
	Early	Middle	Late
Daily milk yield	3.81 ± 0.46[b]	4.91 ± 0.45[a]	2.46 ± 0.28[c]
Front Teats			
Diameter	2.74 ± 0.21[b]	3.29 ± 0.20[a]	2.49 ± 0.16[b]
Length	4.05 ± 0.30[ab]	4.24 ± 0.26[a]	3.60 ± 0.28[b]
Distance	14.92 ± 0.83[b]	17.31 ± 0.70[a]	15.13 ± 0.74[b]
Rear teats			
Diameter	3.00 ± 0.25[ab]	3.35 ± 0.30[a]	2.53 ± 0.18[b]
Length	4.41 ± 0.35[a]	4.52 ± 0.28[a]	3.77 ± 0.26[b]
Distance	11.80 ± 0.65[b]	12.87 ± 0.34[a]	11.36 ± 0.52[b]
Side teats distance	5.70 ± 0.33	6.33 ± 0.31	5.86 ± 0.29
Perimeter	38.12 ± 1.91[b]	42.66 ± 1.39[a]	38.21 ± 1.51[b]
Udder			
Height	101.23 ± 0.78	100.74 ± 0.65	100.47 ± 0.95
Depth	24.75 ± 1.01[b]	27.56 ± 1.09[a]	24.37 ± 1.23[b]
Cir. H	79.22 ± 4.62[ab]	82.90 ± 2.81[a]	76.44 ± 3.61[b]

Table 3. Person coefficient between teat and udder measurements and milk yield in camels (n=114)

	FTD	RTD	FTL	RTL	FTDist	RTDist	STDist	TP	UH	UD	UHC
RTD	0.83***										
FTL	0.51***	0.58***									
RTL	0.47***	0.65***	0.90***								
FTDist	0.44***	0.29*	0.24	0.24*							
RTDist	0.34**	0.30*	0.04	0.12	0.61***						
STDist	0.18	0.15	0.04	0.05	0.24*	0.12					
TP	0.43***	0.33**	0.15	0.15	0.81***	0.71***	0.68***				
UH	0.14	-0.07	0.04	0.01	0.08	0.10	0.02	0.08			
UD	0.52***	0.54***	0.30*	0.28*	0.51***	0.34**	0.19	0.46***	-0.17		
UHC	0.53***	0.52***	0.31**	0.31**	0.30*	0.31**	0.18	0.35**	-0.18	0.50***	
EMY	0.41***	0.22	0.18	0.14	0.46***	0.35**	-0.02	0.34**	0.14	0.52***	0.19

FTD: Fore teat diameter; RTD: Rear teat diameter; FTL: Fore teat length; RTL: Rear teat length; FTDist: Fore teat distance; RTDist: Rear teat distance; STDist: Side teats distance; TP: Teats perimeter; UH: Udder height; UHC: Udder horizontal circumference; EMY: Milk yield estimated according to EMY = (morning milk yield/milking interval)* 24.

*$P<0.05$

**$P<0.001$

*** $P<0.0001$.

Table 4: Udder measurements and milk flow traits of machine milked camels according to lactation stage

	Lactation stage		
	Early	Middle	Late
Milk flow traits			
Daily milk yield, kg	7.17 ± 0.45[a]	7.97 ± 0.44[a]	3.14 ± 0.32[b]
Milk yield, kg/milking	5.13 ± 0.35[a]	5.62 ± 0.34[a]	2.16 ± 0.23[b]
Time to milk ejection, min	1.02 ± 0.16[ab]	0.91 ± 0.04[b]	1.45 ± 0.14[a]
Total milking duration, min	4.59 ± 0.18	4.49 ± 0.16	4.10 ± 0.33
Main machine milking duration, min	3.32 ± 0.16[a]	3.68 ± 0.15[a]	2.53 ± 0.28[b]
Average flow rate, kg/min	1.54 ± 0.09[a]	1.54 ± 0.09[a]	0.88 ± 0.12[b]
Peak flow rate, kg/min	3.62 ± 0.24[a]	3.81 ± 0.24[a]	1.61 ± 0.16[b]
Bimodality, %	71.43	78.57	0.00
Udder traits			
Teat diameter, cm	4.40 ± 0.33[a]	4.73 ± 0.30[a]	3.01 ± 0.17[b]
Teat length, cm	6.28 ± 0.27[a]	6.28 ± 0.33[a]	4.67 ± 0.30[b]
Teats perimeter, cm	47.19 ± 2.67	52.17 ± 1.19	45.03 ± 2.46
Udder depth, cm	33.23 ± 1.18[a]	34.79 ± 1.08[a]	29.95 ± 1.22[b]
Udder circumference, cm	103.39 ± 5.66	100.89 ± 3.31	93.75 ± 3.38

Table 5: Pearson correlation coefficient among udder and teat morphology and machine milking ability traits in dairy camels

	MYM	TME	TMD	MMD	AFR	PFR	TD	TL	TP	UD	UH	UCir
DMY	0.973***	-0.416**	0.296	0.402**	0.685***	0.764***	0.613***	0.565***	0.205	0.527***	-0.284	0.239
MYM		-0.479**	0.272	0.426**	0.703***	0.785***	0.655***	0.525***	0.184	0.546***	-0.265	0.234
TME			0.234	-0.270*	-0.287*	-0.395**	-0.181	0.218	0.170	-0.310*	0.186	-0.207
TMD				0.540***	0.024	0.250	0.168	0.201	0.258	-0.006	0.108	0.140
MMD					0.495***	0.543***	0.405**	0.422**	0.183	0.306*	0.137	0.121
AFR						0.816***	0.501***	0.476**	0.198	0.426**	-0.210	0.287
PFR							0.587***	0.505***	0.239	0.507***	-0.257	0.263
TD								0.765***	0.103	0.449**	-0.224	-0.128
TL									0.057	0.304*	-0.213	0.087
TP										0.203	0.187	0.401**
UD											-0.305*	-0.098
UH												-0.307*

DMY: estimated daily milk yield; MYM: morning milk yield; TME: time to milk ejection occurrence; TMD: total milking duration; MMD Main milking duration; AFR: average flow rate; PFR: peak flow rate; TD: teat diameter; TL: teat length; TP: four teats' perimeter; UD: udder depth; UH: udder height; UCir: udder horizontal circumference.

* $P<0.05$

** $P<0.01$

*** $P<0.001$

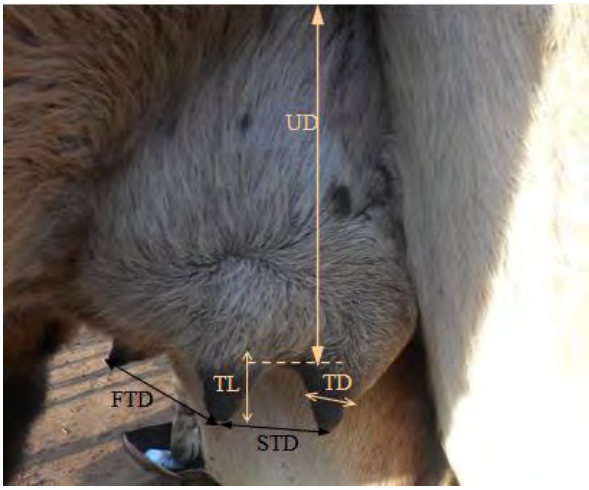

Fig. 1. Udder and teats measurement's of dromedary camels. TD: Teat diameter; TL: Teat length; STD: Side teats distance; FTD: Fore teat distance; UD: Udder depth.

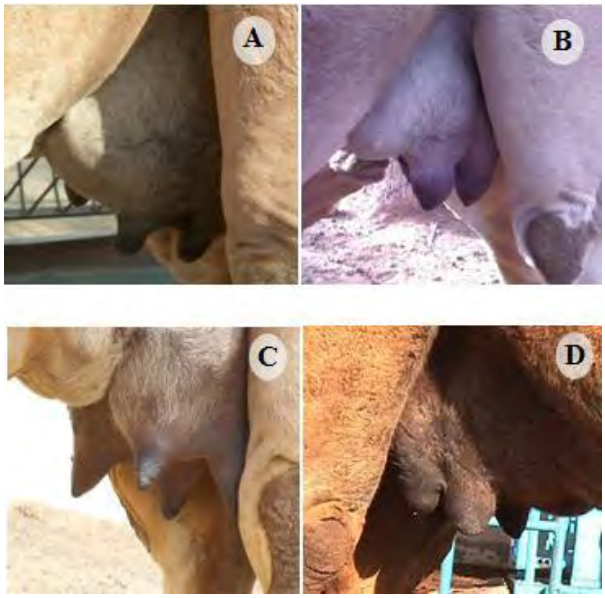

Fig. 2. Different teats shape in dromedary camels. A: Cylindrical shape; B: Teat end conic shape; C: Conic shape; D: Irregular shape.

Aperçu sur l'article 2:

Répartition du lait dans la mamelle et évolution de la taille citernale en fonction du stade de lactation chez la chamelle laitière

Connaître les caractéristiques anatomiques de la glande mammaire et la répartition du lait dans la mamelle est indispensable afin d'optimiser la traite mécanique de toute espèce laitière. L'utilisation de l'imagerie échographique s'est révélée une technique non invasive utile pour estimer les dimensions citernales et visualiser leurs changements chez les animaux laitiers. Ainsi ce travail a pour objectif l'estimation de la taille de la citerne et la mesure de la répartition du lait dans la mamelle de la chamelle, ainsi que le suivi de l'effet de l'éjection de lait sur les dimensions des trayons en fonction du stade de lactation. Six chamelles multipares de la population Maghrebi âgées de 13,6 ± 4,0 ans et pesant 495,5 ± 14,1 kg, ont été suivies au début (99 j), milieu (160 j) et fin de la lactation (260 j). Les animaux étaient bien dressés à la traite mécanique deux fois par jour. Les mesures ont été effectuées juste avant la traite du matin à 16 heures après la traite précédente. L'échographie des trayons et de la mamelle a été effectuée en double sur la moitié gauche de la mamelle avant et après éjection du lait. Afin d'inhiber l'éjection du lait, une injection de 10 µg/kg de poids vif d'Atosiban® (antagoniste de l'ocytocine) a été effectuée. Après la récupération manuelle de la fraction du lait citernal, la chamelle a reçu une dose extraphysiologique d'ocytocine (10 UI) afin de renverser l'effet de l'antagoniste et d'estimer l'extension des dimensions des cavités citernales et des trayons suite à l'éjection du lait et d'extraire la fraction alvéolaire. Après injection de 10 UI d'ocytocine, les dimensions des trayons et de la citerne de la glande ont augmenté en fonction du stade de lactation. Le taux d'accroissement était significativement plus élevé en fin de lactation. En moyenne, la longueur et le diamètre des trayons ont respectivement augmenté de 40% et 30% et la taille de la citerne d'un quartier a augmenté de 190%. A 16 heures d'intervalle entre traite, le lait stocké dans la citerne de la chamelle représentait moins de 5% à tous les stades de lactation. Le lait citernal a été hautement corrélé à la production laitière totale (r=0,83 ; P<0,0001). De même, les mesures échographiques ont été corrélées positivement aux quantités totale et citernal du lait.

L'échographie de la mamelle de la chamelle a montré l'existence de plusieurs poches de canaux qui convergent vers deux citernes de trayon au lieu d'une seule cavité citernale comme chez la vache (Ayadi et al, 2003). Avant éjection du lait, la taille citernale moyenne d'un quartier a été estimée de 20,1 ± 2,1 cm² ; 24,1 ± 4,7 cm² et 7,5 ± 1,3 cm² respectivement

au début, milieu et fin de la lactation. En moyenne, la taille citernale pour un quartier est estimée à 16 cm² chez la chamelle, celle ci représente moins de la moitié de celle enregistrée chez la vache (40 à 45 cm²) (Bruckmaier et Blum, 1992). La surface de la citerne du trayon représente 84,3 ± 2,0% de la surface citernale totale d'un quartier. Les tailles moyennes des citernes du trayon et de la mamelle, respectivement pour le quartier avant et arrière, sont égales à 11,8 ± 1,5 et 3,4 ± 0,9 cm² *vs* 14,2 ± 1,6 et 3,1 ± 0,6 cm². Le ratio taille citernale quartier avant/ quartier arrière est égal à 45:55. Ce ratio n'a pas changé au cours de la lactation. La taille citernale totale est significativement plus élevée au début et en mi-lactation qu'à la fin de lactation. Les quantités du lait total et citernal (par traite) les plus élevées ont été enregistrées en mi-lactation. La fraction du lait citernal après 16 h d'intervalle entre traite, varie de 0,3 à 8,6 % et les valeurs les plus faibles sont enregistrées en fin de lactation. La fraction du lait citernal chute en fin de lactation, ce qui a été rapporté chez la vache laitière (Pfeilsticker et al, 1996). Cependant, nos valeurs sont inférieures à celles publiées par Caja et al (2011) chez la chamelle Maghrebi en Egypt. Ils ont trouvé que le ratio du lait citernal en mi-lactation est de l'ordre de 7,4 %. Le lait citernal est positivement corrélé à la production laitière totale (r = 0,83 ; P<0,0001). Les mesures obtenues par échographie sont étroitement corrélées au lait citernal et à la production laitière totale. L'équation de régression linéaire établie entre le lait citernal et la surface citernale d'un quartier est décrite comme suit :

Lait citernal (l) = 0,015 × Surface citernale (cm²) – 0,0235 (R^2 = 0,91 ; P<0.0001)

En conclusion, cette étude montre que l'anatomie interne du trayon et de la mamelle et la répartition du lait dans la mamelle sont assez différents chez la chamelle comparée aux autres espèces laitières. Nous confirmons l'existence d'une petite citerne de la glande et d'une grande citerne de trayon. Une augmentation remarquable des dimensions des trayons après éjection de lait, en particulier en fin de lactation est enregistré et confirme la nécessité de l'éjection du lait pour que la pose des gobelets trayeurs se fasse sur des trayons toniques et remplis. Cette étude confirme le besoin urgent du développement et l'adaptation respective des équipements et réglage de la machine à traire pour les chamelles et l'adoption d'une routine de traite adéquate afin d'améliorer le processus de la traite, la production laitière et assurer la santé de la mamelle et du trayon à long terme

Milk partitioning in the udder and cisternal size throughout lactation in dairy camels (*Camelus dromedarius*)

Moufida Atigui[1,2,3,4], Mohamed Hammadi[1], Salma Bessalah[1], Hajer Harrabi[1], Mabrouk Mouldi Seddik[1], Touhami Khorchani[1], Pierre-Guy Marnet,[2,3]

[1]Livestock and Wildlife Laboratory, Arid Lands Institute, University of Gabes, 4119 Médenine, Tunisia.

[2] AGROCAMPUS OUEST, UMR1348 PEGASE, F-35042 Rennes, France

[3] INRA, UMR1348 PEGASE, F-35042 Rennes, France

[4] Institut National Agronomique de Tunis, 43 Av. Charles Nicole, 1082 Mahragène, Université de Carthage, Tunisia

Correspondance: Pierre-Guy MARNET, AGROCAMPUS OUEST, UMR1348 PEGASE, 65 rue de st Brieuc, F-35042 Rennes cedex, France Tel. 33 (0)2-23-48-56-81; E-mail: marnet@agrocampus-ouest.fr

Abstract

Ultrasound cross sections of the teat and mammary gland cisterns were performed in 6 dairy Maghrebi camels in early, middle and late lactation. Scans of the left fore and rear quarters were taken in duplicate before and after milk ejection utilizing an oxytocin receptor blocking agent (Atosiban) to determine teat and udder distension following milk ejection. The internal measurements derived from ultrasounds were quite similar within individual, but varied greatly before and after milk ejection along lactation. Prior to milk ejection, fore and rear teats were longer for animals at mid lactation followed by early lactation and at late lactation teats shorten dramatically. As for diameter, front and rear teats were significantly larger at mid and early lactation and decreased significantly at late lactation. Regardless of lactation stage, hind teats were significantly longer and larger (6.40 ± 0.43 cm; 4.25 ± 0.29 cm, respectively) than fore teats (5.78 ± 0.38 cm; 3.89 ± 0.23 cm, respectively). After milk ejection, change in teat length and diameter depended on lactation stage. Increase rate was significantly higher at late lactation for all ultrasound measurements. Mean teat length increased by 40%, mean teat diameter increased by 30%, while mean quarter cistern size increased by 190%.

Adjusting machine milking equipment and setting should consider this large difference between teat measurements before and after milk ejection especially at late lactation and the proper udder and teat stimulation should also be considered to avoid attachment of milking clusters on limp and soft teats that could eventually lead to closure of the udder teat passage and incomplete milking.

Key words: Ultrasonography, udder and teat internal measurements, milk ejection, camels.

1. Introduction

The anatomical and morphological characteristics of the udder are important factors for optimal machine milking in any dairy species. During the intervals between milkings, milk is continuously transferred from alveolus and galactophorous ducts into the cisternal cavities (Stelwagen, 2001). Before milking, the proportion of milk stored within the cisterns varies remarkably among species. Highly producing cows store only less than 30 % of the total milk yield in the cistern after a normal milking interval (Ayadi et al., 2003) to reach 50% at the maximum after 40h interval (Davis et al., 1998). In dairy ewes, cisternal milk fraction represents generally about 50 % of total milk stored in the udder (Caja et al., 1999; McKusick et al., 2002) but in higher producing breed as Lacaune, after years of selection, cisternal volume can reach 78-81% after 24 h of milking interval (Vanbergue et al., 2013). Similarly, in dairy goats (murciano-granadina breed) the cisternal milk accounts for 57% after 8 h milking interval to up to 75% at milking interval of 24 h (Salama et al., 2004). To extract cisternal milk, it is possible to simply overcome the teat sphincter barrier either by external pressure on the teat or to drain milk using a teat cannula. Nevertheless, with these methods, cisternal milk volume may not be accurate due to always possible spontaneous discharges of endogenous oxytocin as a result of teat manipulation. Today, the use of an oxytocin receptors blocking agent is recommended for better evaluation of milk partitioning (Knight et al., 1994; Rovai et al., 2000).

Cisternal size and cisternal milk fraction affect both milk secretion rate and milk ejection kinetics. Animals with larger cisterns are considered as more efficient milk producers and more tolerant to longer milking intervals and need simpler milking routines (Dewhurst and Knight, 1994; Knight et al., 1994; Davis et al., 1998; Stelwagen, 2001). Bruckmaier and Hilger (2001) found that in dairy cows, presence of cisternal milk prior to milk ejection makes teats firm and rigid for teat cup attachment. Otherwise, the applied vacuum on empty cistern

can cause collapse of milk ducts thus inhibiting milk ejection during milking and incomplete emptying of the udder.

Ultrasonography is a valuable non invasive technique for visualizing changes of the cisternal area in dairy cows (Bruckmaier and Blum, 1992; Ayadi et al., 2003; Caja et al., 2004), in dairy goats (Salama et al.,2004; Wojtowski et al., 2006), in dairy ewes (Nudda et al., 2000 ; Castillo et al., 2008 ; Rovai et al., 2008) and in buffaloes (Thomas et al., 2004).

Milk ejection causes a sudden pressure increase within the teat cistern (Mayer et al., 1991) and an enlargement of the cisterns measured by ultrasonography (Bruckmaier and Blum, 1992). Oxytocin injection elicited a significant enlargement of teat and gland cistern area of 48 ± 12% for cows, goats and ewes.

As lactation advanced, volume of cisternal and alveolar milk decreases in dairy cows (Dewhurst and Knight, 1993; Pfeilsticker et al., 1996; Caja et al., 2004). Likewise cisternal area measured by ultrasonography decreased in dairy cows throughout lactation (Caja et al., 2004). Rovai et al. (2002) and Castillo et al. (2008) also reported that cisternal milk volume and cisternal area decreased in dairy ewes throughout lactation with ultrasonography methods.

In camels, milking is assumed to be only possible after milk ejection occurrence (Yagil et al., 1999) probably because of lack or very limited cisternal milk. Caja et al., (2011) found only 7.4 ± 0.7 % of cisternal milk at mid-lactation for twice a day milked camels (12h interval). However, Ayadi et al., (2009) recorded a ratio of 20:80 for once a day machine milked camels in late lactation proving that cisternal storage can be non negligible in this species. Nevertheless the methodology used is not perfect (indirect blockade of milk ejection by milking animals in unfamiliar surroundings) by comparison to use of an oxytocin blocking agent to prevent alveolar milk ejection.

This study aimed to investigate the internal measurements of mammary gland and teat, and the corresponding milk distribution in the udder in dairy camels. These measurements were

made after inhibited or normal milk ejection, according to lactation stage and using ultrasonography and oxytocin blocking agent as methods.

2. Materials and Methods

2.1. Animal management and milking routine

Six Maghrebi dromedary camels (Age : 13.56 ± 3.95 year; weight : 495.50 ± 14.14 kg; parity from 2nd to 7th) from the experimental farm of the Arid Regions Institute (IRA, Chenchou, Tunisia) were monitored in early (99.8 DIM), mid (158.5 DIM) and late (257.4 DIM) lactation. Animal were kept in free stall (approximately 40 m²/camel) throughout the experiment. Daily ration per animal consisted of a forage mixture of 10 kg of alfalfa hay (DM 89.6%; CP 14.8%; NDF 42.2%; NEL 1.22 Mcal/kg; on DM basis), and 6 kg of fresh alfalfa (DM 15.0%; CP 18.7%; NDF 40.1%; NEL 1.28 Mcal/kg; on DM basis), supplemented with 2 kg of a commercial concentrate (DM 92.8%; CP 18.0%; NEL 1.73 Mcal/ kg; on DM basis). Animals had free access to water. Camels were routinely milked twice a day (0800 and 1600 h) in a restraining stall using a portable milking machine (Model AM/T115, AGROMILK, 42020 S. Polo d'Enza (Reggio Emilia), Italy) which was set at 48 kPa, 80 pulses/min and 60:40 pulsation ratio previously determined to be the best for these animals and this material (Atigui et al., 2014a). The milking routine included teat cleaning, fore-stripping, machine stripping and teat dipping at the end of milking.

2.2. Ultrasound measurements and cisternal size evaluation

Cisternal size was evaluated by measuring cisternal area using a real time B-mode ultrasonograph (Aquila Pro, e-saote piemedical, The Netherlands) equipped with a 5-MHz curved probe and 6-MHz linear probe. Exploration depth was 14 cm for the curved probe and 10 cm for the linear probe. Ultrasonography was performed in the milking stall with camels standing normally. To prevent undesirable milk letdown during udder manipulation, scanning

126 and evaluation of milk partitioning in the udder, each camel was intravenously injected with
127 10 µg/kg BW of an oxytocin receptor blocking agent (Atosiban®) prior to entering the
128 milking parlour. The scanning procedure was based on the methodology used by Ayadi et al.
129 (2003). In our experiment, the curved probe was placed directly against the lower part of the
130 udder in an inclined sagittal imaging plane, using the teat as scan axis. The linear probe was
131 placed on the teat parallel with the teat axis. The probes were moved along the axis until the
132 cross-section with the largest cavity area was found. Contact gel was applied to udder skin to
133 improve the probe contact (Tecnocarta med s.r.l Taranto, Italy). Ultrasound scans of left fore
134 and rear quarters were taken in duplicate just before the morning milking. Teat and gland
135 cistern size and teat length and diameter were measured from the ultrasound scans by means
136 of image treatment software (Image Tool 3.00). As the calculated half-life of Atosiban® is
137 around 18 min in cows (Wellnitz et al., 1999), a single dose was considered as sufficient to
138 prevent milk letdown in camels during the entire procedure that was systematically verified
139 by the lack of teat swelling during experiment that is a clear signal of milk ejection and
140 intramammary pressure rise (Atigui et al., 2014b). To study the changes of teat and gland
141 cistern following milk ejection, ultrasound measurements were repeated after an intravenous
142 injection of an extra-physiological dose of 10 UI of oxytocin to reverse Atosiban® effect.

143 *2.3. Milk partitioning in the udder*

144 The cisternal milk fraction was milked manually while milk ejection was inhibited by
145 previous Atosiban® administration. Alveolar milk fraction was available to the milking
146 machine after injection of an extra-physiological dose of 10 UI of oxytocin to reverse
147 Atosiban® effect and ensure a complete empting of the udder. Oxytocin injections were
148 performed 15-20 min after Atosiban® injection. Cisternal milk fraction (%) was defined as
149 (cisternal milk yield × 100)/total milk yield.

150 *2.4. Statistical analysis*

151 Data are presented as means ± SE. For statistical evaluation, MIXED model procedure of
152 SAS (version 9.0, SAS Inst. Inc., Cary, NC) was used. The statistical model used for the
153 analysis of variance in the calculation of ultrasound measurements, included general mean
154 and the fixed effect of the lactation stage (1 to 3), the random effect of the animal (1 to 6), the
155 udder quarter (fore and rear), their interaction and residual error. A second model was used
156 for analysis of variance of cisternal, alveolar and total milk yields and milk fractions. This
157 model included general mean, fixed effect of the lactation stage (1 to 3), random effect of the
158 animal (1 to 6), their interaction and residual error. When the probability of the interaction
159 term was not significant, it was deleted from the model. Differences between least squares
160 means were determined with PDIFF test and significance was declared at $P < 0.05$, unless
161 stated otherwise. Changes of ultrasound measurements before and after milk ejection were
162 tested for significance using paired *t* test. To show possible relationship between traits,
163 Pearson's coefficients of correlation and linear regression were also calculated.

164 **3. Results**

165 *3.1. Cisternal area evaluation*

166 Teat's ultrasound scanning of dairy camels showed two distinct teat canals connected to two
167 well defined teat cisterns which were completely separated from each other by a middle
168 cistern wall. Because of the length of teats, a complete image of the teat cisterns was only
169 viewed and measured in the small teat quarters and mainly in late lactation. In contrast, in
170 early and mid lactation, teat cistern's images were usually incomplete and leaded to a small
171 underestimation of our area measurements.

172 Conversely, udder cisterns consisted in several small cavities that match large lactiferous
173 ducts and connect to the two teat cisterns, instead of one single large cisternal cavity (Fig. 1.)
174 All our images of gland cistern were complete and therefore the entire cisternal area was

measured. Despite our probable under-estimation, teat cistern area represented 84.25 ± 2.01 % of total estimated cisternal area of the gland.

Changes in cisternal size in the udder at various stages of lactation in dairy camels are summarized in Table 1. Teat and gland cisternal areas and total cisternal size of the hind quarter was significantly higher than in the fore quarter at all lactation stages. The mean front/hind quarter cisternal ratio throughout lactation was 45:55 and did not vary between lactation stages. Total cisternal size was significantly higher in early and mid lactation (20.06 ± 2.14 and 24.05 ± 4.73 cm², respectively) compared to late lactation (7.50 ± 1.29 cm²) (P<0.001).

3.2. Milk yield, milk partitioning and their relationship with ultrasound measurements

Changes in total milk yield and cisternal milk yield and percentage at various stages of lactation are summarized in Table 2. Milk yield was significantly higher (P < 0.001) at mid lactation than in early lactation and decreased significantly as lactation advanced. Mean cisternal milk throughout lactation represented 3.44% of total milk stored in the udder after 16 h of milk accumulation. In late lactation, only a small amount of milk was stored in the cisterns (0.07 l). Cisternal milk was closely correlated to total milk yield (r = 0.83; P <0.001) (Fig. 2). Ultrasound measurements were positively and closely correlated to cisternal milk and total milk yield (Table 3). The correlation between average quarter cisternal size and cisternal milk volume was significant (r = 0.95; P < 0.001). Linear regression between cisternal milk volume (l) and cisternal area (cm²) was used to describe the equation (Fig. 3):

$$\textbf{Cisternal milk (l)} = 0.015 \times \textbf{cisternal area} - 0.023 \qquad (R^2 = 0.906;\ P<0.001)$$

3.3. Effect of milk ejection on teat and udder internal measurements

Teat dimensions and cisternal areas varied greatly before and after milk ejection throughout lactation (Table 4). Prior to milk ejection, fore and rear teats were longer for animals at mid

lactation than in early lactation and teats shorten dramatically in late lactation. Front and rear teat diameter, were significantly larger at mid and early lactation than in late lactation. Independent of lactation stage, hind teats were significantly longer and larger (6.40 ± 0.43 cm; 4.25 ± 0.29 cm, respectively) than fore teats (5.78 ± 0.38 cm; 3.89 ± 0.23 cm, respectively). After milk ejection, change in teat length and diameter differed across lactation stage. All the ultrasound measurements increased significantly in late lactation. Mean teat length increased by 39.59%, mean teat diameter increased by 30.30%, while mean quarter cistern area increased by 189.74%.

4. Discussion

Ultrasound scans obtained in our work gave good estimation for teat and udder cistern areas in dairy camels as previously reported for dairy cows (Bruckmaier et al., 1994; Ayadi et al., 2003), dairy buffaloes (Thomas et al., 2004), dairy ewe (Castillo et al., 2008; Rovai et al., 2008) and dairy goat (Salama et al., 2004) despite some difficulties to evaluate total teat cistern area in very large and long teats. The average total cisternal quarter area measured (16.31 ± 2.29 cm²) was much lower than cisternal area reported for dairy cows by Bruckmaier and Blum (1992) and for buffaloes (Thomas et al., 2004).

In dairy camels, almost all cisternal area was constituted by teat cavity, while udder cistern represented only 15% of total cisternal area. In buffaloes, Thomas et al. (2004) reported that cisternal area is split in half between teat and udder cistern when in dairy cows, cisternal area is mainly represented by udder cistern rather than by teat cistern.

Quarter cisternal size was significantly larger in early and mid stages of lactation, due to higher intramammary pressure and udder filling. Cisternal milk yield evolved similarly to estimated cisternal size, suggesting that ultrasound technique predicted accurately the amount of milk stored in the cistern. This was confirmed by significant correlation and regression analysis. Moreover, the positive correlation between the scanning area and cisternal milk

agrees with those previously reported in dairy cows (Bruckmaier et al., 1994; Caja et al., 2004). Furthermore, the positive correlation between cisternal area and morning milk yield (16 h after last milking) observed in our study was similar to the correlation between udder volume and milk yield reported by Caja et al. (2004) in dairy cows at 12 h milking interval.

Compared to other dairy animals, camels have a very limited cisternal cavity. At all lactation stages, cisternal milk was less than 5% of the total milk yield. Our values were lower than those reported by Caja et al. (2011) in camels. They found that a mean cisternal milk ratio at 4, 8, 12, 16, 20 and 24 h milking interval and at mid lactation, equal to 7.4% of total milk stored in the udder. Difference between our results and those of Caja et al., (2011) could be due to possible overestimation of cisternal milk determined in this last study because milk ejection could be incompletely blocked by placing animals in unusual surroundings and because of hand milking of camels while in our case milk ejection was inhibited by an oxytocin-receptor blocking agent (atosiban®) and camels were machine milked.

Nevertheless, cisternal milk yield and fraction in camels was far less than 25 to 30% reported in dairy cows (Bruckmaier et al., 1994; Ayadi et al., 2003). Closer values were reported for dairy buffaloes where Thomas et al., (2004) reported that almost 95% of total milk is stored in alveolar compartment. Since cisternal cavities are very small and over 95% of total milk are stored in the alveoli, milk removal is only possible when milk ejection reflex occurs. Thus an efficient milking routine needs to be applied. Otherwise, insufficient udder and teat stimulation before cluster attachment and during milking could imply milking on empty teats leading to animal discomfort, increase of mastitis risk and incomplete milking. Such an incomplete milking can causes production losses and mammary epithelium apoptosis (Stefanon et al., 2002). Further, as for other dairy animals with small cisterns, it's recommended for dairy camels to shorten milking interval. Caja et al., (2011) mentioned that hourly milk secretion rate decreased linearly from 4 to 24 h milking interval, showing marked

losses after 12 h of milk stasis. They concluded that no milking interval longer than 16 h should be recommended for camels.

Cisternal size, cisternal milk and milk yield were higher at mid lactation than in early lactation (though difference were not significant) and decreased significantly in late lactation when in dairy cow (Caja et al., 2004) as in dairy buffaloes (Thomas et al., 2004), estimated cisternal area, cisternal milk and total milk yield decreased as lactation advanced. Unlike cows and buffaloes, camels reach peak milk yield at 28 weeks of lactation (Musaad et al., 2013) which explains the higher values recorded for cisternal area and cisternal milk at mid lactation. May be this lactation curve is specific to this species but it could also reflect a progressive increase of milk ejection efficiency (slower adaptation to milking) as described in ewes (Négrao and Marnet, 2003) and further studies about endocrine adaptation to milking is required to confirm this point.

The average front: rear ratio estimated for cisternal area in our study show equilibrated udders in our camels and was close to the ratio reported in dairy cow 41:59 (Ayadi et al., 2003), and milked camels 44:56 (Caja et al., 2011). Eisa (2012) reported a more unbalanced ratio of 42.5:57.5 for camels reared under extensive management system. It is clear that camel's selection on milkability with machine, based on balanced udder quarters, will be recommended in order to limit possible overmilking on empty quarters as it was recommended initially for dairy cows (Labussière and Richard, 1965).

The increase in teat length and diameter after milk ejection occurrence was significantly higher in late lactation. This is mainly due to the lower volumes of cisternal milk found in the cisternal cavities prior to milk ejection at this stage of lactation, leading to smaller and more flaccid teats prior milking compared to mid lactation stage. That suggests a less efficient milk transfer from alveoli to cisterns between milking in late lactation and a proper udder and teat stimulation should be considered to improve teat tonus before cluster attachment. If animal

genetic selection is the future way to improve milking ability on this point of teat anatomy and milk transfer, another and more rapid way could be to adjust machine milking equipment and setting considering this large difference between teat measurements before and after milk ejection. Nickerson (1992) explained that if the milking machine is attached while teats are still limp or when the teats are totally deflated at the end of milking, the liner climbing will be facilitated and vacuum will suck the teats too deeply into the teatcups. In this case, closure of the udder teat passage is possible and can cause incomplete milking. More problematic on long terms, teat extremity could pass under the buckling plan of the liner and be not massaged and continuously submitted to vacuum, subsequently increasing the mastitis risk.

5. Conclusion

This study showed that teat and udder anatomy and the milk partitioning in the udder are quite different in dairy camels compared to other dairy animals. A noticeable increase in teat dimension following milk ejection is also recorded. These results have implications for machine milking of dairy camels. This study confirmed the urgency of the development and proposal of respectively adapted milking equipments and settings for camels and the use of an adequate milking routine to improve milking procedure, milk production and secure udder and teat health on the long term.

Acknowledgement

This work was carried out in collaboration between Arid Lands Institute (IRESA, Tunisia) and Agrocampus Ouest-INRA (France). Authors would like to thank the Tunisian and French Authorities for the financial support, Mr Bechir Saafi and Mr Lassaad Khalfalli for their careful assistance to animal management.

References

Atigui, M., Marnet, P.G., Ayeb, N., Khorchani, T., Hammadi, M., 2014b. Effect of changes in milking routine on milking related behaviour and milk removal in Tunisian dairy dromedary camels. J. Dairy Res. 81,494–503.

Atigui, M., Marnet, P.M., Barmat, A., Khorchani, T., Hammadi, M. 2014a. Effects of vacuum level and pulsation rate on milk ejection and milk flow traits in Tunisian dairy camels (*Camelus dromedarius*). Trop. Anim. Health Prod. DOI 10.1007/s11250-014-0708-0.

Ayadi, M., Caja, G., Such, X., Knight, C. H., 2003. Use of ultrasonography to estimate cistern size and milk storage at different milking intervals in the udder of dairy cows. J. Dairy Res. 70, 1–7.

Ayadi, M., Hammadi, M., Khorchani, T., Barmat, A., Atigui, M., Caja, G., 2009. Effects of milking interval and cisternal udder evaluation in Tunisian Maghrebi dairy dromedaries (*Camelus dromedarius* L.). J. Dairy Sci. 92, 1452–1459.

Bruckmaier, R. M., Hilger, M., 2001. Milk ejection in dairy cows at different degrees of udder filling. J. Dairy Res. 68, 369–376.

Bruckmaier, R. M., Blum, J. W., 1992. B-mode ultrasonography of mammary glands of cows, goats and sheep during α- and β- adrenergic agonist and oxytocin administration. J. Dairy Res. 59, 151–159.

Bruckmaier, R. M., Rothenanger, E., Blum, J. M., 1994. Measurement of mammary gland cistern size and determination of the cisternal milk fraction in dairy cows. Milchwissenschaft. 49, 543–546.

Caja G., Ayadi M., Knight C.H., 2004. Changes in cisternal compartment based on stage of lactation and time since milk ejection in the udder of dairy cows. J. Dairy Sci. 87, 2409–2415.

Caja, G., Salama, O. A., Fathy, A., El-Sayed, H., Salama, A. A. K., 2011. Milk partitioning and accumulation in the camel udder according to time elapsed after milking. Proceeding of the 62nd Annual Meeting of EAAP, Stavanger. p. 363.

Caja, G., Such, X., Ruberte, J., Carretero, A., Navarro, M., 1999. The use of ultrasonography in the study of mammary gland cisterns during lactation in sheep, in: Barillet, F., Zervas, N. P. (Eds), Milking and Milk Production of Dairy Sheep and Goats. Wageningen Pers., The Netherlands, pp. 91–93.

Castillo, V., Such, X., Caja, G., Salama, A.A., Albanell, E., Casals, R., 2008. Changes in alveolar and cisternal compartments induced by milking interval in the udder of dairy ewes. J. Dairy Sci. 91, 3403–3411.

Davis, S. R., Farr, V. C., Copeman, P. J. A., Carruthers, V. R., Knight, C. H., Stelwagen, K., 1998. Partitioning of milk accumulation between cisternal and alveolar compartments of the bovine udder: Relationship to production loss during once daily milking. J. Dairy Res. 65, 1–8.

Dewhurst, R. J., Knight, C. H., 1993. Changes in the sites of milk storage over the lactation cycle of primiparous and multiparous dairy cows. Animal Production. 56, 428–429.

Dewhurst, R. J., Knight, C. H., 1994. Relationship between milk storage characteristics and the short-term response of dairy cows to thrice-daily milking. Animal Production. 58, 181–187.

Eisa M.O., 2012. Udder Conformation and Milkabilty of She-Camel (*Camelus dromedarius*) in El-Showak, Eastern Sudan. Published by Lambert Academic Publishing (LAP), Germany. 90 p.

Knight, C. H., Stelwagen, K., Farr, V. C., Davis, S. R., 1994. Use of an oxytocin analogue to determine cisternal and alveolar milk pool sizes in goats. J. Dairy Sci. 77(Suppl. 1), 84 (Abstr.)

Labussière, J., Richard, P., 1965. La traite mécanique: Aspects anatomiques, physiologiques et technologiques. Mise au point bibliographique. Ann. Zootech. 14, 63–126.

Mayer, H., Bruckmaier, R. M., Schams, D., 1991. Lactational changes in oxytocin release, intramammary pressure and milking characteristics in dairy cows. J. Dairy Res. 58, 159–169.

McKusick, B. C., Thomas, D. L., Berger, Y. M., Marnet, P. G., 2002. Effect of milking interval on alveolar versus cisternal milk accumulation and milk production and composition in dairy ewes. J. Dairy Sci. 85, 2197–2206.

Musaad, A., Faye, B., Abu Nikhela, A., 2013. Lactation curves of dairy camels in an intensive system. Trop. Anim. Health Prod. 45, 1039–1046.

Négrao, J.A., Marnet, P.G., 2003. Cortisol, adrenalin, noradrenalin and oxytocin release and milk yield during first milkings in primiparous ewes. Small Ruminant Res. 47, 69–75.

Nickerson, S.C., 1992. Anatomy and physiology of the udder, in: Bramely, A.J., Dodd, F.H., Mein, G.A., Bramley, J.A. (Eds), Machine Milking and Lactation. Graway Hill, Herefordshire, UK: Insight Books. pp. 37–68

Nudda, A., Pulina, G., Vallabella, R., Bencini, R., Enne, G., 2000. Ultrasound technique for measuring mammary cistern size of dairy ewes. J. Dairy Res. 67, 101–106.

Pfeilsticker, H. U., Bruckmaier, R. M., Blum, J., 1996. Cisternal milk in the dairy cow during lactation and after preceding teat stimulation. J. Dairy Res. 63, 509–515.

Rovai, M., Caja, G., Such, X., 2008. Evaluation of udder cisterns and effects on milk yield of dairy ewes, J. Dairy Sci. 91, 4622–4629.

Rovai, M., Such, X., Caja, G., Knight, C.H., 2000. Interbreed differences in cisternal and alveolar milk partitioning in the udder according to yield in dairy sheep. J. Dairy Sci. 83 (Suppl.1), 166 (Abstract).

Rovai, M., Such, X., Caja, G., Piedrafita, J., 2002. Changes in the cisternal and alveolar milk throughout lactation in dairy sheep. J. Dairy Sci. 85 (Suppl.1), 4 (Abstract).

Salama, A. A. K., Caja, G., Such, X., Peris, S., Sorensen, A., Knight, C. H., 2004. Changes in cisternal udder compartment induced by milking interval in dairy goats milked once or twice daily. J. Dairy Sci. 87, 1181–1187.

Stefanon, B., Colitti, M., Gabi, G., Knight, C.H., Colin, J.W., 2002. Mammary apoptosis and lactation persistency in dairy animals. J. Dairy Res. 69, 37–52.

Stelwagen, K., 2001. Effect of milking frequency on mammary functioning and shape of the lactation curve. J. Dairy Sci. 84, E204–E211.

Thomas, C.S., Svennersten-Sjaunja, K., Bhosrekar, M.R., Bruckmaier, R.M., 2004. Mammary cisternal size, cisternal milk and milk ejection in Murrah buffaloes. J. Dairy Res. 71, 162–168.

Vanbergue, E., Barillet, F., Allain, C., Autran, P., Aurel, M.R., Duvallon, O., Portes, D., Dessauge, F., Boutinaud, M., Dzidic, A., Marnet, P.G., 2013. Aptitude des brebis laitières de race Lacaune à la conduite en monotraite: Premiers éléments zootechniques et physiologiques. In 20èmes Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants. Paris, 3 - 4 December 2013, 20, 281–284.

Wellnitz, O., Bruckmaier, R.M., Albrecht, C., Blum, J., 1999. Atosiban, an oxytocin receptor blocking agent: Pharmacokinetics and inhibition of milk ejection in dairy cows. J. Dairy Res. 66, 1–8.

Wójtowski, J. Ślósarz, P., Junkuszew, A., Milerski, M. Szymanowska, A., Szymanowski, M., 2006. Application of ultrasound technique for cistern size measurement in dairy goats. Arch. Tierz., Dummerstorf . 49, 382–388.

Yagil, R., Van Creveld, C., Abu R'Kaik, G., Merin, U. 1999. Milk " Let Down" in Camel. J. Camel Pract. Res. 6, 27–29.

Table 1

Cisternal size (cm²) in dairy camels according to lactation stage.

	Early lactation	Mid lactation	Late lactation
Fore teat cistern	14.86 ± 1.72^{A}	14.56 ± 3.05^{Ab}	5.59 ± 0.91^{Bb}
Rear teat cistern	16.42 ± 1.33^{A}	17.83 ± 3.41^{Aa}	7.96 ± 1.44^{Ba}
Fore gland cistern	4.54 ± 1.17^{A}	5.06 ± 2.12^{A}	0.44 ± 0.23^{B}
Rear gland cistern	4.30 ± 0.74^{A}	3.83 ± 1.41^{A}	1.03 ± 0.40^{B}
Mean quarter cisternal size	20.06 ± 2.14^{A}	24.05 ± 4.73^{A}	7.50 ± 1.29^{B}

^{A,B}: Means in the same line with different superscript letter were significantly different ($P < 0.05$)
^{a,b}: Means with different superscript within a column and between fore and rear teats are significantly different ($P < 0.05$).

402 **Table 2**

403 Milk volumes and milk partitioning in the udder of dairy camels according to lactation stage.

	Early lactation	Mid lactation	Late lactation	Means
Milk yield[†] (l)	5.58 ± 0.38[b]	6.96 ± 1.00[a]	4.05 ± 0.26[c]	5.54 ± 0.44
Cisternal milk (l)	0.24 ± 0.02[a]	0.29 ± 0.07[a]	0.07 ± 0.02[b]	0.20 ± 0.03
Cisternal fraction (%)	4.37 ± 0.26[a]	4.05 ± 0.69[a]	1.73 ± 0.35[b]	3.44 ± 0.38

404 [a,b,c]: Means in the same line with different superscript letter were significantly different (P<0.05).
405 [†]: Morning milk yield produced during 16h milking interval.
406

Table 3

Relationship between milk volumes, cisternal area and teat dimensions measured on ultrasound scans in dairy camels.

	FTC	RTC	QCS	FTL	RTL	FTD	RTD	CSM	ALM	MMY
FTC	1.000									
RTC	0.971***	1.000								
QCS	0.986***	0.980***	1.000							
FTL	0.839***	0.829***	0.817***	1.000						
RTL	0.842***	0.824***	0.812***	0.950***	1.000					
FTD	0.716**	0.724**	0.677**	0.820***	0.820***	1.000				
RTD	0.921***	0.921***	0.924***	0.950***	0.950***	0.843***	1.000			
CSM	0.942***	0.965***	0.951***	0.804***	0.811***	0.670**	0.901***	1.000		
ALM	0.810***	0.813***	0.820***	0.789***	0.720**	0.796***	0.816***	0.804***	1.000	
MMY	0.829***	0.834***	0.840***	0.797***	0.733***	0.793***	0.830***	0.830***	0.998***	1.000

FTC: Fore teat cistern (cm²); RTC: Rear teat cistern (cm²); QCS: Quarter cisternal size (cm²); FTL: Fore teat length (cm); RTL: Rear teat length (cm); FTD: Fore teat diameter (cm); RTD: Rear teat diameter (cm) CSM: Cisternal milk (l); ALM: Alveolar milk (l); MMY: Morning milk yield produced 16h after milking (l).

$^{**}P<0.01$, $^{***}P<0.001$.

Table 4

Influence of milk ejection on teat dimensions in dairy camels according to lactation stage.

		Early lactation	% increase	Mid lactation	% increase	Late lactation	% increase
FTL	Before milk ejection	6.04 ± 0.53^{Bb}	29.93 ± 11.51^{B}	7.09 ± 0.27^{A}	9.16 ± 5.03^{B}	4.18 ± 0.44^{Cb}	81.61 ± 15.19^{A}
	After milk ejection	7.58 ± 0.30^{a}		7.71 ± 0.32		7.38 ± 0.49^{a}	
RTL	Before milk ejection	6.76 ± 0.59^{Bb}	34.30 ± 10.03^{AB}	7.85 ± 0.43^{A}	5.66 ± 1.19^{B}	4.54 ± 0.41^{Cb}	75.53 ± 10.03^{A}
	After milk ejection	8.79 ± 0.30^{a}		8.29 ± 0.42		7.84 ± 0.47^{a}	
FTD	Before milk ejection	3.85 ± 0.27^{ABb}	24.19 ± 4.91^{AB}	4.58 ± 0.34^{Ab}	16.00 ± 3.12^{B}	3.28 ± 0.46^{Bb}	51.94 ± 12.13^{A}
	After milk ejection	4.72 ± 0.21^{Ba}		5.28 ± 0.29^{Aa}		4.85 ± 0.55^{Ba}	
RTD	Before milk ejection	4.55 ± 0.41^{Ab}	13.04 ± 3.97^{B}	5.05 ± 0.46^{Ab}	10.58 ± 3.19^{B}	3.11 ± 0.29^{Bb}	64.13 ± 12.94^{A}
	After milk ejection	5.08 ± 0.35^{a}		5.54 ± 0.43^{a}		5.04 ± 0.48^{a}	
QCS	Before milk ejection	20.06 ± 2.14^{Bb}	87.95 ± 13.48^{B}	24.05 ± 4.24^{Ab}	100.66 ± 22.80^{B}	7.50 ± 1.29^{Cb}	383.17 ± 99.03^{A}
	After milk ejection	36.64 ± 2.80^{Ba}		45.52 ± 2.99^{Aa}		31.78 ± 3.69^{Ba}	

FTL: Fore teat length (cm); RTL: Rear teat length (cm); FTD: Fore teat diameter (cm); RTD: Rear teat diameter (cm); QCS: Mean quarter cisternal size (cm²)

^{A,B,C}: Means with different superscript within a line and between lactation stages are significantly different ($P<0.05$)

^{a,b}: Means with different superscript within a column and between before and after milk ejection are significantly different ($P<0.05$).

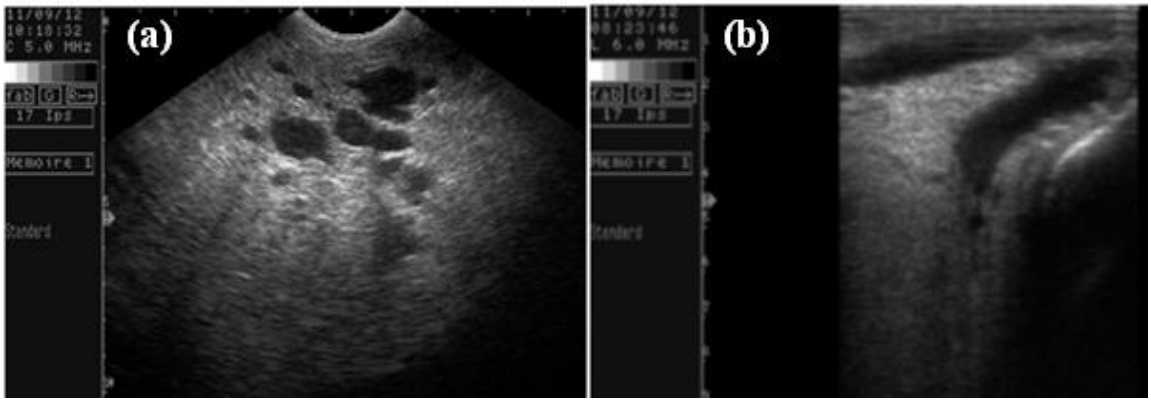

Fig.1. Udder cistern in dairy camels consisted of several pockets matching large lactiferous ducts (a) emptying into two teat cisterns (b).

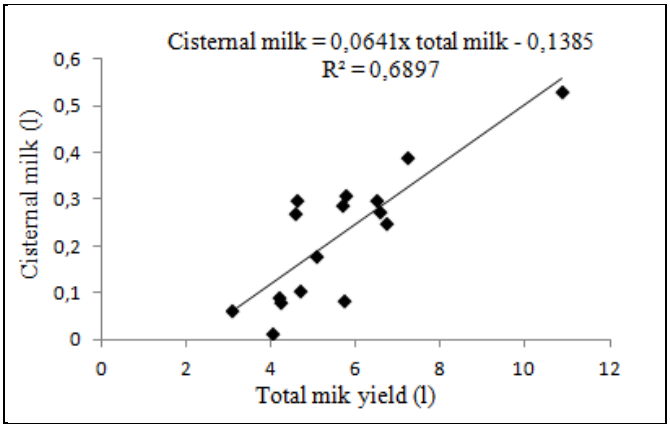

Fig.2. Relationship between cisternal milk and total milk yields.

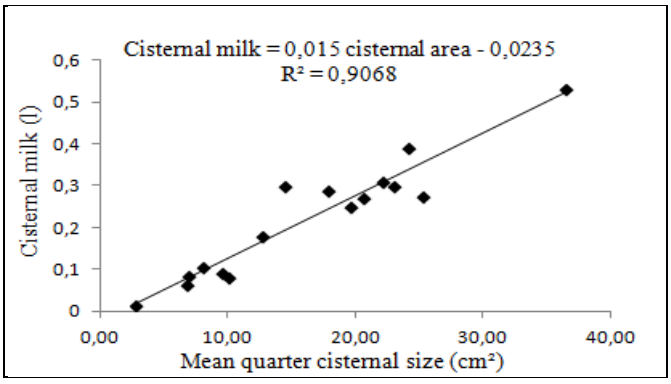

Fig.3. Relationship between cisternal milk and mean quarter cisternal area.

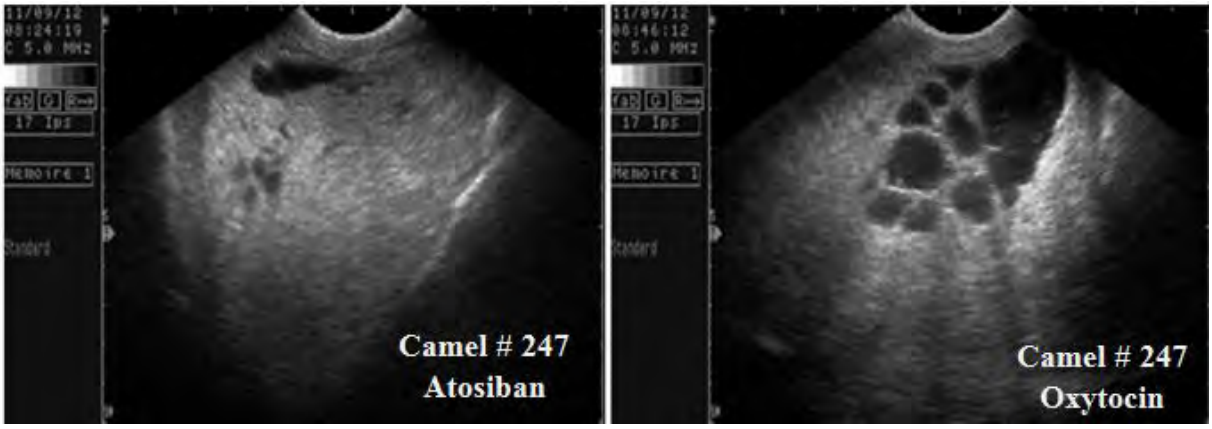

Fig. 4. Ultrasound scans of the left rear udder cistern before and after milk ejection of a dromedary camel at late lactation.

CHAPITRE 2: Description des courbes d'éjection du lait et évaluation de l'aptitude à la traite mécanique des chamelles

Ce travail a fait l'objet d'un article publié dans "Journal of Dairy Research"

Atigui, M., Hammadi, M., Barmat, A., Farhat, M., Khorchani, T. and Marnet, P.G., 2014. First description of milk flow traits in Tunisian dairy dromedary camels under intensive farming system, Journal of dairy Research, 81, 173–182.

Aperçu sur l'article 3 :

Première description des caractéristiques de la cinétique d'émission du lait chez la chamelle laitière en Tunisie élevées en système intensif

En Tunisie, environ 100 000 têtes de dromadaire sont élevées essentiellement en extensif sur les parcours marginaux des régions arides et désertiques du sud du pays. Dans ces conditions la production laitière journalière dépasse rarement 2 l/animal. Parallèlement, la demande en termes de lait de chamelle ne cesse d'augmenter considérablement. Toutefois, un système de production extensif ne peut répondre à cette demande accrue, ni garantir un approvisionnement constant en terme de quantité et qualité de lait. Par conséquence des unités d'élevage de chamelles laitières en intensif se sont implantées à travers le monde, qui utilisent toutes la traite mécanique. Cependant, le choix des chamelles pour la traite mécanique jusqu'à aujourd'hui se base sur leur production individuelle et leur réponse comportementale au cours du dressage à la traite mécanique et non pas sur leur aptitudes directes à la traite mécanique. Il n'y a aucun travail publié à ce jour et qui décrirait les cinétiques d'émission de lait chez la chamelle. Sans cette information, il est difficile de proposer un moyen d'amélioration des équipements de traite et des réglages appropriés spécifique à cette espèce. Ce travail a donc pour objectif de décrire pour la première fois les cinétiques d'émission du lait chez la chamelle et d'en tirer les critères permettant d'évaluer l'aptitude de cette espèce à la traite mécanique. Dans ce cadre, 124 courbes d'éjection de lait ont été enregistrées durant la traite du matin chez 20 chamelles âgées de 6 à 19 ans, en 1ere à la 8ème lactation et du 4ème au 15ème mois de lactation. La machine à traire a été réglée à 48 kPa, 80 cpm et un rapport de fréquence de 60%. Les enregistrements ont été effectués moyennant un compteur électronique du débit de lait (Lactocorder®). Trois profils types de la courbe d'éjection du lait ont été identifiés. Le Type 1 représente les courbes ayant un pic court et élevé du débit de lait. Le Type 2 inclut les courbes au débit de lait modéré avec une phase plateau de débit maxium plus étendue. Le Type 3 représente les courbes à faible débit et à temps de traite relativement long. Le ratio des profils des cinétiques étudiées est de 40:38:22% respectivement pour les types 1, 2 et 3. La production laitière par traite, le débit moyen et le débit maximum de lait les plus élevés sont enregistrés chez les animaux aux profils type 1 (4.24 kg, 1.49 et 3.54 kg/min, respectivement) suivis par les cinétiques type 2

(3.30 kg, 1.12 et 2.12 kg/min, respectivement) et enfin les courbes types 3 (2.34 kg, 0.65 et 1.23 kg/min, respectivement).

Ce travail a permis d'apprécier la variabilité globale de la cinétique d'émission de lait due à l'animal, au stade de lactation et aux conditions de traite. En effet, 90% des animaux ont pu être associés à un type spécifique. Les niveaux de certitude de ce classement variaient de 63 à 100%. Le reste des animaux oscillaient entre les différents types et ne pouvait par conséquent être classé. La différence entre les cinétiques type 1 et 2 peut être expliquée par une différence de caractéristiques des trayons des chamelles. En fait, les animaux type 1 peuvent avoir une plus faible résistance du sphincter du trayon et/ou un diamètre du canal du trayon plus large permettant une vidange facile, rapide et continue du lait. A l'inverse des animaux de type 2 peuvent avoir un canal du trayon plus étroit, limitant le débit maximum à un plateau, tel qu'il est rapporté chez la brebis (Marnet et al, 1999) et la vache (Weiss et al, 2004). Une autre explication proposée pour justifier la variabilité entre les animaux et entre différente traite du même animal au cours de la lactation, peut être la différence d'occurrence du reflex d'éjection du lait. Enfin, les animaux classés type 3, ayant la durée de traite la plus élevée, la production et les débits les plus faibles peuvent être considérés comme les animaux les moins aptes à la traite mécanique. Cette classe inclut les animaux traits pour la première fois, probablement pas encore adaptés à la traite mécanique, et dont l'efficacité du reflexe d'éjection du lait est réduite tel que décrit chez les brebis par Négrao et Marnet (2003). Les animaux de type 3 peuvent présenter une plus grande sensibilité aux conditions de traite mécanique et aux facteurs environnementaux. De plus, les animaux classés type 1 et 2 peuvent présenter des cinétiques types 3 lorsqu'ils sont exposés à des perturbations au cours de la traite permettant de classer en type 3 des animaux mal stimulés ou inhibé dans leur réflexe d'éjection du lait.

Ce travail suggère que les animaux classés type 1 et 2 présentent une bonne aptitude à la traite mécanique. L'amélioration du réglage et matériels de traite, la pré-stimulation et la pose du faisceau trayeur au moment de l'éjection du lait peuvent améliorer rapidement l'efficacité de la traite des chamelles laitières. De plus, la variabilité des caractéristiques de la traite chez les chamelles nous a mené à supposer qu'une sélection sur cette base doit être effectuée. La suite de ce travail concerne l'amélioration des la réponse de chamelles à la traite mécanique. Cependant avant de tester l'effet du changement de la routine de traite, il est important de déterminer le réglage machine le plus approprié pour cette espèce.

Article 3: First description of milk flow traits in Tunisian dairy dromedary camels under an intensive farming system

Journal of Dairy Research (2014) **81** 173–182. © *Proprietors of Journal of Dairy Research 2014*
doi:10.1017/S0022029914000089

First description of milk flow traits in Tunisian dairy dromedary camels under an intensive farming system

Moufida Atigui[1,2,3,4], Mohamed Hammadi[1], Ahmed Barmat[1], Mohamed Farhat[1], Touhami Khorchani[1] and Pierre-Guy Marnet[2,3,4]*

[1] Livestock and Wildlife Laboratory, Arid Lands Institute, 4119 Médenine, Tunisia
[2] AGROCAMPUS OUEST, UMR1348 PEGASE, F-35042 Rennes, France
[3] INRA, UMR1348 PEGASE, F-35042 Rennes, France
[4] Université européenne de Bretagne, France

Received 22 July 2013; accepted for publication 9 December 2013; first published online 13 March 2014

In order to evaluate milking ability in dromedary camels, 124 milk flow curves were registered during morning milking of 20 dairy Maghrebi dromedary camels. Animals were in lactations 1–8, were 6–19 years old and were 4–15 months of their current lactation. Milk flow curves were recorded using an electronic milk flow meter (Lactocorder®). Milk flow curves were classified in three typical patterns: type 1 represents curves with one high and short peak of milk flow; type 2 represents curves with a moderate mean milk flow rate during a large plateau phase; and type 3 represents curves with lower mean milk flow rate and a relatively longer milking duration. The ratio of the different milk flow patterns in the population evaluated was 40:38:22% for types 1, 2 and 3, respectively. The highest milk yield per milking, average and peak milk flow were observed in camels with type 1 curves (4·24 kg, 1·49 and 3·54 kg/min, respectively) followed by type 2 animals (3·30 kg, 1·12 and 2·12 kg/min, respectively) and lastly type 3 curves (2·34 kg, 0·65 and 1·23 kg/min, respectively). This study confirmed that a major proportion of dromedary camels have a suitable machine milking ability. Nevertheless, our results suggest that pre-stimulation and improving the milking process may improve milking efficiency and guarantee a more complete and rapid emptying of the udder.

Keywords: Camel, machine milking, milk flow traits.

In Tunisia, there are some 100 000 camels (*Camelus dromedarius*). They are reared under an extensive system in arid and desert regions to produce meat, milk and fibre. Under these conditions, the daily milk production is about 2 l/animal. Nowadays, there is increasing interest in camels' milk for human nutrition in other population sectors of different parts of the world. It has been proposed as a substitute for cows' milk in allergic children, as a substitute for mothers' milk for premature newborns, and as a therapeutic way to repress hyperglycaemia in diabetic patients (Agrawal et al. 2003; Sboui et al. 2009a). However, an extensive production system cannot meet the increasing demand nor guarantee constant milk quantity and quality for urban markets. As a result, many intensive dairy camel farms have been recently created around the world, a majority of them using machine milking (Juhasz & Nagy, 2008; Ayadi et al. 2009; Hammadi et al. 2010).

*For correspondence; e-mail: marnet@agrocampus-ouest.fr

An efficient milking machine should be able to remove milk from the udder as gently, quickly and completely as possible with the minimum of manual intervention (Labussière, 1988). This principle of efficient milking describes the basic characteristics of good 'milkability'. Usually, 'milkability' of an animal is measured as the higher milking speed, the shorter milking duration and the minimum milking labour (Lee & Choudhary, 2006). Consequently, if 'milkability' results from numerous factors such as teat and udder shape and internal anatomy (Ovesen, 1972; Labussière, 1988; Rovaï et al. 2004; Tilki et al. 2005; Dzidic, 2009) or temperament of the animals (Lyons, 1989; Knierem, 1991; Murray et al. 2009) it can be functionally evaluated by the analysis of milk flow curves during milking. They have been commonly recorded for a long time in experiments (Labussière & Martinet, 1964) to evaluate the quality of the milking process and animals' individual physiological stimulation and milking performance. It has been proved that the pattern of milk emission is typical for each species and has been well studied in dairy cows (Bruckmaier et al. 1995; Tancin et al. 2006;

Sandrucci et al. 2007), goats (Bruckmaier et al. 1994; Billon et al. 1999; Marnet et al. 2001), ewes (Labussière, 1988; Mayer et al. 1989; Marnet et al. 1999) and buffaloes (Bava et al. 2007; Boselli et al. 2010). In general, the milk flow pattern depends on the milk partitioning in the udder, milk ejection reflex and teat anatomy (Labussière, 1988; Marnet & McKusick, 2001; Boselli et al. 2010). Milk within the udder can be divided into two fractions: cisternal milk which is immediately extracted by the machine without oxytocin release; and alveolar milk which can only be removed by the active involvement of the animal, when oxytocin release and milk ejection occurs (Bruckmaier & Blum, 1998). When the animals are physiologically stressed owing to acute events or long-term bad conditions of milking (Tancin & Bruckmaier, 2001), we can record physiological responses such as high levels of cortisol and reduced sensitivity to ACTH (Bruckmaier & Wellnitz, 2007) and catecholamines release (Bruckmaier et al. 1997). That leads to a clear partial or total inhibition of milk ejection reflex and a delay in milk ejection and/or reduced milk flow is often described (Wellnitz & Bruckmaier, 2001). Such a delayed milk ejection causes bimodal milk flow curves (Tancin et al. 2007). The first peak of milk flow matches the cisternal milk and the second the alveolar milk. Animals with tight streak canals such as buffaloes (Borghese et al. 2007) or within dairy cows (Corbet et al. 2010), or needing a high vacuum to open teat sphincters (Marnet et al. 1999) are characterised by lower milk flow rate and longer duration of milking.

The current selection of machine milked she-camels is usually only based on the individual performance of animals and on their behavioural response (aggressiveness) during training to machine milking. Although milk flow recording is one of the most important traits to evaluate dairy animals' 'milkability' with animal morphology of udders and teats, there is no research that highlights milk flow curves of dromedary camels, as far as we know. Without such information, it is difficult to propose some way of improvement of machine milking equipment and settings. The aim of this study was to describe for the first time the milk flow curves and to define milking characteristics of animals in order to evaluate the milking ability in dairy camels under our conditions.

Materials and methods

Animals and their management

A total of 124 milk flow curves were registered during morning milking belonging to 20 dairy Maghrebi dromedary camels from the experimental farm of the Arid Regions Institute (IRA, Chenchou, Tunisia). These camels were selected to have close teat shape and dimension (teat diameter: 3·46 ± 1·11 and 3·58 ± 1·06 cm; teat length 5·48 ± 1·67 and 5·76 ± 1·30 cm for front and rear teats respectively), in order to limit possible effects of bad matching of material to animals.

The trial was conducted during April–December 2011 after a training period. Before the exclusive machine milking period, camels were hand-milked twice (8·00 and 16·00) in a place close to the enclosure reserved for machine milking. Four days prior to start of exclusive machine milking, the milking machine was run at the same time as manual milking to adapt the camels to the noise. Camels were hand-milked only once (morning) the day before being machine-milked. The storage of milk in the udder 24 h after hand-milking increases mammary pressures and may encourage the camel to be milked. On the first day of machine milking, if no milk was ejected, an i.v. injection of oxytocin (10 IU/camel) was given before milking to allow a complete udder emptying and avoid drying. During the following days, oxytocin dosage was reduced progressively until the milk ejection reflex was re-established, which could need about 2–3 weeks depending on the background of the animal (Hammadi et al. 2010). Our experiment began after this period.

The camels retained for this experiment were in lactations 1–8 and were 6–19 years old. The milk flow kinetics were recorded monthly between months 4 and 15 of lactation. Since proper machine milking matches the beginning of the fourth month of lactation, we assumed that the period 4–5 months of lactation corresponds to 'early lactation', 6–10 months to 'mid lactation' and 11–15 months to 'late lactation' in this study.

Milking routine

In order to fit with the traditional interval between milking applied by camel breeders in south Tunisia, our camels were routinely milked twice a day (8·00 and 16·00) in a restraining stall using a portable bucket milking machine [Model AM/T115, AGROMILK, 42020 S.Polo d'Enza (Reggio Emilia), Italy] which was set at 48 kPa, 80 pulses/min and 60 : 40 pulsation ratio previously determined to be the best for these animals and this material (Atigui et al. 2011). DeLaval Clusters (ref of the milking claw: 00100349 S/S Alfa/Laval type 180 cc for cows; reference and characteristics of the rubber: 91000301: length 320 mm, diameter of mouthpiece of 25 mm, found to be the best fit for the udder and teat shape of our camels) were attached after a short (< 10 s) teat washing and drying. A machine stripping was performed 15 s after the milk flow decreased to less than 0·1 kg/min, by manual massage and pulling down the milking cluster before the vacuum shut off. After cluster take-off, a teat dipping (Polycide, Laboratoires Interchem, Tunis, Tunisia) was performed. Our camels never received any concentrate feed during milking in this experiment.

Milk flow recording and evaluation

Milk flow was continuously recorded during morning milking using electronic milk flow meters (Lactocorder®, WMB AG, Balgache, Switzerland) especially calibrated to low milk flow rates (< 0·05 kg/min; goat calibration). This apparatus had not at this time any ICAR approval

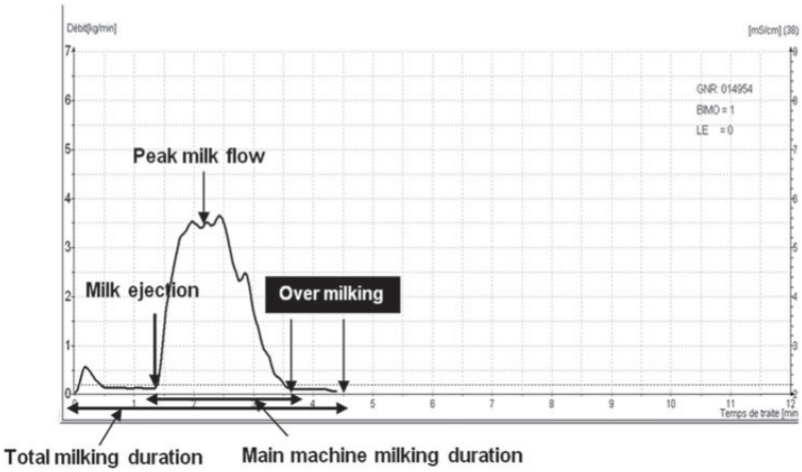

Fig. 1. Parameters used for milk ejection curves analysis.

for camels' milk measurement because it was the first study using such a material for milk emission kinetic recording in camels. Nevertheless, we considered this material as well adapted because of several factors: first, the hardware of lactocorder is the same for cow and goats and is proven to be efficient to measure accurately milk production for animals producing 100 ml to more than 40 l of milk and milk flow between 100 ml/min (goat calibration) and more than 12 kg/min (cow calibration) (±2% precision and 2·5% SE; ICAR Standard). Camels' milk production and milk flow are both within these ranges. Second, the measurements made by the associated software lactopro® do not permit the extraction of individual data per time unit and we were obliged to use the data processed by the software. This software was regularly updated for goats and at least for the parameters retained in this study (see below) we were sure of the validity of the data measured (our laboratory has contributed to Lactopro® software improvement with WMB firm for goat use). We also checked by bucket weighting (after minus before milking) and simulatenous time recording that the data of milk quantity (total, machine and stripping milk) and mean milk flow were exact and representative. The evaluation of bimodality of milk ejection by lactopro® software was not used because it seems to be not adapted for camels. We preferred to determine this trait visually when two clear milk flow rises were recorded during the same milking (the first between teat cup attachment and 45 s and the second after 45 s). Third, the milk quality of camels is very close to mean cow milk quality (Sboui et al. 2009b) that ensures also a good milk circulation and detection by Lactocorder apparatus. We paid particular attention to avoiding air entry and associated excessive foaming that could modify measurements. It was also the reason why we did not use the automatic sampling device of lactocorder and preferred the sampling of total milk after homogenisation directly in the bucket.

The following milking traits were calculated by Lactopro® software or manually recorded (Fig. 1): milk flow latency (time between the attachment of teat cups and a milk flow of 0·250 kg/min), lag time or time to milk ejection occurrence (from milking cluster attachment till milk ejection occurs; visually determined when teats suddenly swell and manually recorded), total milking duration (from the attachment of the clusters till their removal; manually recorded), effective milking duration (time for main milk fraction recovery), machine milk yield (from when milk flow exceeded 0·250 kg/min until it dropped below 0·100 kg/min), stripping yield (volume collected when milk flow re-exceeded 0·250 kg/min, 15 s after machine milk ceased) and bimodality (visually determined). Overmilking was not considered in the evaluation since it was deliberately caused to better identify stripping milk fraction.

Analysis of milk flow curves during the main milking phase (period of machine milking without any manual intervention) led to 3 typical patterns characterised by specific milk flow traits. Type 1 was characterised by a sharp and high peak flow curve with a continuous increase in the milk flow followed by a declining phase without going through a plateau phase. Type 2 was characterised by milk flow curves with intermediate milk flow rate and a significantly longer plateau phase. Type 3 was characterised by milk flow curves with a low milk flow level and a longer total milking duration (Fig. 2).

During the study, 160 milk flow curves were recorded. However, many curves were discarded owing to accidents during milking including falling down and slipping of cluster with sudden air entry and excessive foaming, and/or bad correspondence between time of attachment of cluster and start of recording by Lactocorder® apparatus. Thus, only 124 curves were retained for statistical analysis. We gave attention to retaining a sufficient number of recordings per stage of lactation to permit analysis on this

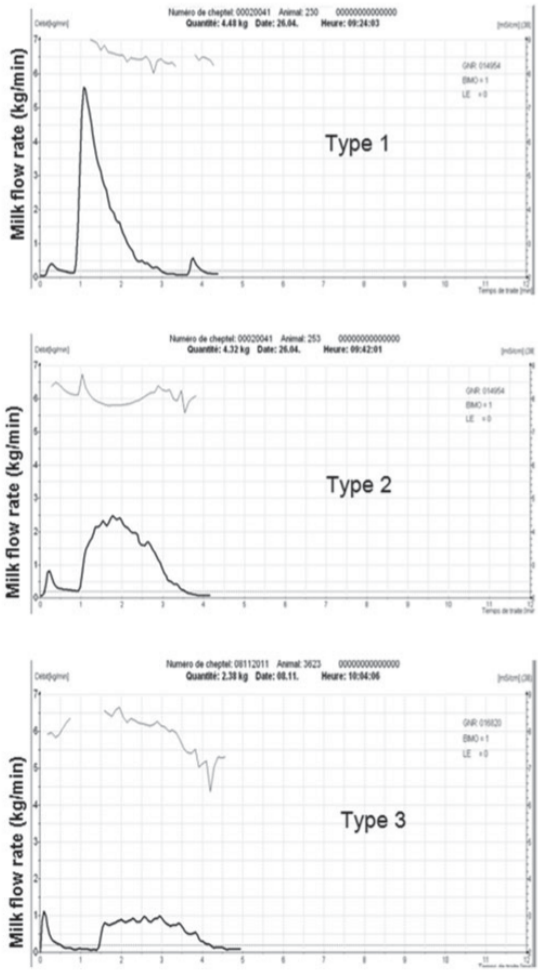

Fig. 2. Different milk flow patterns recordable in dairy camels.

point ($n = 37$, 45, 42 for early, middle and late stage of lactation, respectively).

Certainty level

To characterise individual animals' classification, Mayer et al. (1989) defined the certainty level as the relative ratio 'number of curves of a particular type/all available individual curves'. At levels > 50%, animals were attributed to the specific type. This parameter was calculated for each camel.

Determination of cisternal milk fraction

Six of our 20 animals had been injected 3 times throughout lactation with 10 µg/kg body weight of atosiban (i.e. oxytocin receptor blocking agent) to prevent milk ejection due to endogenous oxytocin release. Atosiban was administered 2 min before manual milking of the cisternal milk fraction, without any pre-milking udder preparation. Alveolar milk fraction was machine milked 10 min after injection of a supraphysiological dose of oxytocin (10 IU).

Cisternal milk fraction (%) was defined as (cisternal milk amount × 100)/total milk yield (cisternal milk plus alveolar milk fractions).

Blood sampling and cortisol analysis

To avoid disrupting the camels during sample collection, an intravenous catheter was fitted in the jugular vein of camels some days prior to sampling. Venous blood samples were collected during all the episodes of milking of one day. Blood was collected at −2, −1, 0, 0·5, 1, 1·5, 2, 3, 6 and 12 min (relative to attachment of teat-cups) into heparinised tubes previously cooled in crushed ice and kept at 4 °C following collection. The tubes were centrifuged at 3000 ***g*** at 4 °C for 15 min and the plasma removed and stored at −20 °C until the time of assay.

Plasma cortisol was measured by a competitive EIA (method developed in our laboratory). For cortisol assay, B/Bo at 50% (E.D.50) was 1 ng/ml. The intra-assay CV ranged from 24% (0·1 ng/ml) to 9% (1·6 ng/ml). The inter-assay CV ranged from 8% (25 ng/ml) to 5% (1·6 ng/ml).

Statistical analysis

Statistical analysis were carried out using SAS program (SAS version 9.0, SAS Inst. Inc., Cary NC, USA) and results are presented as means ± SD. Data were analysed using the MIXED procedure according to the model:

$$Y_{ijk} = \mu + CT_i + LS_j + A_k + e_{ijk}$$

where: Y_{ijk} = individual observation of measured traits: machine milk yield (kg), machine stripping (kg), milk flow latency (min), time to milk ejection (min), total milking duration (min), main milking duration (min), average milk flow (kg/min), peak milk flow (kg/min), time of peak milk flow (min) and % 3 min milk yield, µ = overall mean, CT_i = the fixed effect of milk flow type ($i = 1$ to 3), LS_j = the fixed effect of lactation stage ($j = 1$ to 3), A_k = the random effect of the animal ($k = 1$ to 20), e_{ijk} = random error.

Fixed effects included in the model were estimated using the Least Squares Means methods. Residual error variances were estimated using the REML (Restricted Maximum Likelihood) method. Differences between least squares means were determined with the TDIFF test. Pearson correlation coefficients between traits were also calculated.

The effect of bimodality, lactation stage and their interaction on milk yield were analysed using the MIXED procedure according to the model:

$$Y_{ijk} = \mu + BIMO_i + LS_j + A_k + e_{ijk}$$

with, µ = overall mean, BIMOi = the fixed effect of bimodality ($i = 1$, 2), LSj = the fixed effect of lactation stage ($j = 1$ to 3),

Table 1. Milk flow traits related with the different milk flow patterns

Traits	Milk flow patterns (Mean ± SD)		
	Type 1	Type 2	Type 3
Yields, kg/milking			
Machine milk	4·24 ± 1·16[a]	3·30 ± 0·72[b]	2·34 ± 0·66[c]
Machine stripping	0·028 ± 0·01	0·032 ± 0·02	0·027 ± 0·02
% of total milk yield obtained in 3 min	97 ± 4[a]	97 ± 3[a]	85 ± 15[b]
Times, min			
Milk flow latency†	0·30 ± 0·34	0·42 ± 0·52	0·45 ± 0·54
Time to milk ejection‡	0·94 ± 0·36[b]	1·01 ± 0·40[ab]	1·14 ± 0·54[a]
Total milking duration	3·99 ± 0·77[b]	4·21 ± 0·63[ab]	4·50 ± 0·77[a]
Main machine milking duration	2·18 ± 0·57[b]	2·42 ± 0·41[ab]	2·62 ± 0·70[a]
Time to peak milk flow	1·27 ± 0·49[b]	1·40 ± 0·62[b]	1·77 ± 0·81[a]
Flow rates, kg/min			
Average milk flow rate	1·49 ± 0·42[a]	1·12 ± 0·22[b]	0·65 ± 0·12[c]
Peak milk flow rate	3·54 ± 0·87[a]	2·12 ± 0·42[b]	1·23 ± 0·23[c]
Bimodality (%)	52·1	31·9	41·4

† Time between the attachment of teat cups and a milk flow of 0·250 kg/min
‡ Time from milking cluster attachment till milk ejection occurs (visually determined when teat suddenly swell)
[a,b,c]Means in the same line with different superscript letter were significantly different ($P<0·05$)

A_k = the random effect of the animal (k = 1 to 20), e_{ijk} = random error.

The χ^2 test was used to evaluate group differences of bimodality trait frequency. Significance was declared as $P<0·05$ unless otherwise indicated.

Results

Milk flow curves and milkability of camel

A total of 124 milk flow curves were recorded. The ratio of the different milk flow patterns evaluated in this study was 40:38:22% for types 1, 2 and 3, respectively (Fig. 2).

In type 1 curves, milk flow is never bridled during milking procedure resulting in higher peak flow levels and short milking durations which depend also mainly on the amount of milk stored in the udder.

Type 2 curves characterise animals with relatively high milk production and lower milk flow rate, giving a larger plateau phase than type 1 animals. Milk flow fluctuations are sometimes recorded in type 2 curves.

Type 3 profiles show various patterns of milk flow, all characterised by low peak flow rate.

As shown in Table 1, machine milk yield was higher ($P<0·0001$) in type 1 followed by type 2 and type 3 animals (4·24 ± 1·16, 3·30 ± 0·72, 2·34 ± 0·66 kg/milking, respectively). Machine stripping yield was not influenced by curve type and ranged from 0·027 ± 0·02 to 0·032 ± 0·02 kg/milking. There was no significant difference between milk flow latency. Time to milk ejection was the shortest (P = 0·027) for type 1 milk emission curves. Average and peak milk flow were higher ($P<0·0001$) in type 1 animals followed by type 2 and type 3.

Positive and significant correlation was observed between milk yield, and peak milk flow and average milk flow (r = 0·83, $P<0·0001$; r = 0·73, $P<0·0001$, respectively) but no correlation was measured between milk yield and total milking duration and main machine milking duration. A significant correlation was detected between time to peak milk flow occurrence, and total machine milking duration and time to milk ejection occurrence (r = 0·58, $P<0·0001$ and r = 0·47, $P<0·0001$, respectively). Conversely, negative correlations were obtained between time to milk ejection, and machine milk yield, peak and average milk flow rate (r = −0·24, P = 0·0060; r = −0·22, P = 0·012; r = −0·18, P = 0·042, respectively).

Certainty level

This ratio was calculated and we were able to assign a specific profile for 90% of animals. Certainty levels ranged from 63 to 100% for all types. However, 10% of animals showed high individual variability of milk flow pattern and so could not be assigned to any type (Fig. 3).

Cortisol level

Since milk removal can easily be disturbed in dromedary camels, cortisol levels were determined for animals around machine milking time to look at a possible stress that could explain changes in milk flow pattern (Fig. 4). Basal concentration of cortisol remained low during milking (9·6 ± 2·8 ng/ml) in normal conditions, whereas when some animals were clearly disturbed (cry, grumbling, agitation, kicking. . .), cortisol level was already elevated and remained high (47·1 ± 7·8 ng/ml) during milking and slowly decreased after milk removal ceased. Neverthess, we did not record any significant difference in mean cortisol levels between milk flow pattern groups or stage of lactation.

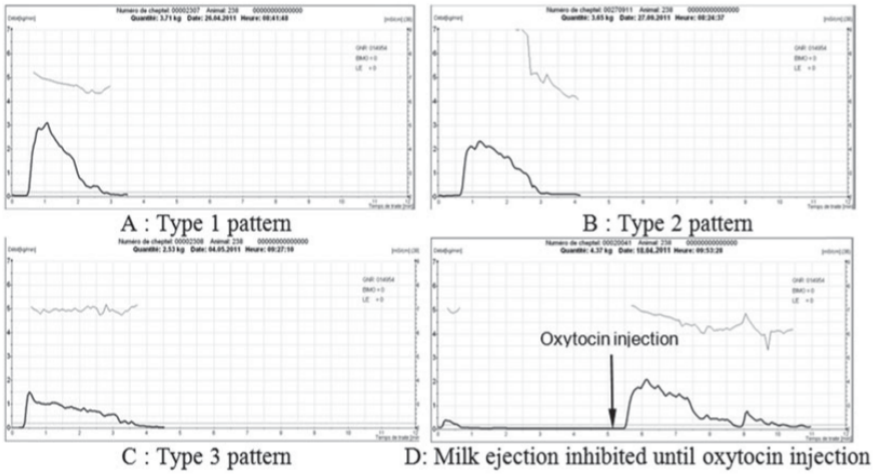

Fig. 3. Changing type of milk flow kinetics in the same animal.

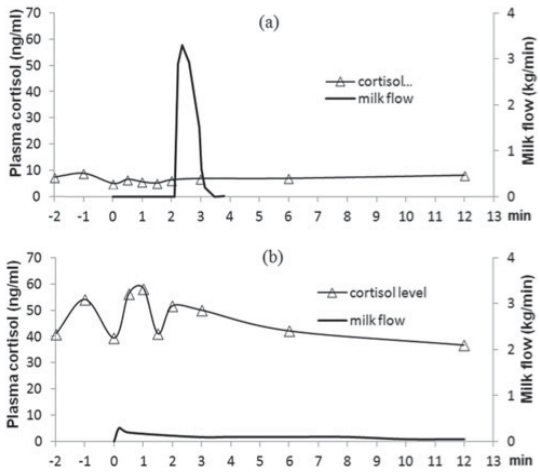

Fig. 4. Plasma cortisol level during normal (a) and disturbed (b) milk ejection in one representative animal.

Cisternal milk

In the camels measured for milk repartition, the ratio cisternal/total milk averaged 3·8 ± 0·5%, range 0·3–6·5%. Cisternal milk fraction averaged 230 ± 40 ml, range 14–530 ml. The ratio cisternal/total milk was higher ($P < 0·05$) in early and mid lactation compared with late lactation (4·7 ± 0·4%, 4·9 ± 0·9% and 1·7 ± 0·3%, respectively).

Bimodality

Bimodal curves occurred in 41·9% of total recorded milk flow patterns independent of milk flow type. Bimodality results from initial emptying of milk that has been drained into the teat and gland cisterns in the inter-milking period followed by a second milk emission of alveolar milk discharged during milk ejection reflex (Fig. 5).

Machine milk yield was higher ($P < 0·0001$) for animals with bimodal milk emission curves compared with animals with unimodal curves (4·09 ± 1·01 kg vs. 2·97 ± 1·03 kg, respectively). The effect of lactation stage on bimodality is shown in Table 2.

The effect of bimodality on milk yield was more significant in mid and late lactation (3·31 ± 1·06 vs. 4·40 ± 1·20 kg and 2·59 ± 0·86 vs. 3·77 ± 1·26 kg, respectively). Seventy per cent of milk ejection curves were bimodal in early lactation, against only 8·9% in late lactation.

Discussion

One of the explanations of the different milk flow patterns between types 1 and 2 between camels could be teat characteristics. Type 1 could have lower teat sphincter resistance and/or a larger streak canal diameter when totally opened, allowing an easy, rapid and continuous emptying of the udder. Conversely, type2 curves could include dams with some anatomical particularities such as narrow teat canals and/or a greater resistance of the teat sphincter (Marnet et al. 1999; Weiss et al. 2004). In type 2 milk flow kinetics, the fluctuations of milk flow recorded are probably caused by acyclic fluctuations of vacuum level due to inappropriate teat cup to teat shape.

Milk flow patterns described in this work are close to milk flow kinetics reported for dairy buffaloes by Boselli et al. (2010) and Caria et al. (2012). In fact, she-camel and buffalo cow have many similarities such as a restricted cistern size and close milk yield (4·9 ± 0·8% of total milk and 3·40 ± 0·88 kg/ milking; Thomas et al. 2004). Boselli et al. (2010) found that differences between milk flow patterns in

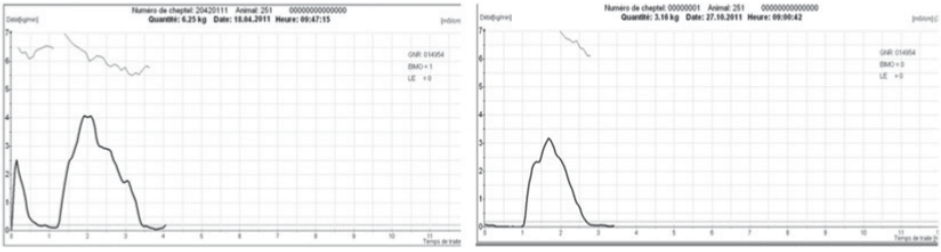

Fig. 5. Bimodal and unimodal milk flow curves for the same camel at middle (April) and end (end of October) stage of lactation.

Table 2. Influence of lactation stage on occurrence (%) of bimodality

Lactation stage	*n*	Normal	Bimodal
Early, 4–5 months of lactation	30	30·0	70·0
Mid, 6–10 months of lactation	49	44·9	55·1
Late, 11–15 months of lactation	45	91·1	8·9

$\chi^2 = 33{\cdot}37$, $P < 0{\cdot}0001$

dairy buffaloes are basically associated with streak canal length and teat diameter. They reported an overall mean for teat canal length of 19·1; 21·4 and 39·1 mm for type 1, type 2 and type 3 curves, respectively. Likewise, differences between the three types of profiles we described between camels, could be related to differences in teat anatomy.

Nevertheless, we have also measured that an average of 1·02 min after teat-cup attachment was needed to observe milk ejection in our camels. This lag-time is similar to lag-time recorded in cattle that ranges from 1 to 2 min and depends on the degree of udder filling i.e. of the intramammary pressure, which in turn, depends on the interval between milkings and the stage of lactation (Bruckmaier & Hilger, 2001). In buffaloes, milk ejection may require more time and effort, up to 3 min of tactile stimulation, which is rarely performed (Borghese et al. 2007; Caria et al. 2012). Finally, if streak canal diameter remains a possible explanation for different types of milk flow curves, these data seem to exclude a difference of teat sphincter resistance as the main explanation of different flow pattern between our camels.

A second possible explanation of the different milk flow pattern, both between camels and within the same camel between milkings all along lactation, could be differences in the occurrence or efficiency of milk ejection reflex. With the highest milking duration and the lowest milk flow and yield, animals of type 3 can be considered as the least suitable to machine milking. In fact, this group included the first milkings of 3 camels probably still not well adapted to milking and with possible reduced milk ejection reflex as described for some dairy ewes by Négrao & Marnet (2003). Animals of type 3 could also have greater sensitivity to stressful milking or environmental factors because some of them showed external signs of anxiety or discomfort (high bleats, agitation. . .). Furthermore, easily disturbed animals of types 1 and 2 could sometimes show type 3 patterns when exposed to environmental modifications (strange persons, unusual sounds during milking. . .) and may even inhibit partially or block totally milk let down until large exogenous oxytocin doses injection may reverse blockade (Fig. 3c, d). Our results for mean cortisol concentration in blood around milking showed not significant difference between groups but we observed that one camel, with clear signs of a high stress level, was systematically associated with a very high level of cortisol before as well as during milking, and was always classified in type 3 group. Bruckmaier et al. (1996) also reported that emotional stress causes inhibition or delayed milking-related oxytocin release in dairy cows. Even if cortisol itself is not able to inhibit directly the milk ejection reflex as shown by Mayer & Lefcourt (1987), it is probable that so high chronic levels of cortisol could be able to feed back negatively to the hypophysis to answer to an ACTH challenge. That could be a bad predictor of the milking ability of animals, because animals with a greater adrenal sensitivity to ACTH had less pronounced inhibition of milk ejection as a consequence of the greater oxytocin release (Macuhova et al. 2002).

Ninety per cent of our camels were assigned to a specific milk flow pattern. Marnet et al. (2001) stated that the repeatability, i.e. correlation between the successive measurements of an animal, of milk flow traits in dairy goats is a characteristic of animals.

Our results for milk partitioning showed a lower cisternal ratio than those found by Caja et al. (2011) for manually milked animals in stressful surroundings (7%) but confirmed the extremely small volume of milk available in the udder if milk ejection did not occur. According to this result, it is clear that even in type 3 camels, we obtained alveolar milk assuming that oxytocin was released during all the tested milkings including type 3 animals. Thus, in the type 3 case, it is possible that we found animals in which oxytocin released by milking stimulation could not reach sufficiently the udder because of a reduced blood flow due to the vasoconstrictive action of adrenaline secreted by the adrenal medulla when animals are stressed (Gorewit & Aromando, 1985). This reduction of oxytocin arrival onto myoepithelial cells could decrease synchronous contraction of myo-epithelium in the entire udder, which could reduce intramammary pressure rise and the resulting milk ejection force and milk flow.

The last possible explanation for the intra-animal variability of milk flow pattern could be a sub-optimal cluster adaptation to udder and teats and also to machine settings. Even though we had already tested the best machine settings for our camels (Atigui et al. 2011) and discarded animals with badly shaped udders, we used non-specific liners and cups and, in some cases, the liner mouthpiece had difficulties in fitting well with the teats and limiting air entry and vacuum fluctuations under the teats. It is probable that with the increasing number of camels being milked, we could soon find more suitable material on the market.

What about the global milkability of our dromedary camels? For our she-camels we recorded an overall of average and peak milk flow of a good level (1·15 and 2·46 kg/min, respectively). It is quite good when compared with Sandrucci et al. (2007) who recorded 3·8 kg/min as maximum milk flow rate for high producing cows, McKusick et al. (2000) and Billon et al. (1999) who recorded 1·24 and 1·28 kg/min as maximum milk flow rate respectively for east Friesian dairy ewes and for French dairy goats, and Boselli et al. (2010) in buffaloes, who recorded an average and peak milk flow of 0·86 and 1·36 kg/min, respectively. All theses results are not fully comparable because we have to keep in mind that the settings of machine milking can affect the milk flow traits recorded by lactocorder as recently shown in buffaloes (Caria et al. 2012). These authors reported milk flow traits in buffaloes using a 49 kPa vacuum level, similar to the vacuum level applied in our study (48 kPa). They recorded 0·91 and 1·41 kg/min for average milk flow and peak milk flow, respectively, which confirm that milk flow traits of our camels in our conditions of milking are better than for buffaloes.

Thus, despite our limited knowledge about the best machine milking equipment and settings and about needs of camels for prestimulation compared with other dairy animals, camels milked under our conditions seem to have a good suitability to machine milking. Hence it is possible that some type 2 animals might turn into type 1 if, with a better stimulation, intramammary pressure increases significantly and they become able to increase milk flow rate.

As reported in Table 1, type 1 animals had the highest milk yield and the best milk flow traits, suggesting that selection on 'milkability' traits should also improve the overall milk yield of the herd. Machine stripping yield was minimal for all milk flow profile types, giving clear evidence of a proper and complete udder empting which confirms the occurrence of the milk ejection reflex for all milk flow profile types. In the same way, the negative correlation detected between lag-time and average and peak milk flow confirms the difference in milk ejection efficiency, which might partly explain differences in milk flow profiles.

However, milking characteristics registered during this study showed high variability among animals. For instance, peak milk flow ranged from 1·85 to 5·27 kg/min between animals on the same day in mid lactation, which suggests that a selection on this basis could be carried out in the future.

In dairy cows, bimodality shows delayed milk ejection occurrence once the cisternal milk fraction is detected when the milk flow curve had a flow pattern with two rises separated by a clear drop of milk flow below 0·2 kg/min shortly after the start of milking (Bruckmaier & Blum, 1996; Dzidic et al. 2004). Since camels have very small cisterns and a normally delayed milk ejection reflex, bimodality occurs when the vacuum level provided by machine milking is able to open the teat sphincter and empty the cistern before the milk ejection takes place. Thus, for the same animal, bimodality is also associated with the amount of milk available in the udder. Obviously, when milk yield is higher, pressure increases in the alveoli and milk is withdrawn to the cistern. Increasing mammary pressure during extended milking intervals (16 h) thus makes easier the opening of teat sphincter and bimodality detection. On the contrary, when curves are not bimodal, it might be due to the absence or very limited cisternal milk volume.

In dairy buffaloes, Borghese et al. (2007) reported that bimodal curves are most common in high-producing animals. Likewise, our statistical analysis showed that machine milk yield is significantly higher for animals with bimodal curves of milk emission. This is due to the reduction of the cisternal milk fraction as lactation progresses and to a low level of udder filling. In fact, we found that the cisternal milk fraction decreased during lactation when applying a 16-h milking interval. Bruckmaier & Hilger (2001) reported also a decrease of intramammary pressure towards late lactation in dairy cows.

The occurrence of bimodal curves suggests the importance of udder pre-stimulation for dromedary camels. As has been proved for species with small cisternal cavities, such as buffaloes (Ambord et al. 2010) and cows (Rasmussen et al. 1992; Bruckmaier & Hilger, 2001), udder pre-stimulation is needed to ensure a higher milk flow rate, faster milking and to reduce occurrence of bimodal curves and should be proposed for dairy camels for better milking efficiency. Because feeding concentrate is well known to help induce milk ejection and facilitate entry of the animals into a good milking routine (Samuelsson et al. 1993; Bruckmaier & Wellnitz, 2007), such a management tool needs to be tested along with improved udder pre-stimulation as already made for buffaloes (Shahid et al. 2012).

This study suggests that type 1 and type 2 animals show good machine 'milkability' performance even without any special treatments during milking. Conditioning and improving machine milking equipment and settings, teat pre-stimulation and cluster attachment after milk ejection occurrence could rapidly improve milking efficiency of dairy camels. Moreover, the presence on the same farm of subjects showing a high variability of 'milkability' traits, led to the assumption that a real selection on this basis must be carried out.

This work was carried out in collaboration between Arid Lands Institute (IRESA, Tunisia) and AGROCAMPUS OUEST-INRA (France). The authors would like to thank the Tunisian and French

Authorities for financial support, Mr Ahmed Belgacem and Mohamed Dhaoui for their support in data collection assistance and Mr Bechir Saafi and Mr Lassaad Khalfalli for their careful assistance in animal management and Mr Jacques Portanguen for expert hormonal analysis.

References

Agrawal RP, Swami SC, Beniwal R, Kochar DK & Kothari RP 2003 Effect of camel milk on glycemic control, risk factors and diabetes quality of life in type 1 diabetes: a randomized prospective controlled study. *Journal of Camel Practice and Research* **10** 45–50

Ambord S, Stoffel HM & Bruckmaier MR 2010 Teat anatomy affects requirements for udder preparation in Mediterranean buffaloes. *Journal of Dairy Research* **77** 468–473

Atigui M, Hammadi M, Barmat A, Khorchani T & Marnet PG 2011 Effects of vacuum level and pulsation rate on milk flow traits in Tunisian Maghrebi camels (*Camelus dromedarius*). In *Book of Abstracts of the 62nd Annual Meeting of EAAP*, Stavanger, Norway, Vol. 17, p. 298

Ayadi M, Hammadi M, Khorchani T, Barmat A, Atigui M & Caja G 2009 Effects of milking interval and cisternal udder evaluation in Tunisian Maghrebi dairy dromedaries (*Camelus dromedarius* L.). *Journal of Dairy Science* **92** 1452–1459

Bava L, Sandrucci A, Tamburini A & Zucali M 2007 Milk flow traits of buffalo cows in intensive farming systems. *Italian Journal of Animal Science* **6** 500–502

Billon P, Chastin P, Baritaux B, Bouvier F, Ilahi H, Manfredi E & Marnet PG 1999 Milk emission kinetics of goats. In *Milking and Milk Production of Dairy Sheep and Goats*, Vol. 95, pp. 51–58 (Eds N Zervas & F Barillet). Wageningen, Netherlands: EAAP Publication Wageningen Pers

Borghese A, Rasmussen M & Thomas CS 2007 Milking management of dairy buffalo. *Italian Journal of Animal Science* **6** 39–50

Boselli C, Mazzi M, Borghese A, Terzano GM, Giangolini G, Filippetti F, Amatiste S & Rosati R 2010 Milk flow curve and teat anatomy in Mediterranean Italian buffalo cows. *Revista Veterinaria* **21** 576–581

Bruckmaier RM & Blum JW 1996 Simultaneous recording of oxytocin release, milk ejection and milk flow during milking in dairy cows with and without prestimulation. *Journal of Dairy Research* **63** 201–208

Bruckmaier RM & Blum JW 1998 Oxytocin release and milk removal in ruminants. *Journal of Dairy Science* **81** 939–949

Bruckmaier RM & Hilger M 2001 Milk ejection in dairy cows at different degrees of udder filling. *Journal of Dairy Research* **68** 369–337

Bruckmaier RM & Wellnitz O 2007 Induction of milk ejection and milk removal in different production systems. *Journal of Animal Sciences* **86** 15–20

Bruckmaier RM, Schams D & Blum JW 1994 Continuously elevated concentrations of oxytocin during milking are necessary for complete milk removal in dairy cows. *Journal of Dairy Research* **61** 323–334

Bruckmaier RM, Rothenanger E & Blum JW 1995 Milking characteristics in dairy cows of different breeds from different farms and during the course of lactation. *Journal of Animal Breed and Genetics* **12** 293–302

Bruckmaier RM, Pfeilsticker HU & Blum JW 1996 Milk yield, oxytocin and b-endorphin gradually normalize during repeated milking in unfamiliar surroundings. *Journal of Dairy Research* **63** 191–120

Bruckmaier RM, Wellnitz O & Blum JW 1997 Inhibition of milk ejection in cows by oxytocin receptor blockade, α adrenergic receptor stimulation and unfamiliar surroundings. *Journal of Dairy Research* **64** 315–325

Caja G, Salama OA, Fathy A, El-Sayed H & Salama AAK 2011 Milk partitioning and accumulation in the camel udder according to time elapsed after milking. In *Book of Abstracts of the 62nd Annual Meeting of EAAP*, Stavanger, Norway, Vol. 17, p. 363

Caria M, Boselli C, Murgia L, Rosati R & Pazzona A 2012 Effect of vacuum level on milk flow traits in Mediterranean Italian buffalo cow. *Italian Journal of Animal Science* **11** 137–139

Corbet V, Billon P, Allain C, Saunier D & Huneau T 2010 *Recommendations for the Use of LactoCorder. Compte rendu* 001031006. France: Institut de l'élevage, p. 35

Dzidic A 2009 Relationship between udder and milking traits during lactation in Istrian dairy crossbreed ewes. *Italian Journal of Animal Sciences* **8** 154–156

Dzidic A, Macuhova J & Bruckmaier RM 2004 Effects of cleaning duration and water temperature on oxytocin release and milk removal in an automatic milking system. *Journal of Dairy Science* **87** 4163–4169

Gorewit RC & Aromando MC 1985 Mechanisms involved in the adrenalin induced blockade of milk ejection in dairy cattle. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* **180** 340–347

Hammadi M, Atigui M, Ayadi M, Barmat A, Belgacem A, Khaldi G & Khorchani T 2010 Training period and short time effects of machine milking on milk yield and milk composition in Tunisian Maghrebi camels (*Camelus dromedarius*). *Journal of Camel Practice and Research* **17** 1–7

Juhasz J & Nagy P 2008 Challenges in the development of a large-scale milking system for dromedary camels. In *Proceedings of the WBC/ICAR 2008 Satellite Meeting on Camelid Reproduction*, pp. 84–87 (Eds P Nagy, G Huszenicza & J Juhasz). Hungary: Budapest

Knierem U 1991 *The effect of human-animal interactions in the milking parlour on the behaviour, heart-rate and milk yield of dairy cows*. MSc Thesis. Scotland: Univ. Edinburgh

Labussière J 1988 Review of physiological and anatomical factors influencing the milking ability of ewes and the organization of milking. *Livestock Production Science* **18** 253–274

Labussière J & Martinet J 1964 Description of two devices for automatically controlling milk flow during machine milking: first results obtained in sheep. *Annales de Zootechnie* **13** 199–212

Lee DH & Choudhary V 2006 Study on milkability traits in Holstein cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* **19** 309–314

Lyons DM 1989 Individual differences in temperament of dairy goats and the inhibition of milk ejection. *Applied Animal Behaviour Science* **22** 269–282

Macuhova J, Tancin V, Kraetzl WD, Meyer HHD & Bruckmaier RM 2002 Inhibition of oxytocin release during repeated milking in unfamiliar surroundings: The importance of opioids and adrenal cortex sensitivity. *Journal of Dairy Research* **69** 63–73

Marnet PG & McKusick BC 2001 Regulation of milk ejection and milkability in small ruminants. *Livestock Production Science* **70** 125–133

Marnet PG, Combaud JFC & Dano Y 1999 Relationships between characteristic of the teat and mikability in Lacaune ewes. In *Milking and Milk Production of Dairy Sheep and Goats*, Vol. 95, pp. 41–44 (Eds N Zervas & F Barillet). Wageningen, Netherlands: EAAP Publication Wageningen Pers

Marnet PG, Billon P, Da Ponte P, Martin J & Manfredi E 2001 Machine milking ability in goats: genetic variability and physiological basis of milk flow rate. *Rencontres Recherches Ruminants* **8** 321–327

Mayer HK & Lefcourt AM 1987 Failure of cortisol injected prior milking to inhibit milk ejection in dairy cattle. *Journal of Dairy Research* **54** 173–177

Mayer H, Weber F & Segessemann V 1989 A method to record and define milk flow curves of ewe during routine machine milking. In *Proceedings of the Fourth International Symposium on machine milking of small ruminants*. Tel Aviv, Israel, pp. 564–573

McKusick B, Marnet PG, Berger YM & Thomas DL 2000 Preliminary observations on milk flow and udder morphology traits of east friesian crossbred dairy ewes. In *Proceedings of the 6th Great Lakes Dairy sheep Symposium*. Guelph, Ontario, Canada, pp. 101–116

Murray TL, Blache DB & Bencini R 2009 The selection of dairy sheep on calm temperament before milking and its effect on management and milk production. *Small Ruminant Research* **87** 45–49

Négrao JA & Marnet PG 2003 Cortisol, adrenalin, noradrenalin and oxytocin release and milk yield during first milkings in primiparous ewes. *Small Ruminant Research* **67** 69–75

Ovesen E 1972 Milking ability in relation to size and shape of teats. *Animal Production* **15** 251–257

Rasmussen MD, Frimer ES, Galton DM & Petersson LG 1992 The influence of premilking teat preparation and attachment delay on milk yield and milking performance. *Journal of Dairy Science* **75** 2131–2141

Rovaï M, Thomas DL, Berger Y & Caja G 2004. Udder morphology and effects on milk production and ease of milking in dairy sheep. In *Proceeding of the10th annual Great lake dairy sheep symposium*, pp. 79–115

Samuelsson B, Wahlberg E & Svennersten K 1993 The effect of feeding during milking on milk production and milk flow. *Swedish Journal of Agricultural Research* **23** 101–106

Sandrucci A, Tamburini A, Bava L & Zucali M 2007 Factors affecting milk flow traits in dairy cows: results of a field study. *Journal of Dairy Science* **90** 1159–1167

Sboui A, Khorchani T, Djegham M, Agrebi A, Elhatemi H & Belhadj O 2009a Anti-diabetic effect of camel milk in alloxan-induced diabetic dogs: a dose-response experiment. *Animal Physiology and Animal Nutrition* **94** 540–546

Sboui A, Khorchani T, Djegham M & Belhadj O 2009b Comparaison de la composition physicochimique du lait camelin et bovin du Sud tunisien; variation du pH et de l'acidité à différentes températures. *Afrique Science* **05** 93–304

Shahid MQ, Abdullah M, Bhatti JA, Javed K, Babar ME, Jabbar MA & Zahid IA 2012 Machine milking performance of Nili-Ravi buffaloes on different pre-milking stimulation practices. *Journal of Animal and Plant Sciences* **22** (3 Suppl.) 284–287

Tancin V & Bruckmaier RM 2001 Factors affecting milk ejection and removal during milking and suckling of dairy cows. *Veterinarni Medicina – Czech* **46** 108–118

Tancin V, Ipema B, Hogewerf P & Maćuhovà J 2006 Sources of variation in milk flow characteristics at udder and quarter levels. *Journal of Dairy Science* **89** 978–988

Tancin V, Urhincat M, Maćuhovà J & Bruckmaier RM 2007 Effect of pre-stimulation on milk flow pattern and distribution of milk constituents at a quarter level. *Czech Journal of Animal Sciences* **52** 117–121

Thomas CS, Svennersten-Sjaunja K, Bhosrekar MR & Bruckmaier RM 2004 Mammary cisternal size, cisternal milk and milk ejection in Murrah buffaloes. *Journal of Dairy Research* **71** 162–168

Tilki M, Olak M, Ünal P & Aulayan T 2005 Effects of teat shape on milk yield and milking traits in brown swiss cows. *Turkish Journal of Veterinary Animal Science* **29** 275–278

Weiss D, Weinfurtner M & Bruckmaier RM 2004 Teat anatomy and its relationship with quarter and udder milk flow characteristics in dairy cows. *Journal of Dairy Science* **87** 3280–3289

Wellnitz O & Bruckmaier RM 2001 Central and peripheral inhibition of milk ejection. *Livestock production Sciences* **70** 135–140

CHAPITRE 3: Effets du niveau de vide et de la fréquence de pulsation sur l'éjection du lait et les caractéristiques de la courbe du débit de lait chez la chamelle

Ce travail a été accepté pour publication dans "Journal of Tropical Animal Health and Production"

Atigui M., Marnet P.G., Barmat A., Khorchani T., Hammadi M., Effects of vacuum level and pulsation rate on milk ejection and milk flow traits in Tunisian dairy camels (*Camelus dromedarius*). Journal of Tropical Animal Health and Production, DOI: 10.1007/s11250-014-0708-0 (*in press*).

Aperçu sur l'article 4:

Effets du changement du niveau de vide et de la fréquence de pulsation sur l'éjection de lait et la cinétique d'émission du lait chez la chamelle laitière (*Camelus dromedarius*) en Tunisie

Ce travail vise étudier les effets du changement du niveau de vide et de la fréquence de pulsation sur l'éjection du lait, la production laitière et les paramètres de la cinétique d'émission de lait chez la chamelle. Ainsi, 6 chamelles multipares, de race Maghrebi, âgées en moyenne de 12,7 ± 1,2 ans et ayant un poids vifs moyen de 502 ± 8 kg ont été utilisées. Cette expérience a été conduite en fin de lactation alors que les chamelles sont conduites en monotraite. Le protocole expérimental est bas sur un carré latin incomplet permettant de tester les effets d'une combinaison de deux niveaux de vide (38 et 48 kPa) et trois fréquences de pulsation (60, 90 et 120 cpm) sur l'éjection de lait et les paramètres de la cinétique d'émission de lait. Les chamelles ont été préalablement cathéterisées afin de suivre l'évolution du niveau de cortisol au cours de la traite.

Cette expérience a montré que le meilleur réglage machine pour traire la chamelle est un niveau élevé de vide combiné à une fréquence de pulsation basse (48 kPa / 60 cpm). La production laitière, le débit maximum et débit moyen du lait étaient les plus élevés, alors que la durée de traite était la plus courte en utilisant ce réglage (3,05 ± 0,3 kg, 1,52 ± 0,21 kg/min, 2,52 ± 0,21 kg/min et 3,32 ± 0,31 min respectivement). La diminution du niveau de vide prolongeait la durée de traite jusqu'à 2 fois plus et réduisait l'efficacité de l'extraction du lait (1,69 à 2,48 fois moins de lait collecté entre la traite à 48 kPa et 38 kPa) indiquant une vidange incomplète de la mamelle. Ceci suggère une mauvaise interaction avec l'effet stimulant de la pulsation. En effet, à 38 kPa, les pourcentages des chamelles ayant une éjection visible de lait étaient seulement de 67, 33 et 50% respectivement pour les fréquences 60, 90 et 120 cpm. On pouvait s'attendre à quelques effets bénéfiques de la pulsation sur la stimulation de la mamelle comme chez les autres espèces toutefois, dans notre cas, il semble que l'efficacité de la machine à traire à stimuler le reflexe d'éjection de lait dépende plus du niveau de vide que de la pulsation (χ^2 = 6,41 ; P<0,01). D'une façon générale, il est admis que le niveau de vide et le ratio de pulsation qui règle le temps d'application du vide sous les trayons ont une action physique pour maintenir le faisceau en place sur les trayons et drainer le lait de la citerne vers la griffe à lait, tandis que la fréquence de pulsation est plus impliquée dans l'action de massage du faisceau afin d'assurer la décongestion des trayons et la stimulation physiologique de l'animal (Marnet et al, 2013). Dans notre cas, nous émettons l'hypothèse que l'équipement

utilisé dans cette expérience et qui est adapté à la traite de la vache laitière pourrait être à l'origine d'une réponse différente chez la chamelle. En effet, nous avons remarqué une certaines incompatibilité des manchons trayeurs à la morphologie des trayons qui sont trop large et épais pour bien pénétrer dans le manchon lorsqu'ils sont bien tendus en début de traite. Un vide supérieur est alors une solution pour assurer que les trayons soient bien enfoncés dans les gobelets à une profondeur permettant au manchon de mieux les masser et les stimuler (Hamann et Mein, 1990). Wernery et al, (2004) confirment notre observation et rapportent qu'avec un niveau de vide faible, les manchons trayeurs sont généralement attachés à l'extrémité des trayons chez la chamelle. La comparaison des cinétiques d'émission du lait objective montre que la traite à 48 kPa permet une vidange facile, rapide et continue du lait, alors que les courbes obtenues suite à la traite à 38 kPa sont en majorité de type 3. Il semble cependant que même avec un niveau élevé de vide, l'augmentation de la fréquence de pulsation ne soit pas capable d'améliorer la stimulation de l'animal. La chamelle semble donc sur ce point être plus proche de la vache qui préfère la traite à des fréquences faible (55 à 60 cpm) (Federici-Mathieu et Godin, 2002).

Chez tous les autres ruminants, le cortisol est déchargé suite à la stimulation de la traite. La décharge de cortisol chez la chamelle semble en revanche être plus indépendante de la qualité des stimulations liée à la traite mécanique quelqu'en soit le réglage. En effet, on a enregistré une augmentation de niveau de cortisol dans 27% des cas seulement après la traite. Les niveaux de base enregistrés (12,53 ± 1,26 ng/ml) étaient comparables à ceux rapportés par Elias et Weil (1989) lors de l'étude du cycle reproductif de la chamelle. A l'exception d'un seul cas d'une chamelle montrant des signes de stress aigu (agitation, vocalisation, coups de pate…) et qui a présenté un niveau élevé de cortisol allant de 40 à 60 ng/ml tout au long de la cinétique, le niveau de cortisol enregistré avant, durant et après la traite n'a pas varié significativement entre les traitements chez les autres animaux. Ceci suggère que la traite mécanique même avec le réglage le moins adapté n'était pas agressive ou inconfortable pour les autres chamelles mais laisse planer le doute sur la qualité de la stimulation engendré par notre matériel.

Ce travail a montré que la traite de la chamelle à un niveau de vide élevé et une fréquence de pulsation faible (48 kPa, 60 cpm) a permis l'amélioration de l'efficacité de la traite avec cet équipement de traite. La vidange de la mamelle à ce réglage était plus rapide et complète. Des études supplémentaires doivent être menées pour de tester le meilleur réglage avec différents types de faisceaux et gobelets trayeurs afin de déterminer le meilleur équipement et /ou réglage le plus approprié pour traire la chamelle.

Article 4: Effects of vacuum level and pulsation rate on milk ejection and milk flow traits in Tunisian dairy camels (*Camelus dromedarius*)

Trop Anim Health Prod
DOI 10.1007/s11250-014-0708-0

REGULAR ARTICLES

Effects of vacuum level and pulsation rate on milk ejection and milk flow traits in Tunisian dairy camels (*Camelus dromedarius*)

Moufida Atigui · Pierre-Guy Marnet · Ahmed Barmat · Touhami Khorchani · Mohamed Hammadi

Received: 1 August 2014 / Accepted: 8 October 2014
© Springer Science+Business Media Dordrecht 2014

Abstract This work aims to compare the effects of milking at two vacuum levels (38 and 48 kPa) and three pulsation rates (60, 90, and 120 cpm) on milk production and milk flow characteristics. Six multiparous Maghrebi camels in late lactation and once daily milked were used. The best combination of setting for camel's milking was high vacuum and low pulsation rate (48 kPa/60 cpm). Milk yield and average and peak milk flow rate were the highest, while milking time was the shortest using this combination of setting (3.05±0.30 kg, 1.52±0.21 kg/min, 2.52±0.21 kg/min, and 3.32±0.31 min, respectively). Lower vacuum level lengthened milking time by more than 100 % and was not sufficient to extract milk correctly (1.69 to 2.48 times less milk yield harvested), suggesting a negative interaction with the stimulatory effect of pulsation. Higher pulsation rates did not better stimulate the camels and induced more bimodality and lower milk flow rates. Animal characteristics and liner/claw design affect machine milking and further investigations must be carried out to verify their effects and to study long-term effect of high vacuum level on udder health and teat condition.

Keywords Machine milking · Vacuum · Pulsation rate · Camels

M. Atigui (✉) · A. Barmat · T. Khorchani · M. Hammadi
Livestock and Wildlife Laboratory, Arid Lands Institute, University of Gabès, 4119 Médenine, Tunisia
e-mail: atigui009@gmail.com

M. Atigui · P.-G. Marnet
Agrocampus Ouest, UMR1348 PEGASE, 35042 Rennes, France

M. Atigui · P.-G. Marnet
INRA, UMR1348 PEGASE, 35042 Rennes, France

M. Atigui
Institut National Agronomique de Tunis, Université de Carthage, 43 Av. Charles Nicole, 1082 Mahrajène, Tunisia

Published online: 28 October 2014

Introduction

Hand milking is the main practice used by herdsmen worldwide to milk camels. Manual milking is usually preceded by suckling of the calf to induce milk ejection (Yagil et al. 1999; Eiso 2012). However, as a result of the increasing interest in camel's milk for human nutrition, many intensive dairy camel's farms have been recently created to meet the increasing demand and guarantee a better and constant milk quantity and quality for urban markets. Most of these farms use machine milking. Since camels and cows have apparent close udder morphology, the technology used for dairy cattle are usually employed for camels (Wernery et al. 2004; Hammadi et al. 2010; Ayadi et al. 2012).

In dairy cows, faulty design of the claw and improper setting of machine milking can cause increasing levels of somatic cell count and intramammary infections by altering the local defense mechanisms of teats and udders against pathogen agents (Hamann et al. 1993). Lowering the milking vacuum level is a way to reduce aggression of teat tissue. Nevertheless, a too low vacuum could be counterproductive and could result in a longer milking time and a higher frequency of the teat cups slipping and falling off (Spencer and Rogers 1991) that could be deleterious for udder health. On the contrary, higher vacuum shortened milking process by increasing milk flow in cluster and tubes but can induce injury (petechial hemorrhages, teat sphincter eversion, ...) and even reduce milk flow at the end of milking because of teat tissue edema (Hamann and Mein 1990) and liner climbing that can also increase stripping milk by closing the cricoid ring (Mein et al. 1973).

An increase in pulsation rate from 90 to 180 cpm could minimize physical effect of vacuum by massaging and draining tissue of the teat in dairy ewes (Marnet et al. 1996). But main effects of pulsation rate are physiological by stimulating the neuroendocrine reflex of milk ejection and release of

other galactopoietic hormones (prolactin, cortisol…) (Marnet 2013). Therefore, in cows, some researchers stated that udder health status could be negatively affected by pulsation rates over 75 cpm (Walsh and Nyhan 1969) or lower than 55 cpm (Osteras et al. 1995).

Although many works studied the effect of different settings of milking machine for conventional dairy animals, there is no study specifically designed to test machine milking settings and material design for dairy camels. Therefore, the effective vacuum level and pulsation rate should be accurately chosen considering the differences in teat morphology, cistern size, and milk ejection traits. As a first step in this domain, this study aims to compare the effects of high and low vacuum levels combined with different pulsation rates on milk production and milk flow characteristics in dairy camels.

Materials and methods

Animals

This study was carried out in the experimental farm of the Arid Lands Institute (IRA, Chenchou, Tunisia). Six multiparous Maghrebi dairy camels (12.7 ± 1.2 years of age; 502 ± 8 kg body weight) in late lactation were used. Camels were kept in loose housing barn and daily ration per animal consisted of a forage mixture of 10 kg of alfalfa hay and 6 kg of fresh alfalfa, supplemented with 2 kg of concentrate. Animals had free access to water.

Milking routine, materials, and settings

Camels were machine milked once a day in a restraining stall using a portable milking machine (Model AM/T115, Agromilk, 42020S.Polo d'Enza (Reggio Emilia), Italy), equipped with a pneumatic pulsator with manual setting available. DeLaval Clusters were used (milking claw: 00100349 S/S Alfa/Laval type 180 cc for cows; Rubber liners: 91000301: length 320 mm, diameter of mouthpiece of 25 mm). The milking routine included a less then 10-s teat washing and drying, machine milking, machine stripping, and teat dipping. During the experiment, two vacuum levels (38 and 48 kPa) combined with three pulsation rates (60, 90, and 120 cpm) were tested. Six animals were randomly assigned to each treatment in a 6 × 6 Latin square design (six milking/treatment).

Milk flow traits

Time to milk ejection occurrence (from milking cluster attachment until visually milk ejection occurrence when teat suddenly swell) was recorded. Milk flow was continuously recorded during milking using an electronic milk flow meter (Lactocorder®, WMB AG, Balgach, Switzerland), especially calibrated to low milk flow rates (<0.05 kg/min—goat calibration). The following milking parameters were directly recorded from the milking curves: lag time (time between the attachment of teat cup and first recording of milk flow), total milking duration (from the attachment of the clusters until their removal or when milk ejection was inhibited, clusters were removed 12 min after teat cup attachment), effective machine milking duration (time for main milk fraction recovery), machine milk yield, PFR (kg/min): means peak flow rate recorded during 22 s of the main milking phase, AFR (kg/min): average flow rate during all the main machine milking phase, and bimodality (two observed succeeding milk emissions with the first one occurring between cluster attachment and 1 min). We did not use the bimodality detection by Lactocorder® because Lactopro® software is not adapted for this diagnosis in camels.

Milk flow curves were evaluated, and a type score was attributed for all milk kinetic curves, according to Atigui et al. (2014). Type 1 milk kinetic curves were characterized by sharp peak flow curve with a continuous increase in the milk flow followed by a declining phase without going through a plateau phase. Type 2 was characterized by milk flow curves with intermediate milk flow rate and a significant plateau phase. Finally, type 3 milk flow curves were characterized by a low milk flow rate and a longer milking duration.

Hormonal assay

For cortisol levels monitoring, an intravenous catheter was fitted in the jugular vein of camels some days prior to sampling to avoid perturbation of camels and facilitate serial sample collection. Venous blood samples were collected during all the episodes of milking of 1 day. Blood was collected at −2, −1, 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 6, and 12 min (relative to attachment of teat cups) into heparinized tubes previously cooled in crushed ice and kept at 4 °C following collection. The tubes were centrifuged at 3000 rpm for 15 min at 4 °C and the plasma removed and stored at −20 °C until the time of assay. Plasma cortisol was measured by a competitive EIA. Briefly, 100 µl of plasma was mixed with 1 ml of ethanol to stimulate protein precipitation. The supernatant (250 µl) was transferred to another tube and then dried in a vacuum centrifugal evaporator (Speed-vac). Samples were reconstituted in 200 µl of EIA buffer (Marnet et al. 1994) and 50 µl was used for the determination of cortisol. For cortisol assay, B/Bo at 50 % (E.D.50) was 1 ng/ml. The intra-assay CV ranged from 24 % (0.1 ng/ml) to 9 % (1.6 ng/ml). The inter-assay CV ranged from 8 % (25 ng/ml) to 5 % (1.6 ng/ml). Basal (before milking) and maximum levels during the 12 min after the teat cup attachment were studied.

Statistical analyses

Statistical analyses were carried out using GLM procedure of SAS program (SAS version 9.0, SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA). The model included the general mean and the fixed effects of vacuum level (48 and 38 kPa) and pulsation rate (60, 90, and 120 cpm), their interactions, and the residual error. Differences between means were determined with the Duncan test, and results are presented as means ± SE. The χ^2 test was used to evaluate group differences of bimodality trait, milk ejection occurrence, and milk flow curve type frequencies and to test the effects of vacuum level and pulsation rate separately on milk ejection occurrence. Significance was declared as $P<0.05$.

Results

Effect of vacuum level

High vacuum level (48 kPa) was able to extract significantly more milk than low vacuum level (38 kPa) (Table 1). Milk yield ranged between 2.58±0.51 and 3.05±0.30 kg when camels were milked at 48 kPa, while the highest milk yield recorded for low vacuum level was 1.70±0.42 kg at 38 kPa. Lag time did not differ between the two vacuum levels. However, the vacuum level affected both AFR and PFR. At low vacuum level, overall AFR and PFR recorded 0.55±0.10 and 1.06±0.17 kg/min, respectively, while at high vacuum level, overall values reached 1.24±0.16 and 2.38±0.29 kg/min, respectively, for AFR and PFR.

The milk emission kinetic patterns differed between vacuum levels (Table 2). Fifty to 100 % of milk flow curves were classed as type 1 at 48 kPa against none at 38 kPa, while most of the curves were classed as type 3 at 38 kPa against 16.7 % maximum at 48 kPa. Ninety percent of animal had visual signs of milk ejection occurrence at 48 kPa against only 50 % at 38 kPa.

Effect of pulsation

At low vacuum level, milk ejection occurred only for 33.3 and 50.0 % of the animals at, respectively, 90 and 120 cpm against 66.7 % at 60 cpm. The same effect appeared at high vacuum level with only 83.3 % of milk ejection induced at 90 and 120 cpm against 100 % at 60 cpm. Udder emptying took also significantly more time with higher pulsation rate, especially at low vacuum level and total milking duration increased by 93.6 % when camels were milked at 38 kPa/120 cpm compared to 38 kPa/60 cpm. Regardless of vacuum level effect, pulsation rate had no significant effect on milk yield, AFR, and PFR under the conditions of this experiment.

Cortisol level

Basal levels (12.53±1.26 ng/ml) and levels measured during milking (at 0.5, 1, 1.5, 2, 3, and 6 min) were not significantly different. However, cortisol level increased significantly to 17.56±1.59 ng/ml at 12 min after the beginning of milking (Fig. 1). Nevertheless, the levels of cortisol released during and after milking were not influenced by the setting of the machine milking (Fig. 2).

Discussion

The current study represents a first step to determine the appropriate settings that could meet the specific needs of dairy dromedary camels. Most camels gave their milk easily with significantly higher AFR and PFR when they were milked at 48 kPa. However, at lower levels of vacuum, the udder seems

Table 1 Milk flow traits at different levels of vacuum and pulsation in dairy camels[a]

Vacuum level (kPa)	38 (Low)			48 (High)			
Pulsation rate (cpm)	60	90	120	60	90	120	*P* value
Machine milk yield (kg)	1.70±0.42bc	1.21±0.41c	1.45±0.48c	3.05±0.30a	3.02±0.72a	2.58±0.51ab	0.004
Lag time (min)	0.86±0.32	0.69±0.38	0.44±0.22	0.87±0.28	0.72±0.28	0.91±0.24	0.163
Total milking duration (min)	3.82±0.53b	5.04±0.74ab	6.43±1.04a	3.32±0.31b	4.80±0.36ab	4.25±0.98ab	0.041
Main milking duration (min)	2.12±0.41	2.03±0.61	3.12±0.19	2.01±0.26	2.74±0.71	2.25±0.93	0.505
PFR (kg/min)	1.39±0.14bc	0.95±0.33c	0.87±0.23c	2.67±0.32a	2.25±0.48ab	2.34±0.6ab	0.018
AFR (kg/min)	0.76±0.17bc	0.44±0.19c	0.45±0.13c	1.52±0.21a	1.00±0.31abc	1.22±0.30ab	0.011

[a] Means in the same line with different superscript letter were significantly different ($P<0.05$)

PFR peak flow rate, *AFR* average flow rate

Table 2 Milk flow pattern, bimodality, and milk ejection occurrence at different levels of vacuum and pulsation in dairy camels

	Vacuum level (kPa)							
	38 (Low)			48 (High)				
Pulsation rate (cpm)	60	90	120	60	90	120	χ^2	*P* value
Type 1 (%)	0.00	0.00	0.00	100.00	66.67	50.00	–	–
Type 2 (%)	50.00	16.67	33.33	0.00	16.67	33.00	–	–
Type 3 (%)	50.00	83.33	66.67	0.00	16.67	16.67	–	–
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	21.14	<0.001
Bimodality (%)	25.00	0.00	33.33	16.67	40.00	20.00	1.69	0.889
Milk ejection (%)	66.67	33.33	50.00	100.00	83.33	83.33	9.41	0.090

to be not completely emptied with a significant reduction of milk harvested (−40 to −56 % of milk depending of the pulsation rate) and a reduction of clear milk ejection (teat swelling). Such effect could be explained by a very tight and resistant teat sphincter, as reported in dairy buffaloes which require a higher vacuum level to overcome the greater resistance of the teat sphincter (Carta et al. 2011). Nevertheless, it seems not the case here because the lag time between teat cup attachment and the first emission of milk is very short and did not differ between the two vacuum levels (between 30 and 55 s). More probably, such a reduction could be explained by a lack of stimulation or inhibition of the milk ejection reflex. Indeed, milk ejection occurred only for third to half of our animals at, respectively, 90 and 120 cpm and 38 kPa.

Unexpectedly, efficiency of the milking machine to stimulate the udder in our camels turn out to be more vacuum level dependent (χ^2=6.41; *P*<0.01) rather than pulsation rate dependent. Generally, vacuum level and ratio of pulsation that regulate the time of vacuum applied to the teats act mainly on udder and teats by a physical way to maintain cluster and drain milk through the claw to the milk line. Pulsation rate is more implied in the massaging action of the liner during pulsation cycle to regulate teat decongestion and physiological stimulation of animals (Marnet 2013). In our case, one explanation could be that our milking machine and cluster fitted for dairy cows are not adapted to camel's morphology and require higher vacuum level to ensure that teats are embedded into the teat cups at the appropriate depth to benefit of a better stimulation and massaging. Indeed, with low level of vacuum, liners are often attached at the teat's extremities as reported by Wernery et al. (2004) and massage/stimulation of the teat might be insufficient (Hamann and Mein 1990). We have also verified that our camel's teats measurements (4.02±0.18 and 4.24±0.20 cm, respectively, for front and rear teats diameter) were really larger than in cows. In their work on Arabic camel breed, Ayadi et al. (2013) do not describe problems with milk ejection. Nevertheless, they reported only 2.94±0.20 and 2.99 ±0.21 cm, respectively, for front and rear teats diameter that is closer to cow measurements (around 2.5 cm in Holstein cows, Zwertvaegher et al. 2012). Finally, these results strongly argue for a better adaption of liners to different camel's teat morphology in the future with eventual differences between rear and front liners to better adapt to specificities of camel's udder disequilibrium in size and morphology.

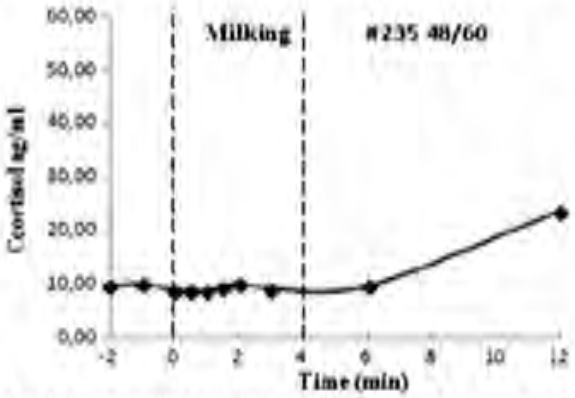

Fig. 1 Plasma cortisol profile before, during, and after milking in a representative camel. The *vertical dotted lines* indicate the beginning and the end of milking period

Mean time for milk ejection occurrence for all our camels was 1.34±0.06 min. It is shorter than the findings of Wernery et al. (2004) (2.05±1.41 min) but longer than those of Atigui et al. (2014) (about 1 min) when camels were machine-milked throughout lactation with the best settings. If the difference with the first reference could be explained by different machine setting, cluster design, and camels breed, the difference with the second one using the same breed and milking machine could be explained by the stage of lactation. In this situation, in cow, the delay for milk ejection occurrence also depends on the degree of udder filling (Bruckmaier et al. 1994) throughout lactation. In our trial, at low udder filling, milk ejection can occur as late as 3 min after the start of milking. Mayer et al. (1991) reported that as lactation progress, release of oxytocin at the start of milking is not reduced or delayed. Delayed milk ejection is obviously due to a delayed response to oxytocin at the level of mammary gland

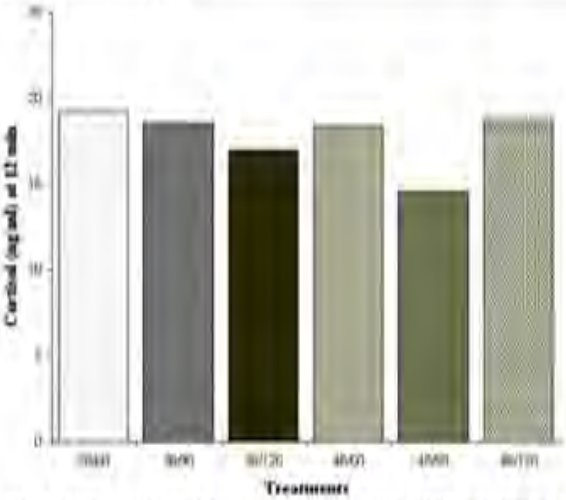

Fig. 2 Maximum cortisol concentrations at 12 min in different levels of vacuum and pulsation in dairy camels

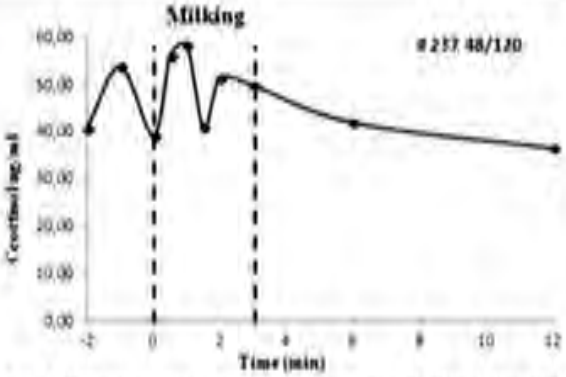

Fig. 3 Plasma cortisol profile before, during, and after a disturbed milking in a stressed camel. The *vertical dotted lines* indicate the beginning and the end of milking period

since much more myoepithelial contraction is needed to expel milk from an incompletely filled alveolus than from a completely filled one (Bruckmaier and Hilger 2001).

Comparison of milk flow curves showed that milking at high vacuum level allowed an easy, rapid, and continuous emptying of the udder, while milk flow curves at lower vacuum level were characterized by low milk flow rate and a longer milking duration. The higher milk flow could be explained by a higher intramammary pressure due to better stimulation of the camel at this setting. Atigui et al. (2014) already reported similar values for AFR and PFR (1.15 and 2.46 kg/min, respectively) for dairy camels milked with close machine setting (48 kPa, 80 cpm). These results are similar to those obtained in other species and objectively due to the physical power of vacuum levels to open teat sphincter and drain milk from teats to milk line. In cows, Rasmussen and Madsen (2000) showed that milking at 48 kPa compared with 38 kPa for a high-level milking system increased milk yield and milk flow rate and decreased machine-on time. In buffaloes, Caria et al. (2012) showed that vacuum level did not significantly affect the individual milk production per milking, whereas lower vacuum level resulted in a decrease in AFR and PFR and an increase in effective milking time. In dairy goat, higher vacuum levels increased AFR and PFR, decreased milking time, and elevated somatic cell counts (Lu et al. 1991).

At low vacuum level, most milk flow curves were classed as type 3 and milk ejection occurred only in 50 % of animals. Atigui et al. (2014) reported that animals having normally type 1 and 2 milk flow curves could sometimes show type 3 patterns when exposed to environmental stressful modifications able to provoke partial inhibition of milk ejection.

High pulsation rates seem unable to improve udder stimulation as well with low as higher vacuum. On the contrary to ewes (Peris et al. 2003) and goats (Lu et al. 1991) where higher pulsation rates better stimulate milk ejection reflex, better massage teats, and improve milking efficiency, camels seem to behave as a cow-like animals and prefer to be milked with low pulsation rate.

Unlike what have been reported in ewes (Marnet and Negrao 2000) and in cows (Negrao and Marnet 2006), cortisol discharges seem to be unrelated to the machine-milking stimulation in camels, even when milked with the best settings. In fact, only 27 % of camels had elevated levels of cortisol after milking (Fig. 1). Basal levels of cortisol (about 10 ng/ml) in our camels were higher than those reported for cattle (<3 ng/ml, Negrao and Marnet 2006) or in dairy ewes (<7 ng/ml, Marnet and Negrao 2000). Nevertheless, Elias and Weil (1989) reported similar basal levels about 10 ng/ml in camels. They also described peak releases of about 45 ng/ml during natural mating stimulation and even 60 ng/ml immediately postpartum. Only one really stressed animal, with clear signs of fearfulness (agitation, groaning, kicking, liquid feces emissions…) showed such higher levels of cortisol between 40 and 60 ng/ml (Fig. 3). Thus, the levels reached in our experiment suggest that even milking at the less suitable settings (low vacuum and high pulsation) was never uncomfortable and aggressive for the other camels (Fig. 2).

Conclusion

In conclusion, our study showed that milking our Maghrebi camels at high vacuum level and low pulsation rate (48 kPa/60 cpm) improved milking efficiency with the milking equipment used during this experiment. Camels were well stimulated at this setting, udder empting took significantly less time, and milk yield was significantly higher. Further studies must be carried out to test the effect of changing machine-milking

Author's personal copy

setting with different types of clusters and liner in order to determine the best suitable equipment and/or settings to milk camels as well as the effect of such a high vacuum level on udder health and teat condition in a long-term study.

Acknowledgments This work was carried out in collaboration between Arid Lands Institute (IRESA, Tunisia) and Agrocampus Ouest-INRA (France). Authors would like to thank the Tunisian and French Authorities for the financial support, Mr Faouzi Souissi and AGRI-MED SERVICES technical personel for thier assistance to machine setting, Mr. Bechir Saafi for his careful assistance to animal management, and Mr. Jacques Portanguen for expert hormonal analysis.

Disclosure This document was partially funded by the European Union through the PROCAMED Project: Promotion des systemes camelins innovants et des filières locales pour une gestion durable des territoires sahariens: reference number. IB/1.1/493. The contents of this document are the sole responsibility of the authors and can under no circumstances be regarded as reflecting the position of the European Union.

Conflict of interest The authors declare that they have no conflicts of interest.

References

Atigui, M., Hammadi, M., Barmat, A., Farhat, M., Khorchani, T. and Mamet, P.G., 2014. First description of milk flow traits in Tunisian dairy dromedary camels under intensive farming system, Journal of Dairy Research, 81, 173–182

Ayadi, M., Aljumaah, R. S., Musaad, A., Samara, E. M., Abelrahman, M. M., Alshaikh, M. A., Saleh, S. K. and Faye, B., 2013. Relationship between udder morphology traits, alveolar and cisternal milk compartments and machine milking performances of dairy camels (*Camelus dromedarius*), Spanish Journal of Agricultural Research, 1, 790–797

Bruckmaier, R.M., and Hilger, M., 2001. Milk ejection in dairy cows at different degrees of udder filling, Journal of Dairy Research, 68, 369–376

Bruckmaier, R.M., Schams, D., and Blum, J.W., 1994. Continuously elevated concentrations of oxytocin during milking are necessary for complete milk removal in dairy cows, Journal of Dairy Research, 61, 323–334

Caria, M., Boselli, C., Murgia, L., Rosati, R. and Pazzona, A., 2012. Effect of vacuum level on milk flow traits in Mediterranean Italian buffalo cow, Italian Journal of Animal Science, 11, 137–139

Caria, M., Murgia, L., and Pazzona, A., 2011. Effects of the working vacuum level on mechanical milking of buffalo, Journal of Dairy Science, 94, 1755–1761

Eisa, M.O., 2012. Udder Conformation and Milkabilty of She-Camel (*Camelus dromedarius*) in El-Showak, Eastern Sudan. Published by Lambert Academic Publishing (LAP), Germany. 90 p.

Elias, E. and Weil, S., 1989. Serum cortisol levels in camels (*Camelus dromedarius*) during the reproductive cycle, Comparative Biochemistry Philology, 94, 787–790

Hamann, J. and Mein, G. A., 1990. Measurement of machine-induced changes in thickness of the bovine teat, Journal of Dairy Research, 57, 495–505

Hamann, J. Mein, G.A. and Wetzel, S., 1993. Teat Tissue Reactions to milking – effects of vacuum level, Journal of Dairy Science, 76, 1040–1046

Hammadi, M., Atigui, M., Ayadi, M., Barmat, A., Belgacem, A., Khaldi, G. and Khorchani, T., 2010. Training period and short time effects of machine milking on milk yield and milk composition in Tunisian Maghrebi camels (*Camelus dromedarius* L.), Journal of Camel Practice and Research, 17, 1–7

Lu, C.D., Potchoiba, M.J. and Loetz, E.R., 1991. Influence of vacuum level, pulsation ratio and rate on milking performance and udder health in dairy goats, Small Ruminant Research, 5, 1–8

Marnet, P.G., 2013. Milking procedures and facilities. In: Milk and dairy product in human nutrition: production composition and health. Ed. Young W. Park and George F.W. Haenlein. Published 2013 by John Wiley & Sons, Ldt.

Marnet, P.G., Combaud, J.F., Le Du, J., Dano, Y., 1996. Effect of pulsation rate and vacuum level on oxytocin release, milk parameters and teat end reaction. Proceedings of Symposium on Milk Synthesis, Secretion and Removal in Ruminants, Berne, Switzerland, April 26–27 (1996), p. 114

Marnet, P.G. and Negrao, J.A., 2000. The effect of a mixed-management system on the release of oxytocin, prolactin, and cortisol in ewes during suckling and machine milking. Reproduction Nutrition Development, 40, 271–281

Marnet, P.G., Volland, H., Pradelles, P., Grassi, J. and Beaufils, M., 1994. Subpicogram determination of oxytocin by an enzyme immunoassay using acetylcholinesterase as label, Journal of J Immunoassay, 15, 35–53

Mayer, H., Bruckmaier, R.M. and Schams, D., 1991. Lactational changes in the oxytocin release, intramammary pressure and milking characteristics in dairy cows. Journal of Dairy Research, 58,159–169

Mein, G.A., Thiel, C.C., Westgarth, D.R. and Fulford, R.J., 1973. Friction between the teat and the teatcup liner during milking, Journal of Dairy Research, 40, 191–206

Negrao, J.A. and Marnet, P.G., 2006. Milk yield, residual milk, oxytocin and cortisol release during machine milking in Gir, Gir × Holstein and Holstein cows, Reproduction Nutrition Development, 46, 77–85

Osteras, O., Ronningen, O., Sandvik, L., and Waage, S.,1995. Field studies show associations between pulsator characteristics and udder health, Journal of Dairy Research, 62, 1–13

Peris, C., Diaz, J.R., Segura Marti, A. and Fernandez, N., 2003. Influence of pulsation rate on udder health and teat thickness changes in dairy ewes, Journal of Dairy Science, 86, 530–537

Rasmussen, M.D. and Madsen, N.P., 2000. Effects of milk-line vacuum, pulsator airline vacuum, and cluster weight on milk yield, teat condition and udder health, Journal of Dairy Science, 83, 77–84

Spencer, S.B. and Rogers, G.W., 1991. Effect of vacuum and milking machine on liner slip, Journal of Dairy Science, 74, 429–432

Walsh, J.P. and Nyhan, J.F., 1969. Effect of milking machine pulsation rate and vacuum level on milk yield and composition. In Animal Production Research Rep Moorepark. County Cork, Ireland. p. 54

Wernery, U., Juhaz, J. and Nagy, P., 2004. Milk yield performance of dromedaries with an automatic bucket milking machine, Journal of Camel Practice and Research, 11, 51–57

Yagil, R., Van Creveld, C., Abu R'Kaik, G. and Merin, U., 1999. Milk "Let Down" in Camels, Journal of Camel Practice and Research, 6, 27–29

Zwertvaegher, I., Van Weyenberg, S., Piepers, S., Baert, J. and De Vliegher, S., 2012. Variance components of teat dimensions in dairy cows and associated factors, Journal of Dairy Science, 95, 4978–4988

CHAPITRE 4: Etude des effets du changement de la routine machine à traire sur l'éjection du lait, les caractéristiques de la courbe d'éjection du lait et la réponse comportementale des chamelles

Ce travail a été publié dans "Journal of Dairy Research"
Atigui M., Marnet P.G. Ayeb N., Khorchani T. and Hammadi M. 2014. Effect of changes in milking routine on milking related behaviour and milk removal in Tunisian dairy dromedary camels. *Journal of Dairy Research*, 81, 494–503.

Aperçu sur l'article 5 :

Effet du changement de la routine de traite sur la réponse comportementale et la vidange du lait chez la chamelle laitière en Tunisie

Les données concernant la routine de traite mécanique de la chamelle et les pratiques recommandées sont rares. La réponse comportementale des chamelles face aux changements brusques au cours de la traite est méconnue. Dans ce travail on s'est intéressé à l'étude de l'effet du changement de la routine de traite (pratique ou omission de 30 s de pré-stimulation, pose du faisceau trayeur immédiate ou décalée de 1,2 ou 4 min après la préparation de la mamelle), effet d'une perturbation en cours de traite par un son inhabituel) sur la vidange de la mamelle et la réponse comportementale au cours de la traite des chamelles laitières. Dans un premier essai, 8 chamelles (poids : 484,0 ± 15,5 kg, à 171,0 ± 57,4 jours de lactation et parité allant de 2 à 6) bien dressées à la traite mécanique ont été utilisées. Le protocole expérimental suis un plan d'analyse en carré latin 4×4, les 8 chamelles étant attribuées de façon aléatoire sur les 4 traitements (traite de routine, traite de routine + 30 s de pré-stimulation, traite de routine + audition d'un son inhabituel durant toute la traite et traite de routine + audition d'un son inhabituel arrivant après éjection du lait). Dans un second essai, organisé selon le même type de plan expérimental, l'effet du décalage croisant de la pose des gobelets a été testé sur 12 chamelles (poids : 492,5 ± 19,5 kg, à 217,2 ± 93,3 jour de lactation et parité allant de 1 à 7). Quatre traitements ont été comparés (pose immédiate des gobelets trayeurs (0 attente), 1, 2 et 4 min d'attente).

Les résultats obtenus montrent qu'une pré-stimulation de 30 s a permis de réduire le nombre de cinétiques d'émission de lait bimodales et d'améliorer le profil de ces courbes. Cependant, son effet sur la production laitière totale est resté limité sur ce groupe de chamelles. Toutefois, cette pratique pourrait être plus intéressante à des niveaux de remplissage de la mamelle faibles et donc en fin de lactation et nous pourrions suggérer de reprendre le conseil de Kaskous et Bruckmaier (2011). Ces auteurs ont montré qu'une courte pré-stimulation combinée à une légère attente avant la pose du faisceau trayeur permet une meilleure efficacité de la traite chez la vache laitière, à des niveaux faibles de remplissage de la mamelle, notamment en fin de lactation ou suite à des intervalles entre traite courts.

La perturbation des animaux par un bruit inhabituel dès le début de la traite ou même après que l'éjection du lait ait été observée, a provoqué l'interruption de la vidange mammaire et la perturbation du comportement des chamelles. L'éjection du lait a significativement retardé (1,58 ± 0,17 min contre 0,75 ± 0,11 min au contrôle). Le lait résiduel a augmenté

considérablement (plus que 40% de la production laitière totale), alors que les débits maximum et moyen ont significativement baissé. Une telle perturbation de l'éjection du lait peut être expliquée par une inhibition centrale du reflexe comme rapporté par Bruckmaier et al (1993) chez les vaches traites dans un environnement non familier. Toutefois, dans le cas où la perturbation est appliquée après l'éjection du lait, ont a enregistré une vidange de lait toujours incomplète et une augmentation de la fréquence des cinétiques d'émission de lait de type 3. Ceci peut être attribué à une chute rapide du débit sanguin irrigant la mamelle et par conséquent de l'accès de l'ocytocine à ses récepteurs sur la mamelle causé par l'action vaso-constructive de l'adrénaline et la noradrénaline secrété en cas de stress (Gorewit et Aromando, 1985). Cette explication peut être aussi attribuée à la chute des débits maximum et moyen de lait. Cette vidange incomplète de la mamelle peut aussi être expliquée par la stimulation des récepteurs α-adrénergiques dans les canaux galactophores et les parois du trayon qui peuvent bloquer le transfert du lait des alvéoles vers la citerne (Bruckmaier et al, 1991 ; Hammon et al, 1994). Cette perturbation a provoqué l'augmentation de la vigilance des animaux au cours de la traite ainsi que les tentatives de fuite hors de l'enclos de traite. Par contre les comportements de rumination au cours de la traite et défécation solide au moment de l'éjection du lait (considérés comme des comportements physiologiques normaux d'animaux calmes) ont été considérablement réduits en fréquence.

En ce qui concerne le délai de pose du faisceau trayeur, un retard de plus d'une minute après la fin de la préparation de la mamelle a déjà conduit à des pertes importantes de lait et jusqu'au 62% de la quantité totale de lait sont retenus dans la mamelle à 4 min de retard. Les débits maximum et moyens diminuent aussi significativement en fonction du délai de la pose, malgré le transfert du lait alvéolaire vers la citerne. En effet, à cause de la taille réduite de la citerne chez la chamelle, le lait alvéolaire ne peut être transféré en totalité vers la citerne et ne peut être vidangé de la mamelle que suite à un deuxième réflexe d'éjection de lait. Les signes de vigilance et les tentatives de fuite ont commencé dès 2 min de retard de traite. Après 4 min de retard, les chamelles ont montré des signes de stress aigüe (vocalisation, miction, et parfois émissions de fèces liquides).

Cette étude montre clairement qu'une routine de traite efficace pour la chamelle doit inclure la pré-stimulation des trayons et de la mamelle, la pose rapide des gobelets trayeurs et un environnement calme dans le site de traite afin d'assurer une vidange complète et une éjection rapide du lait.

Article 5: Effect of changes in milking routine on milking related behaviour and milk removal in Tunisian dairy dromedary camels

Journal of Dairy Research (2014) **81** 494–503. © *Proprietors of Journal of Dairy Research 2014* 494
doi:10.1017/S0022029914000551X

Effect of changes in milking routine on milking related behaviour and milk removal in Tunisian dairy dromedary camels

Moufida Atigui[1,2,3,4], Pierre-Guy Marnet[2,3]*, Naziha Ayeb[1], Touhami Khorchani[1] and Mohamed Hammadi[1]

[1] Livestock and Wildlife Laboratory, Arid Lands Institute – University of Gabes, 4119 Médenine, Tunisia
[2] AGROCAMPUS OUEST, UMR1348 PEGASE, F-35042 Rennes, France
[3] INRA, UMR1348 PEGASE, F-35042 Rennes, France
[4] Institut National Agronomique de Tunis, Université de Carthage, 43 Av. Charles Nicole, 1082 Mahrajène, Tunisia

Received 11 March 2014; accepted for publication 18 August 2014; first published online 19 September 2014

We studied the effects of changes in the milking routine (lack or presence of 30-s prestimulation, 0 or 1, 2 or 4-min delay between preparation and cluster attachment) and environmental perturbation (unusual loud sounds capable of frightening animals just after stall entry or during the course of milking) on milk removal and milking-related behaviour in dairy dromedary camels. A 30-s prestimulation decreased incidence of bimodal milk flow curves and increased occurrence of the best milk ejection patterns with higher milk flow but had limited effect on milk production in our well-trained animals within a good machine milking setting. However, unusual sounds heard from the beginning of milking or even after milk ejection caused inhibition or disruption of milk removal and modification of camels' behaviour. Milk ejection was significantly delayed (1·58 ± 0·17 min), residual milk increased over 40% of total milk yield and average and peak milk flow rates were significantly lowered when unusual noises were heard from the beginning of milking. These environmental perturbations increased signs of vigilance and the number of attempts to escape the milking parlour. Delaying cluster attachment for over 1 min after the end of udder preparation caused serious milk losses. Up to 62% of total milk was withheld in the udder when the delay reached 4 min. Average and peak milk flow rates also decreased significantly with delayed milking. Signs of vigilance and attempts to escape from the milking parlour appeared when camels waited for over 2 min. After a 4-min delay, camels showed signs of acute stress. Defaecation prior to milk ejection (solid faeces) and rumination during milking can be used to assess camels' milk ejection during milking. Animal welfare and milking efficiency can be ensured when camels are pre-stimulated, milked in calm conditions and with cluster attachment within a maximum of a 1-min delay after stimulation.

Keywords: Machine milking, milking routine, camels.

In the world of camel milkers, it is a common misbelieve that milk ejection in camels can only be induced by suckling and/or direct contact of the mother with the calf. Nevertheless, manual stimulation of the teats is thought to play only a complementary role (Yagil et al. 1999; Seifu, 2009; Eisa et al. 2012). Because stimulation of the milk ejection reflex can be difficult to obtain in camels, manual prestimulation can help especially before machine milking. Conversely, machine milking could be very difficult to manage if calves were present in the parlour, as shown for cows (De Passillé et al. 2008) and ewes (Marnet & Négrao, 2000) because of the maternal and selective behaviour of the mother to their own young, which inhibit milk ejection reflex in response to mechanical milking. Previous studies confirmed that machine milking of camels without calves is more efficient; however, adaptation to machine-milking procedures remains difficult (Hammadi et al. 2010). Juhaz & Nagy (2008) reported that successful training of camels to machine milking requires a good understanding of the behaviour of this species, and experienced herdsmen. Nevertheless, there are no precise guidelines for training and machine milking in camels.

In dairy camels, over 90% of milk is located in the alveolar compartment of the udder (Caja et al. 2011; Atigui et al.

*For correspondence: e-mail: marnet@agrocampus-ouest.fr

2014). Therefore, milk ejection from the alveoli is required during sucking or machine milking. As shown for species with small cisterns, such as buffaloes (Ambord et al. 2010) and cows (Rasmussen et al. 1992; Bruckmaier & Hilger, 2001), udder pre-stimulation ensures higher milk flow rate, faster milking and reduced occurrence of bimodal curves. Bimodal curves occur in 41·9% of milk flow patterns in camels suggesting that udder pre-stimulation could be useful in this species (Atigui et al. 2014).

Bruckmaier et al. (1994) stated that continuously elevated concentrations of oxytocin during milking are necessary to achieve complete udder empting in dairy cows. This suggests that any perturbation of animals with lack of cisternal storage, during milk removal, might cause incomplete milking. Previous studies in camels showed that when animals are exposed to environmental modifications milk ejection can be partially or totally inhibited (Atigui et al. 2014). Modifications that should be avoided during milking include unusual noises, unfamiliar people, bad previous experiences, inadequate housing, therapeutic interventions (Squines, 2003). The effect of these stressors on milk ejection in camels remains unknown.

Several authors recommend attaching milking clusters 30 s after udder stimulation in order to take advantage of the stimulatory effect of oxytocin (Gorewit & Gasman, 1985; Bruckmaier et al. 1994; Labussière, 1999). Recent studies showed that high producing cows (Prim'Holstein breed) with larger cistern are less affected by delaying milking after udder stimulation (Billon et al. 2006). A small delay could even be beneficial in allowing maximum increase of intramammary pressure before cluster attachment (Neijenhuis & Hillerton, 2003). There are no studies on the effect of the interval between udder prestimulation and cluster attachment on milk ejection efficiency in camels. This effect, if it exists, becomes highly relevant in herds that practise batch prestimulation where several females are prepared when only one or two milking machines are available.

Several behavioural and hormonal methods have been used to evaluate stress level and its effect on adaptation to machine milking. Three parameters (step-kick behaviour, milk cortisol concentration and heart-rate) are used to objectively evaluate adaptation of cows to milking (Wenzel et al. 2012). In addition, stress related behaviours such as frequency of urination and defaecation, vocalisation (Rushen et al. 1999, 2001), vigilance (Welp et al. 2004) and escape responses (Hemsworth et al. 1993) are also used as a measure of fear in dairy cows.

There is a complete paucity of scientific studies on milking-associated behaviour and reaction to various milking procedures in dairy camels. The objectives of this study were to investigate the effects of changing the machine-milking routine (pre-stimulation, perturbation of surroundings before or during milking, delay before cluster attachment) on the occurrence of milk ejection, milk flow kinetic characteristics and milking-related behaviour of dairy camels.

Materials and methods

Animals and management

Clinically healthy Maghrebi dromedary camels from the experimental farm of the Arid Lands Institute (IRA, Chenchou, Tunisia) were used for the experiments. Camels were kept in a loose housing barn and each fed with a daily ration of a forage mixture of 10 kg of alfalfa hay (dry matter, DM, 89·6%; crude protein, CP, 14·8%; neutral detergent fibre, NDF, 42·2%; net energy for lactation, NEL, 1·22 Mcal/kg; on a DM basis), and 6 kg of fresh alfalfa (DM 15·0%; CP 18·7%; NDF 40·1%; NEL 1·28 Mcal/kg; on a DM basis), supplemented with 2 kg of a commercial concentrate (DM 92·8%; CP 18·0%; NEL 1·73 Mcal/kg; on a DM basis). Animals had free access to water.

Milking routine

All camels were allowed to nurse for the first 3 months of lactation before complete weaning and transition to machine milking exclusively. After training, camels were routinely milked twice a day (8·00 and 16·00) in a restraining stall using a portable milking machine (Model AM/T115, AGROMILK, 42020 S. Polo d'Enza, Reggio Emilia, Italy) which was set at 48 kPa, 80 pulsations/min and 60 : 40 pulsation ratio previously determined to be the best for these animals (Atigui et al. 2011). Clusters were attached within 10 s after cleaning the teats with a wet cotton towel and drying them. A machine stripping was performed 15 s after the milk flow decreased to less than 0·1 kg/min (detected by Lactocorder® milkmeter), by manual massage and pulling down the milking cluster before vacuum shut-off. Teats were dipped (Polycide, Laboratoires Interchem, Tunis, Tunisia) following removal of the cluster.

Experiment 1: effect of manual pre-stimulation and stressful stimuli before and during milking

The aim of this experiment was to determine the effects of a 30-s pre-stimulation and of disturbance of animals before and during machine milking on milk ejection, milk removal and milking-related behaviour of dairy camels. Eight Maghrebi camels (484·0 ± 15·5 kg) in their 2nd to 6th lactation and well trained to machine milking were used. At the start of the experiment, the females were at 171·0 ± 57·4 d in milk, DIM, with a daily milk production of 7·0–9·5 kg.

Experimental design consisted of a 4 × 4 Latin square with 8 animals allocated randomly to 4 treatments (T1, T2, T3 and T4) during 4 d. Experimental milking was limited to morning milkings. Evening milking had a normal milking routine to avoid treatment interference between days.

The first treatment (T1) consisted of milking without pre-stimulation; the milking cluster was attached without washing the udder except for a quick (<10 s) wipe to clean the teats if necessary. The second treatment (T2) consisted of milking following a pre-milking stimulation of 30 s prior to

cluster attachment. Stimulation consisted of fore-stripping and manual massage of the teats and floor of the udder. The third treatment (T3) was similar to T1 but with the addition of an unusual sound (irregular loud sound produced by hitting a metal can at a distance of 1 m from the camel's shoulder) applied during the entire milking procedure. The last treatment (T4) was similar to T3 treatment but the noise was applied after milk ejection occurred (visually determined when teats suddenly swell above the level of the mouthpiece of liner – always visible when cups were attached) and until the end of milking. Milk flow recording started at the time of cluster attachment for all treatments.

Experiment 2: effect of delaying cluster attachment

This experiment was conducted to assess the effect of delaying cluster attachment on the machine-milking process, milk removal and milking-related behaviour of dromedary camels. Twelve Maghrebi camels (492·5 ± 19·5 kg body weight), in their 1st to 7th lactation and well trained to machine milking were used. Females were at 217·2 ± 93·3 DIM with a daily milk yield of 3·5–10·5 kg at the beginning of the trial.

The experimental design consisted of a 4 × 4 Latin square with 12 animals randomly allocated to one of 4 treatments (D0, D1, D2, and D4) during 4 d. Experimental milking was limited to morning milkings, and evening milking had a normal milking routine to avoid treatment interference between days. In all treatments, camels were pre-stimulated for 30 s which included fore-stripping and manual massages of the teats and of the floor of the udder with a cotton towel soaked in warm water. Treatments were milking without delay after udder stimulation (D0); milking after 1-min (D1); 2-min (D2) and 4-min delay (D4). Milk flow recording started manually at the time of cluster attachment.

Milk flow recording and evaluation

Milk flow was continuously recorded during milking using an electronic milk flow meter (Lactocorder®, WMB AG, Balgache, Switzerland) especially calibrated to low milk flow rates (< 0·05 kg/min; goat calibration). Because the software connected to these devices is not developed for camel milking, we only use it for milk flow and quantity recording after validation of the measurement by weighing the bucket before and after milking. The following milking parameters were evaluated : time to milk ejection occurrence (from start of manual udder stimulation or cluster attachment till milk ejection occurs – swelling of the higher part of the teats detected by visual observation, always possible when teat cups are attached), total individual milking duration (from cluster attachment till their removal when milk flow ceased), machine milk yield (when milk flow exceeded 0·250 kg/min until it dropped below 0·100 kg/min), milk stripping yield (volume collected when milk flow re-exceeded 0·250 kg/min till cluster removal, 15 s after machine milk ceased) and bimodality as a sign of delayed milk ejection (2 observed successive milk emissions with the first one occurring just after cluster attachment, followed by a significant decline in milk flow before occurrence of a second milk flow rise after 1 min or more. Abrupt, very short and/or accidental milk flow drops inducing a milk flow curve pattern close to two-peak emission patterns were not considered as bimodality). We did not use the bimodality detection by Lactocorder® because Lactopro® software is not adapted for this diagnosis in camels. Residual milk was harvested after an intravenous injection of 10 IU of synthetic oxytocin (Biocytocine, Laboratoires Biove, Arques, France) after machine milk flow ceased, and measured by lactocorder after a new attachment of cluster. Milk flow curves were evaluated and a type score was attributed for all milk kinetic curves, according to Atigui et al. (2014). Type 1 milk kinetic curves were characterised by a sharp peak flow curve with a continuous increase in the milk flow followed by a declining phase without going through a plateau phase. Type 2 was characterised by milk flow curves with intermediate milk flow rate and a significant plateau phase. Finally, type 3 milk flow curves were characterised by a low milk flow rate and a longer milking duration. Prior to the experiments, 75% of the animals of the first trial showed type 1 milk flow patterns and 25% were classified as type 2, while animals used in the second trial were classified, 50% as type 1, 41·7% as type 2 and 8·3% as type 3.

Behaviour recording

A focal animal continuous recording method (Martin & Bateson, 1993) was used to describe camel behaviour. The observed behaviours were selected among those widely considered as indicators of acute stress or fear and welfare in cattle during milking (Rushen et al. 2001; Welp et al. 2004). A familiar observer recorded camel behaviour during the entire duration of milking process (from the time the animal entered the milking parlour until it left). A step was scored whenever one hoof was lifted vertically of the ground. A kick was defined as a hind leg movement in any direction and any distance. Signs of vigilance were monitored. A camel was considered as vigilant whenever it moved its head high and looked around while pricking up its ears. Occurrence of rumination, defaecation, urination, vocalisation and trying to escape the milking parlour was noted. Camels usually defaecate once when milk ejection is about to occur. Conversely, when extremely afraid, camels defaecate frequently to the point of diarrhoea. In the present study, diarrhoea was never observed, and only solid defaecation prior to milk ejection was registered. In this case, we considered defaecation (solid faeces) as a sign of comfort and well-being for dairy camels and not as a stress sign as reported by Rushen et al. (2001) for dairy cows.

Statistical analyses

Statistical analyses were carried out using the program SAS (SAS version 9.0, SAS Inst. Inc., Cary NC, USA). Results are

Table 1. Effect of prestimulation and environmental perturbations (before and after milk ejection) on milking characteristics. Control milking (T_1), milking with a total 30-s pre-stimulation (T_2), milking with environmental perturbations (unusual noises) applied from the beginning of milking (T_3) or after (T_4) occurrence of milk ejection

	Treatments			
	T_1	T_2	T_3	T_4
Time to milk ejection, min	$0{\cdot}75 \pm 0{\cdot}11^{ab}$†	$0{\cdot}56 \pm 0{\cdot}13^{b}$	$1{\cdot}58 \pm 0{\cdot}17^{a}$	$0{\cdot}72 \pm 0{\cdot}24^{b}$
Total milking duration, min	$4{\cdot}30 \pm 0{\cdot}13$	$4{\cdot}00 \pm 0{\cdot}17$	$4{\cdot}73 \pm 0{\cdot}41$	$3{\cdot}98 \pm 0{\cdot}24$
Machine milk yield, kg	$4{\cdot}49 \pm 0{\cdot}23^{a}$	$4{\cdot}74 \pm 0{\cdot}20^{a}$	$3{\cdot}32 \pm 0{\cdot}38^{c}$	$3{\cdot}71 \pm 0{\cdot}21^{b}$
Total milk yield, kg	$5{\cdot}63 \pm 0{\cdot}16$	$5{\cdot}56 \pm 0{\cdot}21$	$5{\cdot}71 \pm 0{\cdot}19$	$5{\cdot}65 \pm 0{\cdot}23$
Residual milk, kg	$1{\cdot}14 \pm 0{\cdot}18^{b}$	$0{\cdot}82 \pm 0{\cdot}06^{b}$	$2{\cdot}39 \pm 0{\cdot}41^{a}$	$1{\cdot}93 \pm 0{\cdot}18^{a}$
Residual milk, %	$20{\cdot}20 \pm 3{\cdot}11^{b}$	$14{\cdot}96 \pm 3{\cdot}41^{b}$	$41{\cdot}47 \pm 6{\cdot}57^{a}$	$34{\cdot}16 \pm 2{\cdot}76^{a}$
Average milk flow, kg/min	$1{\cdot}34 \pm 0{\cdot}10^{ab}$	$1{\cdot}55 \pm 0{\cdot}06^{a}$	$1{\cdot}02 \pm 0{\cdot}15^{b}$	$1{\cdot}21 \pm 0{\cdot}08^{b}$
Peak milk flow, kg/min	$3{\cdot}08 \pm 0{\cdot}35^{ab}$	$3{\cdot}60 \pm 0{\cdot}32^{a}$	$2{\cdot}50 \pm 0{\cdot}38^{c}$	$2{\cdot}69 \pm 0{\cdot}11^{bc}$
Bimodality, %	$87{\cdot}50^{a}$	$12{\cdot}50^{b}$	$62{\cdot}50^{a}$	$62{\cdot}50^{a}$

†[a,b,c] Means in the same line without a common superscript letter are significantly different ($P<0{\cdot}05$)

presented as means ± SEM. Data of milk ejection, milk flow, milk yields, stepping and kicking occurrence were analysed using the MIXED procedure. The model included general mean, fixed effect of the treatments (1–4), random effect of the animal (1–8 in the first trial and 1–12 in the second), fixed effect of day (1–4), interaction between treatment effect and day effect and random error. Differences between means were tested by Tukey's test. Level of statistical significance was set at $P<0{\cdot}05$, unless otherwise stated.

The FREQ procedure was used to evaluate treatment effect on milk flow curve types, bimodality, signs of vigilance, vocalisation, urination, defaecation, rumination and trying to escape during milking. Except for milk flow curve type, we used COMPPROP multiple comparisons procedure for a 2×4 contingency table analysis for proportions variance analysis when the Chi-square test was significant. Pearson correlation coefficients among milking traits and behavioural frequencies were calculated using the CORR procedure.

Results

Experiment 1: effect of manual pre-stimulation and stressful stimuli before and during milking

As shown in Table 1, time to milk ejection was not significantly reduced after manual pre-stimulation (about 11 s), but was significantly lengthened for treatment T_4 compared with control milking. Mean total milk yields and total milking duration were similar for all experimental milkings but differences among machine milk yields as well as residual milk yields were highly significant ($P<0{\cdot}001$) between treatments. Percentage of residual milk was minimal when udder pre-stimulation was performed and maximal when exceptional noise was applied during milking and represented respectively 14·9% vs. 41·5% of total milk yield against 20·2% in control milking. Average and peak milk flow rates were significantly higher for pre-stimulated and control treatments and lower when the noise was applied. Machine stripping yield was extremely low in all treatments.

Table 2. Effect of prestimulation and environmental perturbations (before and after milk ejection) on change in repartition of milk flow pattern percentage within animals. Control milking (T_1), milking with 30-s pre-stimulation (T_2), milking with environmental perturbations (unusual noises) applied from the beginning of milking (T_3) or after (T_4) occurrence of milk ejection. Type 1: milk flow curves with high and sharp peak milk flow rate followed by a declining phase without plateau phase. Type 2: milk flow curves with intermediate milk flow rate and a significant plateau phase. Type 3: milk flow curves with low milk flow rate and long term milking

	T_1	T_2	T_3	T_4
Type 1	75·00	87·50	12·50	37·50
Type 2	25·00	12·50	25·00	25·00
Type 3	0·00	0·00	62·50	37·50

$\chi^2=14{\cdot}78$, $P=0{\cdot}0220$

Percentage of milk flow curves with bimodal patterns significantly dropped when camels were manually pre-stimulated (Table 2). As indicated above, all camels showed type 1 (75%) and type 2 (25%) milk flow pattern before the start of this experiment. However, when noise was applied, type 3 flow patterns appeared and their percentage reached 62·5% in T_3 treatment.

Camel behaviour in the milking parlour (Fig. 1) showed significant differences between groups. During control and pre-stimulated milkings, indicators of normal and well-being behaviour for camels during milking were more frequently displayed ($P<0{\cdot}0001$). However, when noise was applied, both before and after milk ejection, camels showed more signs of vigilance ($P<0{\cdot}0001$) and tried to escape the milking parlour ($P=0{\cdot}029$). Nevertheless, vocalisation and urination were not significantly different among treatments.

Experiment 2: effect of delaying cluster attachment

Effects of delayed cluster attachments on milk yields and milking characteristics are summarised in Table 3. Time to milk ejection increased significantly whereas total milking

Table 3. Effect of delayed milking-cluster attachment on milk yields and milking characteristics. (D_0): Control milking with direct attachment of the milking clusters, (D_1): 1-min delay, (D_2): 2-min delay, (D_4): 4-min delay

	D_0	D_1	D_2	D_4
Time to milk ejection, min	0·88 ± 0·06[a] †	1·11 ± 0·15[bc]	1·69 ± 0·29[ab]	2·31 ± 0·54[c]
Total milking duration, min	4·21 ± 0·28	4·64 ± 0·52	3·71 ± 0·47	3·71 ± 0·68
Machine milk yield, kg	4·54 ± 0·46[a]	4·01 ± 0·42[a]	2·98 ± 0·30[b]	2·36 ± 0·57[b]
Total milk yield, kg	5·77 ± 0·58	5·75 ± 0·56	5·66 ± 0·60	5·70 ± 0·60
Residual milk, kg	1·22 ± 0·23[b]	1·73 ± 0·28[b]	2·69 ± 0·42[a]	3·33 ± 0·44[a]
Residual milk, %	20·04 ± 2·80[c]	29·42 ± 3·68[b]	45·94 ± 4·69[b]	61·84 ± 7·32[a]
Average milk flow, kg/min	1·10 ± 0·09[a]	1·00 ± 0·12[a]	0·94 ± 0·07[a]	0·69 ± 0·10[b]
Peak milk flow, kg/min	2·91 ± 0·32[a]	2·55 ± 0·39[ab]	2·34 ± 0·28[b]	1·85 ± 0·33[b]
Bimodality, %	50·00	41·67	16·67	16·67

† [a,b,c] Means in the same line without a common superscript are significantly different ($P < 0·05$)

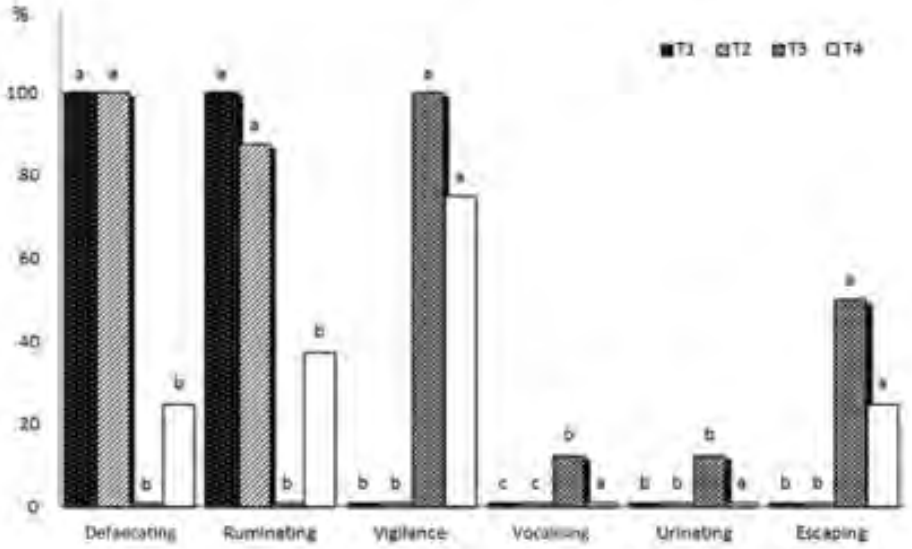

Fig. 1. Frequency of occurrence of some normal and welfare behaviours (defaecating, ruminating) and stress behaviours (vigilance, vocalisation, urination, attempt to escape) in dairy camels during control milking (T_1), milking with pre-stimulation (T_2), or milking with environmental perturbation (noises) applied from the beginning of milking (T_3) or after (T_4) milk ejection. For each behaviour, bars with different superscripts (a, b, c) are significantly different ($\alpha = 0·05$).

duration was not affected by delayed cluster attachment. Machine milk yield decreased and residual milk increased significantly when milking cluster attachment was delayed more than 2 min ($P < 0·0001$). This residual milk represented 20% of total milk when milking clusters were attached immediately and rose to 62% when milking was delayed for 4 min. Nevertheless, total milk yields were not affected by treatments. Average and peak milk flow rates were significantly lowered when cluster attachment was delayed. However, stripping yield was not affected by duration of attachment delay.

Despite a lack of significant difference between proportions of milk flow curves with bimodal pattern, the repartition of milk flow curves pattern (Table 4) differed between treatments with 75% of total milk flow curves scored as type 3 when milking was delayed for 4 min after udder stimulation, compared with 8·33% for D_0 and D_1 treatments.

Camels behaved similarly when milking clusters were attached immediately or after 1 min (Fig. 2). No acute stress behaviour was observed in D_0 and D_1 groups. All animals ruminated during milking and almost all defaecated prior to milk ejection. However, when camels waited for over 2 min, they started to show signs of vigilance and tried to escape from the milking parlour. Acute stress was observed when the delay in milking reached 4 min. More than 40% of camels started groaning and 25% urinated before and/or during milking.

Pearson correlation

Correlations among milking traits and behaviours during milking were strong and predictable (Table 5). A high and positive correlation was detected between time to milk ejection and residual milk. Average and peak milk flow rates

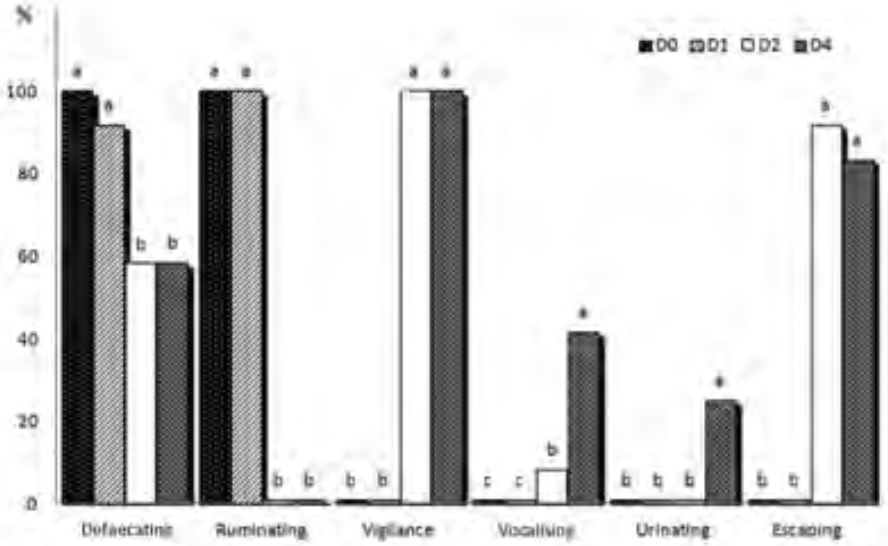

Fig. 2. Frequency of occurrence of some normal and welfare behaviours (defaecation, rumination) and stress behaviour (vigilance, vocalisation, urination, attempt to escape) in dairy camels during control milking with direct attachment of the milking clusters (D_0), and after 1-min delay (D_1), 2-min delay (D_2) or 4-min delay (D_4). For each behaviour, bars with different superscripts (a, b, c) are significantly different ($\alpha = 0{\cdot}05$)

were positively correlated to machine milk yield. Although residual milk was never related to peak milk flow, it was negatively related to average milk flow rate.

Correlation among behaviours and milking traits showed that defaecation and rumination were strongly and positively linked to machine milk yield, peak and average milk flow and negatively correlated to time to milk ejection and residual milk. Stepping, kicking, vocalising, urinating and trying to escape the milking parlour during milking were highly and negatively correlated to machine milk yield, to peak and average milk flow rates and conversely to residual milk.

Table 4. Effect of delayed milking clusters attachment on change in repartition of milk flow pattern percentage within animals. (D_0): Control milking with direct attachment of the milking clusters, (D_1):1-min delay, (D_2): 2-min delay, (D_4): 4-min delay. Type 1: milk flow curves with high and sharp peak milk flow rate followed by a declining phase without plateau phase. Type 2: milk flow curves with intermediate milk flow rate and a significant plateau phase. Type 3: milk flow curves with low milk flow rate and long term milking

	D_0	D_1	D_2	D_4
Type 1	50·00	50·00	50·00	16·67
Type 2	41·67	41·67	16·67	8·33
Type 3	8·33	8·33	33·33	75·00

$\chi^2 = 17{\cdot}72$, $P = 0{\cdot}0070$

Discussion

Effects of prestimulation during milking

In the first trial, during the control treatment (T_1) camels were milked immediately after a lack, or a delicate and very short cleaning of the teats to avoid prestimulation. When udders were manually pre-stimulated for 30 s, milk ejection occurred faster (about 0·6 min). Although the difference was not significant between these treatments owing to marked inter-animal variability, this suggests that milking clusters were attached close to when milk ejection occurred, thus at the best moment to take advantage of the highest intramammary pressure. This is also a good way to significantly reduce the incidence of 'problematic' bimodality due to delayed milk ejection. Reduction or lack of bimodality is then, in camels, a good sign of efficient milking as reported in cows (Bruckmaier & Blum, 1996; Dzidic et al. 2004). In the present experiment, incidence of bimodality decreased with pre-stimulation treatment since alveolar milk was immediately available in the cistern when milking started, thus it is probable that the two milk fractions merged. Salamon et al. (2011) found similar results in the dairy cow, with the highest number of bimodal curves observed in absence of pre-stimulation. Pre-stimulation also increased the proportion of type 1 milk flow pattern which suggests that a proper pre-milking preparation remains a good practice to improve milking efficiency in dairy camels even if not necessary at the same level for all animals.

Pre-stimulation did not influence significantly the other recorded milking characteristics in our experiment though milking duration, peak and average flow rates showed an improvement. Also, residual milk did not differ between

Table 5. Pearson correlation among 'milkability' traits and milking-related behaviours in dairy camels†

	TME	MMT	MMY	RM	TMY	PMF	AMF	Defec.	Rum.	Step	Kick	Vigil.	Vocal.	Urin.
MMT	0·101**													
MMY	−0·020	0·350***												
RM	0·270**	−0·095	−0·376***											
TMY	0·190	0·295*	0·630***	0·473***										
PMF	−0·177	−0·014	0·716***	0·177	0·534***									
AMF	−0·278**	−0·219*	0·469***	−0·388***	0·456**	0·760***								
Defec.	−0·501***	0·068	0·535***	−0·668***	0·177	0·475***	0·475***							
Rum.	−0·369***	0·140	0·455***	−0·540***	−0·016	0·347***	0·309**	0·607***						
Step	0·191	−0·110	−0·575***	0·557***	−0·083	−0·363***	−0·473***	−0·699***	−0·693***					
Kick	0·153	−0·171	−0·594***	0·567***	−0·093	−0·380***	−0·474***	−0·529***	−0·606***	0·915***				
Vigil.	−0·392***	−0·116	−0·474***	0·557***	0·012	−0·340***	−0·368***	−0·947***	−0·949***	0·727***	0·618***			
Vocal.	−0·118	−0·231*	−0·504***	0·287**	−0·140	−0·279*	−0·117**	0·203	−0·123**	0·680***	0·740***	0·125**		
Urin.	0·211*	0·003	−0·427***	0·357***	−0·108	−0·314**	−0·407***	−0·703	−0·341*	0·450***	0·571***	0·341*	0·538***	
Escaping	0·205*	−0·138	−0·571***	0·629***	−0·020	−0·384**	−0·480***	−0·544***	−0·750***	0·826***	0·747***	0·750***	0·433***	0·121**

† TME: Time to milk ejection; MMT: Milking duration (min); MMY: Machine milk yield (kg); RM: Residual milk (kg); TMY: Total milk yield (kg); PMF: Peak milk flow (kg/min); AMF: Average milk flow (kg/min); Defec.: Defaecation; Rum.: Rumination; Vigil.: Vigilance; Vocal.: Vocalization; Urin.: Urination.
*$P<0·05$; **$P<0·01$; ***$P<0·001$.

conventional milking and milking with prestimulation (20 and 15% respectively compared with 10 to 17·8% of total milk yield within the cow udder (Schmidt, 1971)) which confirms the efficiency of our machine milking protocol in evoking a milk ejection reflex alone.

To conclude, prestimulation appears to be not obligatory for an efficient udder emptying in our conditions because of good machine milking equipment and settings used, well-trained animals and the long inter-milking interval of 16 h but could be more useful in worse conditions. Indeed, Kaskous & Bruckmaier (2011) showed that a short prestimulation and latency period before cluster attachment improve milking efficiency in dairy cows, especially at low levels of udder filling such as in late lactation or short milking intervals.

Effects of stress before or during milking

Camels are usually afraid of sudden changes in their routine, such as sudden movements, threatening or aggressive actions, unfamiliar people, unusual sounds, changes in floor surfaces or levels, and wall and fence types. In the present experiment, in presence of noise during the entire milking (T_3), milk ejection was not totally inhibited but was significantly delayed (1·5 min). Since camels have a very limited cisternal milk volume (Caja et al. 2011; Atigui et al. 2014) such a delayed milk ejection implies milking on empty teats until milk ejection occurs, which exposes animals to high risks of mastitis, as reported for dairy buffaloes (Borghese et al. 2007). Machine milk yield decreased significantly and residual milk increased to over 40% of total milk yield when animals were exposed to unusual sounds before and even after milk ejection (T_3 & T_4). Such a disruption of milk ejection could be caused by a central inhibition of the milk ejection reflex, as reported by Bruckmaier et al. (1993) when cows were milked in unfamiliar surroundings. Nevertheless, this was not the case in T_4 treatment because unusual sounds were produced after stimulation of milk ejection. In this treatment, we observed delayed and incomplete milk ejection that could be explained by a rapid reduction of blood flow and oxytocin access to mammary gland possibly due to the intramammary vasoconstrictive action of noradrenaline and adrenaline secreted when animals were stressed (Gorewit & Aromando, 1985). This could explain the drop of average and peak milk flow registered in T_4 and T_3 treatments (Table 1). Nevertheless, a third explanation was offered for this incomplete milk ejection linked to stimulation of α-adrenergic receptors in milk ducts and teat walls able to inhibit milk transfer from the alveoli to the cistern and milk passage through the teat canal (Bruckmaier et al. 1991; Hammon et al. 1994). This explanation is supported by our results for T_4 treatment in which milk yield decreased and residual milk increased significantly despite an observed milk ejection. However, an effect via the teat contraction is less probable because α-adrenergic receptor stimulation seems unable to reduce milk flow in cows when teats are

submitted to the vacuum of the milking machine, as demonstrated by Bernabé & Ricordel (1985).

The study of the milk flow kinetics registered in the first experiment, showed that all studied camels had good milk flow curve scoring (75% type 1 and 25% type 2). Yet, when animals were disturbed, type 3 curves occurred more frequently (up to 62·50%). Atigui et al. (2014) also reported that easily disturbed animals showing generally type 1 and type 2 milk flow patterns in good milking conditions, could show type 3 patterns when exposed to environmental modifications.

Effects of delayed teat cup attachment before milking

The increasing time to milk ejection observed with increasing attachment delay intervals, confirms the importance of the stimulatory effect of milking machine in addition to manual prestimulation, to induce milk ejection in dairy camels. In dairy cows, the stimulation by the liner during milking pulsation has been described as effective as manual stimulation in inducing oxytocin release (Bruckmaier & Blum, 1996). Even cluster attachment without liner pulsation can produce sufficient oxytocin release to induce an alveolar milk ejection (Weiss et al. 2003). Interestingly, we were able to visually detect a second milk ejection reflex for some camels when they waited up to 4 min to attach the clusters. It is possible that well-trained and less fearful camels might be able to have a second new milk ejection reflex in response to the stimulatory effect of teat-cup attachment after such a delay. Billon et al. (2006) described a similar phenomenon for high-producing cows when milking units attachment was delayed for 4–6 min.

When cup attachment was delayed, machine milk yield decreased and residual milk increased significantly. About 62% of total milk remained in the udder when clusters were not attached up to 4 min after udder stimulation. In fact, because of the very limited cisternal volume of camels (only about 5% of total milk is stored in the cistern, Atigui et al. 2014) alveolar milk volume could not be totally transferred to the cistern if milk is not removed simultaneously from the udder, unless a second milk ejection reflex took place. To maximise milking efficiency in dairy cows, units should be attached from 45–90 s from the beginning of stimulation (Rasmussen et al. 1992). Reinemann et al. (2001) reported that delaying teat-cup attachment more than 3 min resulted in more residual milk and lower milk yields. A high milk flow rate immediately after unit attachment followed by immediate reduction of milk flow rate also indicates an insufficient stimulation (Reinemann et al. 2001).

In our experiment, when milk removal was delayed, occurrence of type 3 pattern increased from 8 to 75% for 0-and 4-min cup attachment delay, respectively. Incidence of type 3 milk flow curves coincide with a significantly lower average and peak milk flow rates. Occurrence of bimodality also decreased significantly when cluster attachment was delayed. This indicates that alveolar milk was already available before the cisternal milk fraction was removed. However, despite this transfer of milk from alveoli to cisterns, the total collected milk was significantly lowered with increasing delay. This might be explained by a milk return to the alveolar compartment owing to increasing pressure within the limited cisternal space. Caja et al. (2004) described that milk returns to the ductal and alveolar compartments when cows were not milked promptly after milk ejection. They termed this effect 'cisternal recoil'. Later in 2011, Caja et al. described even stronger cisternal recoil in camels not milked immediately.

Even though our two experiments were conducted separately and were not designed to be comparable, it is surprising to see that a long delay of over 2 min could induce more milk retention (46–62% of residual milk) and more important milk flow reduction (0·94–0·69 l/min) than an acute perturbation applied before or during milking (41–34% and 1·00 and 1·2 l/min with stress, respectively). Thus, because of their specific anatomy, it is important to underline that a rapid and efficient milk removal is more important than a perfect stimulation for camels. The routine used frequently in large herds in Tunisia with batch preparation of udders (sometimes with oxytocin injection) followed by machine milking with limited number of cluster is absolutely to be avoided.

Effects of modification of milking routine on camels' behaviour

For all treatments in both trials, camels entered calmly the milking parlour in the usual sequence of milking without having to hasten them. During control milking, camels were calm during the entire process. All camels defaecated (solid faeces) prior to milk ejection and ruminated throughout milking. No signs of vigilance, stepping or kicking were registered as for cows in good milking conditions (Jacobs & Siegford, 2012). This indicates that camels used in this study were well adapted to our milking routine. In dairy buffaloes, Cavallina et al. (2008) found that all animals with spontaneous milk ejection defaecated while none of the animals that required oxytocin injection to be milked did. This suggests that dairy camels and dairy buffaloes react differently from dairy cows in which this behaviour is associated with stress of the animals (Rushen et al. 2001). Solid defaecation could be considered as an indicator of normal milk ejection reflex stimulation during milking in camels. There was no significant effect ($P > 0·10$) of pre-stimulation and of 1-min delay in cluster attachment on behaviour compared with control. However, when milking was delayed for 4 min after udder stimulation, vocalisation and urination behaviours became significantly higher. This reaction in camels is different from that observed in cows where delay in teat cup attachment by 1–4 min or interruption of teat stimulation had no negative effect on milk removal and behaviour (for example after multiple failed attempts of attachment of teat cups by robotic machine milking) (Macuhova et al. 2004). Signs of discomfort, like urination or standing in the cubicle instead of lying after milking time were only seen

when cows were left without milking and were rejected from the automatic milking systems (Stefanowska et al. 2000). In general, cows respond to this discomfort with reduced or lacking OT release and hence incomplete milk ejection (Wellnitz et al. 1997; Macuhova et al. 2002, 2004) or increased milk retention in the udder (Rushen et al. 1999).

Similarly, in the present study, perturbations of environment resulted in an increased frequency of stress-related behaviours. Although, for T_4 treatment, some animals defaecated and ruminated before we applied the aversive noises because treatment was applied after milk ejection, 75% of them were alerted.

Defaecation before milk ejection and rumination during milking were positively correlated to machine milk yield and had a high negative correlation with time to milk ejection and residual milk. However, vigilance behaviour was highly and positively correlated with residual milk and time to milk ejection. A strong negative correlation was detected between vigilance behaviour and defaecation ($r=-0{\cdot}95$; $P<0{\cdot}0001$) and rumination ($r=-0{\cdot}95$; $P<0{\cdot}0001$) behaviours. Welp et al. (2004) reported that measures of vigilance in dairy cows may provide information on the degree of fearfulness of the animals. Bobic et al. (2011) found that when cows feel threatened, insecure and frightened, a stress reaction (characterised by increased levels of β-endorphin, cortisol, ACTH and catecholamines) appears. These hormonal changes lead to an increase in blood pressure and heart rate as well as alterations in the release of milk and decreased productivity. In our study, disturbances of dairy camels before or during milking, led to loss of milk, suggesting a negative physiological response. On the other hand, proper udder preparation including fore-stripping and manual massage of teats resulted in an efficient milk removal, less bimodality and shortened milking. Because of the very small cistern and strong cisternal elastic recoil in dairy camels, the delay between the start of teat stimulation and cluster attachment should not exceed 1 min to limit milk retention.

In conclusion, our experiments clearly show that efficient milking routine in dairy camels should emphasise udder prestimulation, rapid cluster attachment and a calm environment in the milking parlour as all these parameters have a significant effect on complete and rapid milk ejection.

This work was carried out in collaboration between the Arid Lands Institute (IRESA- MESRS Tunisia) and the AGROCAMPUS OUEST-INRA (France). The authors are grateful to Mr Mohamed Dhaou, Mr Mohamed Farhat, Mr Bechir Saafi and Mr Lassaad Khalfalli for their careful assistance in animal management. The authors would also like to thank Pr. Ahmed Tibary for kindly suggesting stylistic improvements to the text. This document was partially funded by the European Union through the PROCAMED Project: Promotion des systèmes camelins innovants et des filières locales pour une gestion durable des territoires sahariens; reference number IB/1.1/494. The contents of this document are the sole responsibility of the authors and can under no circumstances be regarded as reflecting the position of the European Union.

References

Ambord S, Stoffel HM & Bruckmaier MR 2010 Teat anatomy affects requirements for udder preparation in Mediterranean buffaloes. *Journal of Dairy Research* **77** 468–473

Atigui M, Hammadi M, Barmat A, Khorchani T & Marnet PG 2011 Effects of vacuum level and pulsation rate on milk flow traits in Tunisian Maghrebi camels (*Camelus dromedarius*). In *Book of Abstracts of the 62nd Annual Meeting of EAAP*, Stavanger, Norway, vol. 17, p. 298

Atigui M, Hammadi M, Barmat A, Farhat M, Khorchani T & Marnet PG 2014 First description of milk flow traits in Tunisian dairy dromedary camels under intensive farming system. *Journal of Dairy Research* **81** 173–182

Bernabé J & Ricordel MJ 1985 Effects of adrenalin and phenylephrine on milk extraction during machine milking of cows. *Reproduction, Nutrition and Development* **25** 379–388

Billon P, Gaudin V & Huneau T 2006 Influence of waiting between udder stimulation and milk clusters attachment on milking and milk quality. *Compte Rendu* 1410631016 Institut de l'Elevage, France. 35 p

Bobic T, Mijić P, Knežević I, Šperanda M, Antunović B, Baban M, Sakač M, Frizon E & Koturić T 2011 The impact of environmental factors on the milk ejection and stress of dairy cows. *Biotechnology in Animal Husbandry* **27** 919–927

Borghese A, Rasmussen M & Thomas CS 2007 Milking management of dairy buffalo. *Italian Journal of Animal Science* **6** 39–50

Bruckmaier RM & Blum JW 1996 Simultaneous recording of oxytocin release, milk ejection and milk flow during milking of dairy cows with and without pre-stimulation. *Journal of Dairy Research* **63** 201–208

Bruckmaier RM & Hilger M 2001 Milk ejection in dairy cows at different degrees of udder filling. *Journal of Dairy Research* **68** 369–337

Bruckmaier RM, Mayer H & Schams D 1991 Effects of β- and α-adrenergic agonists on intramammary pressure and milk flow in dairy cows. *Journal of Dairy Research* **58** 411–419

Bruckmaier RM, Schams D & Blum JW 1993 Milk removal in familiar and unfamiliar surroundings: concentration of oxytocin, prolactin, cortisol and β-endorphin. *Journal of Dairy Research* **60** 449–456

Bruckmaier RM, Schams D & Blum JW 1994 Continuously elevated concentrations of oxytocin during milking are necessary for complete milk removal in dairy cows. *Journal of Dairy Research* **61** 323–334

Caja G, Ayadi M & Knight CH 2004 Changes in cisternal compartment based on stage of lactation and time since milk ejection in the udder of dairy cows. *Journal of Dairy Science* **87** 2409–2415

Caja G, Salama OA, Fathy A, El-Sayed H & Salama AAK 2011 Milk partitioning and accumulation in the camel udder according to time elapsed after milking. In *Book of Abstracts of the 62nd Annual Meeting of EAAP*, Stavanger, Norway, vol. 17, p. 363

Cavallina R, Roncoroni C, Campagna MC, Minero M & Canali F 2008 Buffalo behavioural response to machine milking in early lactation. *Italian Journal of Animal Science* **7** 287–295

De Passillé AM, Marnet PG, Lapierre H & Rushen J 2008 Effects of twice-daily nursing a calf on milk ejection and milk yield during nursing and milking in dairy cows. *Journal of Dairy Science* **91** 1416–1422

Dzidic A, Macuhova J & Bruckmaier RM 2004 Effects of cleaning duration and water temperature on oxytocin release and milk removal in an automatic milking system. *Journal of Dairy Science* **87** 4163–4169

Eisa MO, Abu-Nikhaila AM, Abd El Majid AM & Abdel Moniem MAE 2012 Study on milk stimulation interval in camels using the nomadic traditional method. *Algerian Journal of Arid Environment* **2** 42–49

Gorewit RC & Aromando MC 1985 Mechanisms involved in the adrenalin induced blockade of milk ejection in dairy cattle. In *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, vol. 180, pp. 340–347

Gorewit RC & Gasman kB 1985 Effect of duration of udder stimulation on milking dynamics and oxytocin release. *Journal of Dairy Science* **68** 1813–1818

Hammadi M, Atigui M, Ayadi M, Barmat A, Belgacem A, Khaldi G & Khorchani T 2010 Training period and short time effects of machine milking on milk yield and milk composition in Tunisian Maghrebi camels (*Camelus dromedarius*). *Journal of Camel Practice and Research* **17** 1–7

Hammun HM, Bruckmaier RM, Honegger UE & Blum JW 1994 Distribution and density of α- and β-adrenergic binding sites in the bovine mammary gland. *Journal of Dairy Research* **61** 47–57

Hemsworth PH, Barnett JL & Coleman GJ 1993 The human-animal relationship in agriculture and its consequences for the animal. *Animal Welfare* **2** 33–51

Jacobs JA & Siegford JM 2012 Lactating dairy cows adapt quickly to being milked by an automatic milking system. *Journal of Dairy Sciences* **95** 1575–1584

Juhasz J & Nagy P 2008 Challenges in the development of a large-scale milking system for dromedary camels. In *Proceedings of the WBC/ICAR 2008 Satellite Meeting on Camelid Reproduction*, pp. 84–87 (Eds P Nagy, G Huszenicza & J Juhasz) Budapest, Hungary

Kaskous S & Bruckmaier RM 2011 Best combination of pre-stimulation and latency period duration before cluster attachment for efficient oxytocin release and milk ejection in cows with low to high udder-filling levels. *Journal of Dairy Research* **78** 97–104

Labussière J 1999 The physiology of milk ejection: consequences on milking techniques. In *Biology of Lactation*, pp. 307–343 (Eds J Mariner, LM Houdebine & HH Head). Paris: INRA

Macuhova J, Tancin V, Kraetzl WD, Meyer HHD & Bruckmaier RM 2002 Inhibition of oxytocin release during repeated milking in unfamiliar surroundings: the importance of opioids and adrenal cortex sensitivity. *Journal of Dairy Research* **69** 63–67

Macuhova J, Tancin V & Bruckmaier RM 2004 Oxytocin release and milk removal after delayed or long-lasting teat cup attachment during automatic milking. *Livestock Production Science* **87** 237–244

Marnet PG & Negrao JA 2000 The effect of a mixed-management system on the release of oxytocin, prolactin, and cortisol in ewes during suckling and machine milking. *Reproduction Nutrition and Development* **40** 271–281

Martin P & Bateson P 1993 *Measuring Behaviour – An Introductory Guide*, 2nd edn, p. 222. Cambridge: Cambridge University Press

Neijenhuis F & Hillerton JE 2003 Effects of milking interval on teat condition and milking performance with whole-udder take off. Report of EU project: *Implications of the introduction of automatic milking on dairy farms*. Available in http://www.automaticmilking.nl/Projectresults/Reports/Deliverable022.pdf February 04 2014

Rasmussen MD, Frimer ES, Galton DM & Petersson LG 1992 The influence of premilking teat preparation and attachment delay on milk yield and milking performance. *Journal of Dairy Science* **75** 2131–2141

Reinemann DJ, Mein GA & Ruegg PL 2001 Evaluating milking machine performance. In *VII International Congress on Bovine Medicine*, Oviedo, Asturias, Spain, June 29–July 1, 2001

Rushen J, de Passille AMB & Munksgaard L 1999. Fear of people by cows and effects on milk yield, behaviour, and heart rate at milking. *Journal of Dairy Sciences* **82** 720–727

Rushen J, Munksgaard L, Marnet PG & DePassille AM 2001 Human contact and the effect of acute stress on cows at milking. *Applied Animal Behaviour Science* **73** 1–14

Salamon D, Matokovic I, Batinic V & Dzidic A 2011 The effect of pre-stimulation on milking characteristics in Simmental, Holstein-Friesian and Brown Swiss cow breed. *Agriculturae Conspectus Scientificus* **76** 317–320

Schmidt GH 1971 *Biology of Lactation*, p. 151. San Francisco, CA, USA: WH Freeman and Company

Seifu E 2009 Analysis on the contributions of and constraints to camel production in Shinile and Jijiga zones, eastern Ethiopia. *Journal of Agriculture and Environment for International Development* **103** 213–224

Squires SL 2003 *Applied Animal Endocrinology*, p. 234. Cambridge, MA, USA: CABI Publishing

Stefanowska J, Plavsic M, Ipema AH & Hendriks MMWB 2000 The effect of omitted milking on the behaviour of cows in the context of cluster attachment failure during automatic milking. *Applied Animal Behaviour Sciences* **67** 277–291

Welp T, Rushen J, Kramer DL, Festa-Bianchet M & De Passillé AMB 2004 Vigilance as measure of fear in dairy cattle. *Applied Animal Behaviour Science* **87** 1–13

Weiss D, Dzidic A & Bruckmaier RM 2003. Effect of stimulation intensity on oxytocin release before, during and after machine milking. *Journal of Dairy Research* **70** 349–354

Wellnitz O, Bruckmaier RM & Blum JW 1997 Naloxone and adrenergic blocking agents fail to abolish central inhibition of milk ejection in cows. *Journal of Dairy research* **64** 627–663

Wenzel C, Schönreiter-Fischer S & Unshelm J 2012 Studies on step-kick behavior and stress of cows during milking in an automatic milking system. *Livestock Production Science* **83** 237–246

Yagil R, Van Creveld C, Abu-R'Kaik G & Merin U 1999 Milk "Let-down" in camels. *Journal of Camel practice and Research* **6** 27–29

Partie 3: DISCUSSION GÉNÉRALE

DISCUSSION GÉNÉRALE

Ce travail de thèse a été mis en place dans le but de répondre aux questions posées suite à la création de plusieurs fermes d'élevage de chamelle laitière en intensif dans les oasis et les périmètres irrigués du sud Tunisien. L'intensification de l'élevage s'est traduit par une augmentation considérable de la production laitière des animaux de 2 l/jour à 6 l/jour en moyenne, avec des pics allant jusqu'à 10 l/jour (constatation personnelle). Dans ces nouvelles conditions, la pratique traditionnelle de la traite manuelle en présence du chamelon est devenue une charge supplémentaire qui limite la productivité de l'élevage et alourdit le travail de l'éleveur au cours de la traite. Ainsi la traite mécanique s'est imposée afin de maximiser le profit de l'éleveur, assurer la vidange rapide et complète de la mamelle, réduire le temps de travail et collecter un lait de meilleure qualité hygiénique et mieux adapté pour la transformation et la commercialisation. Cependant, nos connaissances sur l'aptitude de la chamelle à la traite mécanique sont limitées et l'introduction de cette novelle technologie dans l'élevage de chamelle laitière s'est fait avant même de mettre en place les principes de base d'une utilisation adéquate. Ce travail présente le premier pas dans le thème aptitude à la traite mécanique et conduite d'élevage de la chamelle dont le champ reste vaste et multidisciplinaire. C'est pourquoi, le cadrage du questionnement scientifique de ce travail s'est révélé difficile. Par ailleurs, il a fallu soit des adaptations méthodologiques (usage du Lactocorder, échographie…) ou encore des étapes préliminaires de description des paramètres qui devraient être soumis à l'étude (paramètres de la courbe d'éjection du lait, les traits morphologiques).

La majorité des résultats obtenus durant ce travail de thèse sont originaux et permettent d'avancer dans nos connaissances sur l'aptitude de la chamelle à la traite mécanique. Les animaux étudiés présentaient une grande variabilité des caractères décrivant l'aptitude à la traite mécanique. Cette variabilité suggère qu'une vraie sélection sur ces critères doit être effectuée, d'autant plus que le matériel et les méthodes utilisés pour l'évaluation de ces critères ont prouvé leur efficacité et intérêt dans l'enregistrement et la qualification des différents paramètres suivis.

1. Morphologie externe de la mamelle et du trayon et aptitude à la traite mécanique de la chamelle

La littérature offre peu de données sur les caractéristiques morphologiques de la mamelle de la chamelle. Cependant, l'étude des facteurs qui influent l'aptitude à la traite

mécanique est indispensable afin de réussir l'introduction de cette technologie dans l'élevage du dromadaire. Globalement, les travaux réalisés sur le volet morphologique ont montré que la chamelle Maghrebi en Tunisie possède une mamelle et des trayons assez développés. Une forte hétérogénéité entre les animaux dans les mêmes conditions d'élevage a été enregistrée. L'amélioration des conditions d'élevage a permis l'augmentation du volume de la mamelle et des trayons et l'augmentation de la production laitière. La longueur et le diamètre du trayon ont doublé, la distance entre les trayons a augmenté considérablement. De même, la profondeur et la circonférence de la mamelle ont augmenté parallèlement à l'augmentation de la quantité du lait stockée. Sans oublier que dans le système d'élevage extensif ou mixte, les chamelles ont été constamment tétées. Ainsi, notre estimation de la production de lait de plus de 24 h est probablement sous-estimée. En effet, généralement chez les brebis (Marnet et Negrao 2000), les chèvres (Hernandez et al, 2002, 2007) ou les vaches (De Passillé et al, 2008), un système mixte traite/tétée qui implique la conservation du lien maternel, cause une réduction nette de l'efficacité du reflexe d'éjection du lait pendant les épisodes de traite. Nous devons également garder à l'esprit que les chamelles conduites dans un système mixte de traite/tétée, nécessite une bonne morphologie pour que la chamelle puisse allaiter son chamelon sans avoir besoin de l'intervention du chamelier à cause des trayons trop larges. Par ailleurs, dans un système de traite exclusif, les mamelles subissent une pression due à un intervalle de traite assez étendu, ainsi l'augmentation des dimensions mesurées au cours de ce travail peut être expliquée par une adaptation des animaux à ces intervalles étendus. Nous devons ainsi essayer de conserver une bonne morphologie et éviter une modification de la mamelle excessive pour l'avenir dans le système intensif si nous voulons préserver aussi une bonne adaptation de la mamelle à la machine à traire.

Nos observations chez les chamelles élevées exclusivement sur le parcours et celles conduites en système mixte sont comparables aux valeurs rapportées chez la chamelle Arabie-Lahwee au Soudan élevées dans des conditions similaires (Eisa et al., 2010). Alors que nos chamelles élevées en intensif se caractérisaient particulièrement par des trayons plus larges comparées aux chamelles élevées dans des conditions proches en Arabie Saoudite (Ayadi et al., 2013). D'une façon générale, il s'avère que nos chamelles possèdent des trayons particulièrement larges comparés à la vache (Rogers et Spenser, 1991 ; Zwertugher, 2012) et à la bufflonne (Prassad et al., 2010). Ces résultats doivent être pris en considération au moment de l'adaptation ou la conception d'une machine à traire pour la chamelle. D'ailleurs, Hammadi et al. (2010) ont cité que l'égouttage manuel est une pratique assez courante lors de

la traite mécanique des chamelles. Ceci indique l'incompatibilité des gobelets trayeurs à la morphologie des trayons. En effet, nous avons remarqué un besoin particulier à la traite à des niveaux de vide élevé (48 kPa) de ces chamelles. En testant l'effet de combinaisons de deux niveaux de vide (38 et 48 kPa) et trois niveaux de pulsation (60, 90 et 120 cpm), nous avons conclus que les chamelles préfèrent la traite avec le traitement 48 kPa/ 60 cpm. A ce réglage, le débit de lait a été significativement plus élevé et a conduit à une meilleure vidange mammaire. Par ailleurs, la traite à faible niveau de vide est à l'origine d'une vidange incomplète de la mamelle (perte de 40 à 56% du lait en fonction de la pulsation). Contrairement à nos attentes, l'efficacité de la machine à traire à stimuler l'éjection du lait, dans notre cas dépend du niveau du vide plutôt que la fréquence de pulsation ($\chi^2 = 6.41$; $P<0,01$). Effectivement, l'éjection du lait s'est produite dans 33% à 67% des cas à 38 kPa en fonction de la pulsation utilisée. Alors qu'à 48 kPa, ce pourcentage s'est élevé à 83% à 100%. Néanmoins, Marnet (2013) a rapporté que le niveau de vide et le rapport de pulsation ont un effet plutôt physique sur les trayons afin de maintenir les gobelets trayeurs en place et assurer le drainage du lait de la griffe aux tuyaux à lait. Par contre, la fréquence de pulsation fournis l'action de massage des trayons et stimulation physiologiques des animaux. Nos résultats peuvent être expliqués par l'incompatibilité des gobelets trayeurs et la morphologie des trayons qui ont visiblement besoin de plus de vide afin d'assurer leur enfoncement dans les gobelets de façon à permettre un meilleur massage et stimulation des trayons. Wernery et al. (2004) ont rapporté que les faisceaux trayeurs sont souvent attachés à l'extrémité des trayons pour les chamelles aux trayons volumineux et en utilisant un niveau de vide faible (36 à 40 kPa).

Sachant qu'une grande variabilité entre les animaux élevés dans les mêmes conditions a été enregistrée, ces résultats soutiennent fortement la nécessité d'une meilleure adaptation des faisceaux trayeurs afin de mieux répondre à la variabilité morphologique des trayons d'une part et suggèrent la possibilité d'une véritable sélection sur des critères laitiers d'autre part. En effet, dans un travail décrivant les sous populations du dromadaire en Tunisie, Chniter et al. (2013) ont rapporté l'existence d'un type dit «Khaouar» qui possède un potentiel laitier supérieur. Cependant, ce type n'est pas recherché par les éleveurs du dromadaire, puisqu'il n'est pas bien adapté aux conditions sévères de l'élevage extensif. Ce type représente 2,3% des troupeaux étudiés dans la région du sud-est Tunisien.

Par ailleurs, la différence des mensurations entre les deux moitiés avant et arrière de la mamelle de la chamelle corrobore avec les observations d'Eisa et Hassabo (2009) qui ont

montré que les quartiers arrières sont plus profonds et ont des trayons plus larges suggérant un potentiel laitier plus importants dans la moitié arrière de la mamelle. D'ailleurs, ces derniers auteurs ont trouvé que les quartiers arrière produisent 15% plus de lait. De façon générale, le déséquilibre de la mamelle peut causer la prolongation de la durée de la traite. Chez la vache laitière, Weiss et al (2004) ont montré que les quartiers arrières ont une production laitière, un débit maximum et une durée de traite plus élevés. De même, en étudiant l'évolution de la taille citernale en fonction du stade de lactation, nous avons constaté que le ratio taille citernale quartier avant/quartier arrière est de 45:55. Ces résultats concordent avec les résultats présentés par Caja et al (2011), qui ont rapporté une répartition du lait entre les quartiers avant et arrière de 44:56 chez la chamelle de race Maghrebi en Egypte.

Indépendamment du mode d'élevage, les mensurations de la mamelle et des trayons ont chuté en fin de lactation. En outre, les trayons étaient plus courts, flasques et vides. Egalement, l'échographie a montré que les mensurations internes des trayons ont chuté significativement en fin de lactation. Ceci est principalement dû à la chute de la quantité du lait stockée dans les cavités cisternales avant l'éjection du lait, menant à des trayons plus flasques par rapport au début et milieu de la lactation. Cela suggère un transfert de lait moins efficace des alvéoles vers la citerne durant la période entre traites, en réponse à la chute de la production laitière en fin de lactation en conséquence de la diminution du tissu sécrétoire et la chute du taux de la sécrétion lacté (Wilde et al, 1997). Une pré-stimulation de la mamelle et des trayons appropriée doit être envisagée afin d'améliorer le tonus du trayon avant la fixation des gobelets trayeurs. Ceci permettrait d'éviter les risques potentiels de la traite sur des trayons vides et le risque d'une vidange incomplète du lait (Nickerson, 1992).

Des corrélations positives ont été calculées entre la production laitière journalière et la profondeur de la mamelle ($r = 0,52$; $P<0,0001$), le périmètre entre les trayons ($r = 0,34$; $P< 0,001$) et le diamètre du trayon avant ($r = 0,41$; $P< 0,0001$). Les mensurations des trayons arrières s'avèrent non corrélées ($P > 0,05$) à la production laitière à cause probablement d'une très grande hétérogénéité de leurs formes et dimensions comparativement à celles observées pour les trayons avants. D'une manière générale, Dioli (2013) rapporte que les trayons très petits sont difficiles à traire et risque à la fois la blessure des trayeurs et de l'animal. Par ailleurs, les animaux ayant des trayons très larges sont à éviter, autant plus que leur traite est difficile et rend la tétée par leurs chamelons une action très difficile et nécessite l'intervention du chamelier. Une étude complémentaire menée à la station expérimentale de Chenchou sur 20 chamelles bien adaptées à la traite mécanique, afin de déterminer les facteurs anatomiques

influençant les paramètres de l'aptitude à la traite mécanique. Ce travail a permis de confirmer les corrélations trouvées précédemment. En effet, la production laitière a été positivement corrélée au diamètre (r = 0,56 ; P<0,001) et la longueur du trayon (r = 0,61 ; P<0,001) et la profondeur de la mamelle (r= 0,53 ; P<0,001). De même, les débits maximum et moyen sont positivement corrélés au diamètre et la longueur du trayon. Rogers et Spencer (1991) ont trouvé que la production laitière chez la vache est positivement corrélée au diamètre et la longueur du trayon. Néanmoins, à l'échelle du trayon, Wiess et al. (2004) ont trouvé que les mensurations externes du trayon ne sont pas corrélées au débit maximum et moyen du lait, alors que la longueur du canal du trayon a été liée à une réduction des débits maximum et moyen du lait. Cette différence peut être attribuée à la pression de sélection que connait l'espèce bovine.

L'étude de la forme du trayon a montré une grande hétérogénéité entre individu et au sien du même animal. Il est fréquent de trouver différentes formes de trayon sur la même mamelle. Ainsi, l'étude de la corrélation de la forme du trayon aux paramètres de la cinétique d'émission de lait n'est possible qu'avec l'enregistrement des paramètres du flux de lait à l'échelle du trayon. Sur 80 trayons étudiés, on a distingué 3 classes de forme essentiellement : conique ou entonnoir (41%), cylindrique (39%) et irrégulière (20%). La sélection des mamelles les plus uniformes faciliterait la traite et démunirait le besoins aux interventions manuelles.

Ces résultats présentent les premiers éléments pour mettre en place un schéma de sélection en se basant sur les traits morphologiques et aptitude à la traite mécanique chez la chamelle afin d'améliorer la productivité et la longévité des animaux en réduisant les réformes liées aux défauts d'ordre morphologique. Quoique des études supplémentaires sont nécessaires afin de confirmer ces résultats, vue l'effectif faible des animaux traits à la machine disponible.

2. Taille citernal et répartition du lait dans la mamelle de la chamelle

Il est évident que la chamelle possède une citerne réduite comparée aux citernes enregistrées chez d'autres animaux laitiers (Bruckmaier et Blum, 1992 ; Ayadi et al, 2003 ; Salama et al, 2004 ; Castillo et al, 2008). Ces résultats sont cohérents avec les résultats présentés par Caja et al (2011) qui on trouvé un ratio moyen de 7,4% de lait citernal chez la chamelle en mi-lactation. Egalement, chez la bufflonne le pourcentage de lait citernal représente 4,9 ± 0,1 % (Thomas et al, 2004). La taille moyenne de la citerne d'un quartier est

estimée de 16,3 ± 2,3 cm² dont la citerne de trayon représente 85%. Ces valeurs sont inférieures à celles estimées chez la bufflonne (69,6 ± 4,6 ; 51,61 ± 4,8 et 26,01 ± 4,8 cm² respectivement au début, milieu et fin de lactation) par Thomas et al (2004) qui ont trouvé que la citerne de trayon représente la moitié de la taille citernale totale d'un quartier. Le lait citernal a été hautement corrélé à la surface citernale estimée indiquant que l'échographie a permis une bonne prédiction de la taille des cavités internes du trayon et de la mamelle. Ces résultats concordent avec les résultats trouvés par Caja et al (2004) chez la vache laitière et par Thomas et al (2004) chez la bufflonne.

Au milieu de la lactation et après un intervalle de traite de 16 h, les trayons étaient pleins, fermes et rigides indiquant que la citerne a atteint ses limites de stockage et pousse le lait vers la partie extensible de la mamelle c'est-à-dire le trayon. En effet, après éjection du lait, la distension des dimensions internes du trayon mesurée par échographie au milieu de lactation a été minime (7% en longueur et 13% en diamètre). En revanche, à la fin de lactation le trayon s'est étendu 78% en longueur et 58% en diamètre. Ces résultats suggèrent d'une part l'importance de la pré-stimulation en fin de lactation comme nous l'avons expliqué, d'autre part l'importance de raccourcir l'intervalle entre traite particulièrement en période de haute production (début et milieu de lactation) à cause d'un niveau de remplissage élevé de la mamelle. Caja et al (2011) ont trouvé que le taux de sécrétion par heure du lait décroit linéairement de 4 h à 24 h d'intervalle entre traite et stagne à partir de 12 h d'intervalle. Ils ont conclu qu'il ne faut pas dépasser un intervalle de 16 h. Ces observations expliquent la pratique de plus de deux traites par jour. Dioli (1992) a rapporté la pratique de 2 à 6 traites par jour et que la fréquence de traite dépond de la saison, du stade de lactation et du niveau de la production laitière.

La disponibilité de la fraction du lait citernale avant la pose des gobelets trayeurs influence non seulement la pratique de traite employée mais aussi la cinétique d'émission du lait. Chez la chamelle comme chez la bufflonne (Thomas, 2004), la présence de la fraction très réduite de lait citernale se traduit par une cinétique d'émission de lait bimodale. Inversement, une cinétique d'éjection de lait unimodale chez la chamelle ne signifie pas forcement l'éjection précoce du lait, mais tous simplement l'absence ou présence des quantités très limités du lait citernal incapable de déclenché un deuxième pic. Alors que chez la vache laitière, une courbe bimodale indique une mauvaise stimulation et éjection tardive du lait. Le pourcentage des courbes bimodales varie en fonction du stade de lactation en conséquence de la variation de la quantité du lait citernal. En effet, cette proportion chute en

fin de lactation (9% de courbes bimodales) suite à la chute de la quantité du lait citernal qui devient à peine détectable (70 ml). Ainsi, l'interprétation des courbes d'éjection de lait chez la chamelle diffère de celle des autres espèces laitières. La description des cinétiques d'émission de lait chez la chamelle est une étape primordiale afin d'évaluer l'aptitude de cette espèce à la traite mécanique.

3. Interprétation des cinétiques d'émission de lait de la chamelle

Les cinétiques d'émission de lait sont couramment enregistrées afin d'évaluer le déroulement du processus de la traite d'une part et l'aptitude à la traite mécanique des animaux d'autre part (Bruckmaier et al, 1995 ; Marnet et al, 1999 ; Boselli et al, 2010). Nos résultats ont permis de décrire 3 classes de profils de courbe d'éjection de lait en se basant sur le débit maximum et le temps de la traite. Les animaux ayant des cinétiques de type 1 se caractérisent probablement par une résistance réduite du sphincter du trayon ou un canal du trayon plus large permettant une vidange rapide et continu de la mamelle qui se traduit par des courbes en pic sans limite du débit maximum. Les chamelles classées type 2 se caractérisent par des cinétiques à débit maximum intermédiaire et une phase plateau plus étendue dues probablement à des canaux de trayons plus étroits. Les profils de type 3 correspondent aux animaux qui peuvent être qualifiés comme les plus difficiles à traire. Le débit de lait reste faible le long de la traite ce qui prolonge relativement la durée de la traite. Les cinétiques d'émission de lait décrites chez la chamelle sont proches de celles décrites par Boselli et al (2010) et Caria et al (2012) chez la bufflonne. Boselli et al (2010) ont rapporté que la différence entre les différents profils de courbe est associée aux différences de longueur et diamètre du canal du trayon. Ils ont trouvé que les animaux présentant des courbes de type 3 se caractérisent par des canaux de trayon particulièrement longs. Il est intéressant de signaler que les animaux peuvent changer de classe de cinétique. En effet, les animaux types 1 et 2 peuvent présenter des cinétiques de type 3 une fois stressés ou effrayés. Ceci peut être expliqué par une réduction de l'efficacité de reflex d'éjection de lait comme l'ont décrit Negrao et Marnet (2003). Nos résultats de dosage de cortisol au cours de la traite n'ont pas montré une différence significative entre les différents types de courbe. Toutefois, nous avons enregistré pour une chamelle présentant des signes de stress aigue associés à un niveau de cortisol très élevé, des courbes d'éjection de lait de type 3. En effet, chez la vache laitière, Bruckmaier et al (1996) ont rapporté que le stress environnemental ou émotionnel cause l'inhibition ou le retard du reflex d'éjection du lait. Cependant, l'hypothèse d'une inhibition centrale du reflexe d'éjection du lait est peu plausible. Vue que la chamelle se caractérise

d'une citerne réduite (< 5% du lait citernal), il est évident que même pour les animaux de type 3 on a pu récolter du lait alvéolaire, supposant qu'une décharge d'ocytocine a eu lieu mais n'a pas pu accéder suffisamment la mamelle. Gorewit et Aromando (1985) ont expliqué l'inefficacité du reflexe d'éjection du lait par la réduction du flux sanguin irrigant la mamelle suite à l'action vasoconstrictrice de l'adrénaline secrétée en cas de stress. Ceci réduit l'action de l'ocytocine sur les cellules myoépithéliales ce qui se traduit par une réduction de la contraction du myoépithélium et par conséquent la pression intra-mammaire diminue expliquant les débits faibles observés chez ces animaux. Les débits faibles dans ce cas peuvent être aussi expliqués par une restriction *via* les canaux galactophores et le canal du trayon par stimulation des récepteurs α-adrénergiques qui peuvent limiter le transfert du lait du compartiment alvéolaire au citernal et gêner son évacuation à travers le canal du trayon (Hammon et al, 1994). Néanmoins, un freinage *via* la contraction du trayon est moins probable vue que la stimulation des récepteurs α-adrénergiques est incapable de s'opposer à la l'action du vide appliqué par la machine et de réduire le débit de lait chez la vache laitière (Bernabé et Ricordel, 1985).

Comme nous l'avons montré, la bimodalité est en fonction de la quantité du lait extraite de la citerne avant éjection du lait. Evidement, à des niveaux élevés de production laitière, la pression intra-mammaire augmente dans les alvéoles et le lait est poussé vers les cavités citernales. L'augmentation de la pression intra-mammaire facilite l'ouverture du sphincter du trayon, ainsi la détection de la bimodalité. Nos résultats montrent que les meilleures productrices présentent plus des courbes d'éjection de lait bimodales. Ces observations corroborent avec les résultats trouvés par Borghese et al (2007) chez la bufflonne. Par ailleurs, la fréquence importante des courbes bimodales au début et milieu de la lactation suggère l'importance de la pré-stimulation pour cette espèce. Cette pratique est recommandée pour les espèces à citerne réduite telles que la vache (Rassmussen et al, 1992) et la bufflonne (Ambord et al, 2010), afin d'assurer un débit maximum plus élevé, une traite plus rapide et de réduire la fréquence de la bimodalité.

Nos résultats suggèrent que la chamelle présente une bonne aptitude à la traite mécanique. En moyenne, l'éjection du lait se produit au bout d'une minute chez la chamelle. Ce temps est similaire à celui enregistré chez la vache (de 1 à 2 min) et plus court que le temps enregistré chez la bufflonne qui peut aller jusqu'à 3 min de stimulation afin d'éliciter le reflex d'éjection de lait. Le débit maximum et moyen du lait atteint 2,46 et 1,15 kg/min respectivement, comparé à la vache qui enregistre un débit maximum de 3,8 kg/min

(Sandrucci, 2007) et la bufflonne qui enregistre un débit maximum et moyen de 1,36 et 0,86 kg/min, respectivement (Boselli et al, 2010). Il est convenable de signaler que la variabilité inter-animale des caractéristiques d'émission de lait est importante. Nous avons noté durant le même jour en milieu de la lactation des débits maximum allant de 1,85 à 5,27 kg/min. Ceci indique la possibilité de sélection des animaux sur la base des critères d'aptitude à la traite mécanique.

Nos résultats suggèrent que la chamelle présente une bonne aptitude à la traite mécanique même sans aucun traitement particulier durant la traite. L'étude de l'effet des conditions de la routine de traite sur les caractéristiques liées à l'aptitude à la traite de la chamelle peut fournir une meilleure idée sur les pratiques et les consignes à suivre lors de la traite mécanique de cette espèce qu'on l'a jugé souvent difficile à traire.

4. Routine et environnement de traite mécanique de la chamelle

Une traite mécanique efficace doit permettre une vidange rapide et complète du lait avec le minimum d'intervention manuelle. Durant ce travail, on s'est intéressé à l'étude des changements de la routine de traite sur l'efficacité de la traite et la réponse comportementale des chamelles. Nous avons observé qu'une pré-stimulation de 30 s a permis de réduire l'incidence des cinétiques d'émission de lait bimodales et d'améliorer le profil de ces courbes. Toutefois, son effet sur la production laitière totale et les débits maximum et moyen du lait a resté limité dans les conditions de cette expérience. Cette pratique pourrait être plus intéressante à des niveaux de remplissage de la mamelle faibles à savoir en fin de lactation au moment où les trayons paraient vides et flasques. En effet, Kaskous et Bruckmaier (2011) ont montré qu'une courte pré-stimulation combinée à une légère attente avant la pose du faisceau trayeur permet une meilleure efficacité de la traite chez la vache laitière, à des niveaux faibles de remplissage de la mamelle, notamment en fin de lactation et à des intervalles entre traite courts. Cependant, la perturbation des animaux par un bruit inhabituel dès le début de la traite ou même après éjection du lait a provoqué l'interruption de la vidange mammaire et la perturbation du comportement des chamelles. L'éjection du lait a significativement retardé (1,58 ± 0,17 min contre 0,75 ± 0,11 min au contrôle). Le lait résiduel a augmenté considérablement (plus que 40% de la production laitière totale), alors que les débits maximum et moyen ont significativement baissé. Une telle perturbation de l'éjection du lait peut être expliquée par une inhibition centrale du reflexe comme le rapporte par Bruckmaier et al (1993) chez les vaches traites dans un environnement non familier. Toutefois, dans le cas

où la perturbation est appliquée après l'éjection du lait, ont a enregistré une vidange de lait incomplète et une augmentation de la fréquence des cinétiques d'émission de lait de type 3. Ceci peut être attribué à une chute rapide du débit sanguin irrigant la mamelle et par conséquence l'accès de l'ocytocine à ses récepteurs sur la mamelle causé par l'action vaso-constructive de l'adrénaline et la noradrénaline secrétées en cas de stress (Gorewit et Aromando, 1985). Cette explication peut être aussi attribuée à la chute des débits maximum et moyen de lait. Par ailleurs, cette vidange incomplète de la mamelle peut être aussi expliquée par la stimulation des récepteurs α-adrénergiques dans les canaux galactophores et le mur du trayon qui peuvent bloquer le transfert du lait des alvéoles à la citerne (Bruckmaier et al, 1991; Hammon et al, 1994). Cette perturbation a provoqué l'augmentation de la vigilance des animaux au cours de la traite ainsi que les tentatives d'échapper de l'enclos de traite. Par contre les comportements de rumination au cours de la traite et défécation avant éjection du lait ont chuté considérablement. En revanche, le retard de la pose du faisceau trayeur plus d'une minute après la fin de la préparation de la mamelle a conduit à des pertes importantes de lait. Jusqu'au 62% de la quantité totale de lait a été retenue dans la mamelle à 4 min de retard. Les débits maximum et moyens ont diminué significativement en fonction du délai de la pose, malgré le transfert du lait alvéolaire vers la citerne. En effet, à cause de la taille réduite de la citerne chez la chamelle (capacité < 5% du lait totale), le lait alvéolaire ne peut être transféré en totalité vers la citerne et ne peut être vidangé de la mamelle que suite à un deuxième reflexe d'éjection de lait. Les signes de vigilance et les tentatives d'échapper l'enclos de traite ont débuté à partir de 2 min d'attente. Après 4 min de retard, les chamelles ont exhibé des signes de stress aigue (vocalisation, miction). L'observation du comportement des chamelles durant la traite mécanique a montré que la défécation à l'éjection du lait et la rumination durant la traite peuvent être considérées comme critères de bien-être de chamelle au cours de la traite.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les objectifs de la thèse étaient à la fois d'apporter des connaissances sur l'aptitude de la chamelle à la traite mécanique, de décrire la variabilité morphologique et le potentiel de cette espèce et plus particulièrement de déterminer les principales conditions et pratiques de traite à adopter. Nos travaux ont permis d'apporter des réponses aux différentes questions tout en faisant émerger un ensemble de questionnements scientifiques et techniques liés à la traite mécanique.

Les principaux résultats de ce travail de thèse montrent que les chamelles Magherbi possèdent une bonne aptitude à la traite mécanique:

- Les chamelles sont caractérisées par une grande variabilité morphologique de la mamelle et des trayons indiquant la possibilité de sélection sur ces critères. L'intensification de l'élevage s'est traduite par une augmentation du volume du pis et des trayons en réponse à une augmentation de la production laitière.
- Durant la période de forte production, les trayons paraissent rigides, pleins et gonflés avant éjection du lait, leur distension suite à l'éjection de la fraction alvéolaire est minimale suggérant la nécessité de revoir la répartition des traites par jour. Toutefois, en fin de lactation les trayons paressent effondrés, pliés et relativement vides. Après éjection du lait, les dimensions du trayon et la taille citernale augmentent considérablement, indiquant la nécessité de la pré-stimulation en fin de lactation.
- Les chamelles se caractérisent par des citernes réduites. La fraction citernale représente moins de 5%. Ainsi durant la traite mécanique, le débit de lait n'augmente qu'après éjection de la fraction alvéolaire.
- Les chamelles préfèrent la traite à un niveau relativement élevé de vide et une fréquence de pulsation faible. Nous recommandons l'utilisation d'un réglage machine de 48 kPa/60 cpm.
- L'analyse des courbes d'éjection du lait a permis de classifier les chamelles en 3 classes en se basant sur le débit et la durée de la traite. Les animaux classés type 1 et 2 (78%) présentent une bonne aptitude à la traite mécanique. La variabilité des caractéristiques de la traite chez les chamelles nous a mené à supposer qu'une sélection sur cette base doit être effectuée.
- La pratique de la pré-stimulation a permis de diminuer la fréquence des courbes bimodales et d'augmenter la proportion des courbes type 1.

- La perturbation des chamelles avant éjection du lait et même au cours du processus de la traite a causé des rétentions du lait et la perturbation du comportement des animaux.
- Le retard de la pose des gobelets trayeurs après la stimulation de la chamelle au-delà de 2 min a causé d'une part, des pertes importantes de la production laitière jusqu'à 62% du lait et d'autre part a perturbé considérablement le comportement des animaux.

Ainsi, afin d'améliorer l'efficacité de la traite et assurer une bonne stimulation continue du reflexe d'éjection du lait il est recommandé de traire dans un endroit calme, assurer une bonne pré-stimulation des animaux et éviter toute perturbation au cours de la traite. De même, la pose des gobelets trayeurs doit être effectuée au plus tard dans une minute du début de la préparation de la chamelle afin d'éviter les retentions du lait et éventuellement la chute de la production laitière si ces accidents sont fréquents.

L'effet des intervalles de traite étendus sur la capacité de stockage de la mamelle de la chamelle doivent être étudié en particulier durant les périodes de forte production, vue la taille réduite de la citerne. Par ailleurs, des études complémentaires doivent être menées pour tester le meilleur réglage machine avec d'autre équipement et environnement de traite (salle de traite, type et poids du faisceau) sur la réponse endocrinienne, le comportement, la production et la santé mammaire chez cette espèce.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdallah, H.R. and Faye, B. 2012. Phenotypic classification of Saudi Arabian camel (*Camelus dromedarius*) by their body measurements. *Emirate Journal of Food and Agriculture,* 24: 272–280.

Abshenas, J., D. Vosough, M. Masoudifard and Molai, M.M. 2007. B-mode ultrasonography of the udder and teat in camel (*Camelus dromedarius*). *Journal of Veterinary Research,* 62: 27-31.

Agrawal R.P., Swami S.C., Beniwal R., Kochar D.K. and Kothari R.P. 2003. Effect of camel milk on glycemic control, risk factors and diabetes quality of life in type 1 diabetes: A randomized prospective controlled study. *Journal of Camel Practice and Research*, 10: 45–50.

Alfonso RE, Herrera HJ., Lemus FC, Ortega CME, Cortez RC, Pérez PJ, 2011. Morphometric characterization of American Brown Swiss cow in tropical region of Chiapas, Mexico. *Journal of Animal veterinary Advances*, 4: 454-459.

Al-Saiady, M. Y., Mogawer, H. H., Faye, B., Al-Mutairi, S. E., Bengoumi, M., Musaad, A. and Gar-Elnaby, A., 2012. Some factors affecting dairy she-camel performance. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24 (1): 85–91

Alshaikh, M. A., and Salah M. S. 1994. Effect of milking interval on secretion rate and composition of camel milk in late lactation. *Journal of Dairy Research*, 61: 451–456.

Ambord S, Stoffel HM & Bruckmaier MR 2010 Teat anatomy affects requirements for udder preparation in Mediterranean buffaloes. *Journal of Dairy Research*, 77: 468–473.

Ambord S. and Bruckmaier R.M. 2009. Milk flow-controlled changes of pulsation ratio and pulsation rate affect milking characteristics in dairy cows. *Journal of Dairy Research*, 76: 272–277.

Ayadi M, Caja G, Such X, Rovai M, Albanell E, 2004. Effect of different milking intervals on the composition of cisternal and alveolar milk in dairy cows. *Journal Dairy Research*, 71: 304-310.

Ayadi M, Hammadi M, Khorchani T, Barmat A, Atigui M & Caja G 2009 Effects of milking interval and cisternal udder evaluation in Tunisian Maghrebi dairy dromedaries (*Camelus dromedarius* L.). *Journal of Dairy Science*, 92: 1452–1459.

Ayadi, M., Aljumaah, R. S., Musaad, A., Samara, E. M., Abelrahman, M. M., Alshaikh, M. A., Saleh, S. K., Faye, B., 2013. Relationship between udder morphology traits, alveolar and cisternal milk compartments and machine milking performances of dairy camels (*Camelus dromedarius*). *Spanish Journal of Agricultural Research,* 1: 790–797

Babiker, W. I. A., and I. E. M. El Zubeir. 2014. Impact of Husbandry, stages of lactation and parity number on yield and chemical composition of dromedary camel milk. *Emirate Journal of Food and Agriculture*, 26: 333-341.

Bašic Z., Džidić A. and Kostelić A. 2009. The effect of prestimulation on milking characteristics during machine milking of goat. *Mljekarstvo*, 59: 83-87.

Bava L., Sandrucci A., Tamburini A. and Zucali M. 2007. Milk flow traits of buffalo cows in intensive farming systems. *Italian Journal of Animal Science,* 6: 500–502

Beg O.U., von-Bahr-Lind strom H, Zaidi Z.H., Jornvall H. 1985. Characterisation of camel milk protein rich praline identifies a new beta casein fragment. *Regulatory Peptides*, 15: 55–62.

Belokobylenko V.T., 1978. Principles of selection of female camels for machine milking. *Vest. Sel., Khoz Nauki Kazakhsk,* 11: 65-68.

Bernabé J., and Ricordel M.J., 1985. Effets de l'adrénaline et de la phényléphrine sur l'extraction du lait au cours de la traite mécanique de la vache. *Reproduction, Nutrition and Development,* 25: 379–388.

Billon P., Chastin P., Baritaux B., Bouvier F., Ilahi H., Manfredi E. and Marnet P.G., 1999 Cinétique d'émission du lait chez la chèvre. In *Milking and Milk Production of Dairy Sheep and Goats.* (Eds Zervas N & Barillet F) EAAP Publication Wageningen Pers, Wageningen, Netherlands, **95:** 51–58.

Borghese A., Rasmussen M. and Thomas C.S., 2007. Milking management of dairy buffalo. *Italian Journal of Animal Science*, 6: 39–50.

Boselli C., Mazzi M., Borghese A., Terzano G.M., Giangolini G., Filippetti F., Amatiste S. and Rosati R., 2010. Milk flow curve and teat anatomy in Mediterranean Italian buffalo cows. *Revista Veterinaria*, 21: 576–581.

Bramley A.J., 1992. Mastitis and machine milking. in: A.J. Bramley, F.H. Dodd, G.A. Mein, J.A. Bramley (Eds.) Machine Milking and Lactation. Insight Books, Berkshire, England; pp. 343–372.

Brouillet P., Federici C., Durel L., 2003. L'examen des trayons : les lésions liées à la traite. *Journées nationales GTV, Nantes*: 333–337.

Bruckmaier R. M. and Blum J. W., 1992. B-mode ultrasonography of mammary glands of cows, goats and sheep during α- and β- adrenergic agonist and oxytocin administration. *Journal of Dairy Research*, 59:151–159.

Bruckmaier R. M. and Hilger M., 2001. Milk ejection in dairy cows at different degrees of udder filling. *Journal of Dairy Research*, 68: 369–376.

Bruckmaier R.M. and Blum J.W., 1994. Central and peripheral inhibition of milk ejection. in: O. Lind, K. Svennersten (Eds.)Proc. Int. Symp. Prospects for Future Dairying: A Challenge for Science and Industry, Tumba and Uppsala, Sweden. Alfa Laval Agri AB, Tumba, Sweden. pp 96–101.

Bruckmaier R.M. and Blum J.W., 1996. Simultaneous recording of oxytocin release, milk ejection and milk flow during milking in dairy cows with and without prestimulation. *Journal of Dairy Research*, 63: 201–208.

Bruckmaier R.M. and Blum J.W., 1998. Oxytocin release and milk removal in ruminants. *Journal of Dairy Science*, 81: 939–949.

Bruckmaier R.M., 2005. Normal and disturbed milk ejection in dairy cows. *Domestic Animal Endocrinology*, 29: 268-273.

Bruckmaier R.M., Mayer H., and Schams D., 1991. Effects of α- and β-adrenergic agonists on intramammary pressure and milk flow in dairy cows. *Journal of Dairy Research,* 59: 411–419.

Bruckmaier R.M., Pfeilsticker H.U. and Blum J.W., 1996. Milk yield, oxytocin and b-endorphin gradually normalize during repeated milking in unfamiliar surroundings. Journal of Dairy Research, 63: 191–20.

Bruckmaier R.M., Rothenanger E. and Blum J.W., 1995. Milking characteristics in dairy cows of different breeds from different farms and during the course of lactation. *Journal of Animal Breed and Genetics,* 12: 293–302.

Bruckmaier R.M., Schams D. and Blum J.W., 1993. Milk removal in familiar and unfamiliar surroundings: concentrations of oxytocin, prolactin, cortisol and b-endorphin. *Journal of Dairy Research,* 60: 449–456.

Bruckmaier R.M., Schams D. and Blum J.W., 1994. Continuously elevated concentrations of oxytocin during milking are necessary for complete milk removal in dairy cows. *Journal of Dairy Research,* 61: 323–334.

Bruckmaier R.M., Schams D., and Blum J.W., 1992. Aetiology of disturbed milk ejection in parturient primiparous cows. *Journal of Dairy Research,* 59: 479–498.

Bruckmaier R.M., Wellnitz O., and Blum J.W., 1997. Inhibition of milk ejection in cows by oxytocin receptor blockade, α-adrenergic receptor stimulation and in unfamiliar surroundings. *Journal of Dairy Research,* 64: 315–325.

Caja G., Ayadi M., Knight C.H., 2004. Changes in cisternal compartment based on stage of lactation and time since milk ejection in the udder of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87:2409–2415.

Caja G., Salama O.A., Fathy A., El-Sayed H. and Salama A.A.K., 2011. Milk partitioning and accumulation in the camel udder according to time elapsed after milking. In *Book of Abstracts of the 62nd Annual Meeting of EAAP*, Stavanger, Norway, 17: pp 363.

Caja, G., Such X., Ruberte J., Carretero A., and Navarro M., 1999. The use of ultrasonography in the study of mammary gland cisterns during lactation in sheep. In: Milking and Milk Production of Dairy Sheep and Goats. F. Barillet and N. P. Zervas, ed. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands. pp 91–93.

Caria M., Boselli C., Murgia L., Rosati R. and Pazzona A., 2012. Effect of vacuum level on milk flow traits in Mediterranean Italian buffalo cow. *Italian Journal of Animal Science*, 11: 137–139.

Castillo V., Such X., Caja G., Salama A.A., Albanell E., Casals R., 2008. Changes in alveolar and cisternal compartments induced by milking interval in the udder of dairy ewes. *Journal of dairy Science*, 91: 3403–3411.

Casu S. and Carta R., 1973. Influence de la vitesse de pulsation sur l'efficacité de traite chez la brebis Sarde. I Sym. Int. Mach. Milk. Small Rum., France. Ann. Zootech., Nº hors de série, 201-203.

Casu S., Carta R., and Ruda G., 1983. Morphologie de la mamelle et aptitude à la traite mécanique de la brebis Sarda. III Symposium Internacional de ordeño mecánico de pequeños rumiantes. Valladolid (España), 592-603.

Chniter M., Hammadi M., Khorchani T., Krit R., Benwahada A., and Ben Hamouda M., 2013. Classification of Maghrebi camels (Camelus dromedarius) according to their tribal affiliation and body traits in southern Tunisia. *Emirate Journal of Food and Agriculture*, 25 : 625-634

Chrystal M.A., Seykora A.J., and Hansen L.B., 1999. Heritabilities of teat end shape and teat diameter and their relationships with somatic cell score. *Journal of Dairy Science*, 82: 2017-2022.

Clément V., Martin P., and Barillet F., 2006. Elaboration of a total merit index combining dairy and udder type traits. in: Proc. 13èmes Rencontres Recherches Ruminants, Paris, France. pp 209–212.

Costa D.A., and Reinemann D.J., 2002. Survey Of Milking Characteristics And Milk Quality Of Brazilian Dairy Cows. Proc. Pan-American Dairy Congress, Rieberao Preto, SP, Brazil, November, 2002.

Costa D.A., and Reinemann D.J., 2004. The need for stimulation in various bovine breeds and other species. *Bulletin of the International Dairy Federation*, 388: 22-27.

Cowie A.T., Forsyth I.A., and Hart I.C., 1980. Hormonal Control of Lactation. Berlin: Springer-Verlag.

Cross B.A., 1977. Comparative physiology of milk removal. In: Comparative Aspects of Lactation. Edited by Malcolm Peaker. *Symp. Zool. Soc. Lond.* 41: 193-210.

Crowley W. R., and Armstrong W. E., 1992. Neuro-chemical regulation of oxytocin secretion in lactation. *Endocrine Reviews*, 13: 3-65.

Davis S.R., Farr V.C., Copeman P.J.A., Carruthers V.R., Knight C.H., and Stelwagen K., 1998. Partitioning of milk accumulation between cisternal and alveolar compartments of the bovine udder: Relationship to production loss during once daily milking. *Journal of Dairy Research*, 65:1–8.

Dewhurst R.J. and Knight C.H., 1992. The response to thrice-daily milking and its relationship to cisternal storage capacity in dairy cows. *Anim. Prod.* 54: 459 (Abstr.)

Dewhurst R.J., and Knight C.H., 1994. Relationship between milk storage characteristics and the short-term response of dairy cows to thrice-daily milking. *Animal production*, 58: 181–187.

Dioli M., Schwartz H.J., Stimmelmayr R., 1992. *Management and handling of the camel*. In: Schwartz H.J., Dioli M. (Eds.) The one-humped camel (*Camelus dromedarius*) in eastern Africa: A pictorial guide to diseases, health care and management. Verlag Josef Margraf, Weikersheim, Germany, 62-154.

Dioli, M., 2013. Body and udder conformation faults. Chapter 3 in book: Pictorial Guide to Traditional Management, Husbandry and Diseases of the One-Humped Camel. 2nd Edition, Chapters 8 to 13. 125p.

Dzidic A., Macuhova J. and Bruckmaier R.M., 2004. Effects of cleaning duration and water temperature on oxytocin release and milk removal in an automatic milking system. *Journal of Dairy Science*, 87: 4163–4169.

Eisa M.O. and Hassabo A.A., 2009. Variations in milk yield and composition between fore and rear udder-halves in she-camel (*Camelus dromedarius*). *Pakistan Journal of Nutrition*, 8 (12): 1868–1872.

Eisa M.O., 2012. Udder Conformation and Milkabilty of She-Camel (*Camelus dromedarius*) in El-Showak, Eastern Sudan. Published by Lambert Academic Publishing (LAP), Germany. 90 p.

Eisa M.O., Ishag I.A. and Abu-Nikhaila A.M., 2010. A note on the relationships between udder morphometric and milk yield of Lahween camel (*Camelus dromedarius*). *Livestock Research for Rural Development* 22 (10) 2010. Available in http://www.lrrd.org/lrrd22/ 10/eisa22188.htm [19 September 2014].

El Hatmi H., Hammadi M., Moslah M., Khorchani T., 2003. Intensification de la production laitière des chamelles en Tunisie. In: compte rendu Lait de chamelle pour l'Afrique. Atelier sur la filière laitière caméline en Afrique Niamey, 5-8 novembre 2003.

El-Hatmi H., Khorchani T., Abdennebi M., Hammadi M. and Attia H., 2004. Effects of diet supplementation on camel milk during the whole lactation under Tunisian arid range conditions. *Journal of Camel Practice and Research*, 11:147-152.

Ely F. and Petersen W.E., 1941. Factors involved in the ejection of milk. *Journal of Dairy Science*, 24:211-223.

Evans J.O. and Pows J.G., 1979. Camel husbandry to increase the productivity of ranchland. IFS Prov. Rep. No. 6. camels Int. Found. Sci. Stockholm. Sweden.

FAO, 2014. FAOSTAT database.

Farah Z., 1993. Composition and characteristics of camel milk. *Journal of Dairy Research* 60, 603–626.

Faye B., 2004. Dairy productivity potential of camels. Proc. of the 34th meeting FAO/ICAR (International Committee for Animal Recording). Session on camelids. 28 mai-3 juin 2004, Sousse (Tunisie).

Faye B., 2009. L'élevage des grands camélidés : vers un changement de paradigme. Proceeding de 16ème Rencontres Recherches Ruminants, 345-348.

Faye B., 2013. Camel Farming Sustainability: The Challenges of the Camel Farming System in the XXIth Century. *Journal of Sustainable Development*, 6: 74-82.

Faye B., 2008. The production potential and the importance of camel and camelids in the world. Proceedings of WBC/ICAR 2008 Satellite meeting on camelid reproduction., Budapest (Hungary), 12-13 july 2008, P. Nagy and G. Huscenicza (Eds), 1-4.

Filipovic D. and Kokaj M., 2009. The comparison of hand and machine milking on small family dairy farms in central Croatia. *Livestock Research for Rural Development* 21 (5). Availble in http://www.lrrd.org/lrrd21/5/fili21074.htm. [Consulté le 22 octobre 2014]

Forsyth I.A., 1986. Variation among species in the endocrine control of mammary growth and function: the roles of prolactin, growth hormone, and placental lactogen. Journal of Dairy Science, 69: 886-903.

Galton D.M., Petersson L.G., and Merrill W.G., 1986. Effects of premilking udder preparation practices on bacterial counts in milk and on teats. Journal of Dairy Science, 69: 260-266.

Gleeson D., O'Brien B., Flynn J., O'Callaghan E., and Galli F., 2009. Effect of pre-milking teat preparation procedures on the microbial count on teats prior to cluster application. *Irish Veterinary Journal*, 62: 461–467.

Gleeson D.E., Kilroy D., O'Callaghan E., Fitzpatrick E., and Rath M., 2003. Effect of machine milking on bovine teat sinus injury and teat canal keratin. *Irish Veterinary Journal,* 56 : 46-50.

Gleeson D.E., Meaney W.J. and O'Callaghan E.J., 2004. Effect of post-milking teat disinfectant on the relationship between teat hyperkeratosis, somatic cell count and the incidence of mastitis. Proceedings of physiological and technical aspects of machine milking, Nitra, Slovak Republic, 26-28 April. 2004. pp 225–227.

Gorewit R.C. and Aromando M.C., 1985. Mechanisms involved in the adrenalin induced blockade of milk ejection in dairy cattle. In *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine,* 180: 340–347.

Gorewit R.C. and Gasman K.B., 1985. Effect of duration of udder stimulation on milking dynamics and oxytocin release. *Journal of Dairy Science,* 68: 1813–1818.

Gorewit, R.C., Svennersten K., Butler W.R., and Uvnas-Moberg K., 1992. Endocrine responses in cows milked by hand and machine. *Journal Dairy Science,* 75: 443–448.

Gourreau J.M., 1995. Accidents et maladies du trayon. Ed. France Agricole, Paris, France.

Hamann J., Mein G.A., Wetzel S., 1993. Teat tissue reactions to milking: effects of vacuum level. *Journal of Dairy Science* 76:1040-1046.

Hammadi M., 2002. L'allaitement en double : Une nouvelle technique pour améliorer la productivité de l'élevage camelin. 27th World Veterinary congress, Tunis: 71-72.

Hammadi M., Atigui M., Ayadi M., Barmat A., Belgacem A., Khaldi G. and Khorchani T., 2010. Training period and short time effects of machine milking on milk yield and milk

composition in Tunisian Maghrebi camels (*Camelus dromedarius*). *Journal of Camel Practice and Research,* 17: 1–7.

Hammadi, M. (1996). Effets d'une supplémentations par un aliment concentré sur les performances de production et de reproduction en période post-partum chez la chamelle (camelus dromedarius) élevée sur un parcours du sud tunisien ; mémoire de fin d'étude du cycle de spécialisation de l'I.N.A.T., 95 pages.

Hammadi, M., 2003. Caracterisation, modulation nutritionnelle et implication du système IGF dans la fonction de reproduction chez la chamelle *(Camelus dromedarius)* (Thèse de doctorat). Gembloux, Faculté universitaire des sciences agronomique. 160 p.

Hammon H.M., Bruckmaier R.M., Honegger U.E. and Blum J.W., 1994. Distribution and density of α- and β-adrenergic binding sites in the bovine mammary gland. *Journal of Dairy Research,* 61: 47–57.

Houvenaghel A., et Peeters G., 1974. Influence d'hormones vasoactives et du stress sur le débit sanguin dans la glande mammaire de la chèvre en lactation. *Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique*, 14 : 437-446.

Hurley, W.L. 2002. Lactation Biology ANSCI 308 - University of Illinois (lesson: Milk Ejection). Web-site: http://classes.aces.uiuc.edu/AnSci308.

Institut d'élevage, 2009. La traite des vaches laitières. Edition France Agricole 480 pages.Ismail M.D. and Al-Mutairi S.E., 1998. Milk production potential of dairy camels in northern Saudi Arabia. in: P. Bonnet (Ed.) Dromadaires et Chameaux, Animaux Latitiers/dromadaries and Camels, Milking Animals. Actes Du Colloque, 24–26 October. Nouakchott, Mauritanie, Montpellier, France, CIRAD : 35–40.

Ismaïl M. (1990). Situation et perspectives de l'élevage camelin en Tunisie. *Revue des Région Arides* 1 : 115–134.

Jammes H., Djiane J., 1988. Le développement de la glande mammaire et son contrôle hormonal dans l'espèce bovine. INRA *Production Animale*, 1: 299-310.

Jones G.M., 2006. Understanding the basics of mastitis. Virginia Cooperative Extension, Publication No. 404-233, Virginia State University, USA, 1-7.

Juhasz J. and Nagy P., 2008. Challenges in the development of a large-scale milking system for dromedary camels. In *Proceedings of the WBC / ICAR 2008 Satellite Meeting on Camelid Reproduction* (Eds Nagy P, Huszenicza G & Juhasz J) Budapest, Hungary 84–87.

Juhasz J., Marko O., Nagy P., 2008. Milk production and mastitis in dromedary camels (*Camelus Dromedarius*). Book of Abstracts of the 16th International Conference on Animal Reproduction, Reproduction in Domestic Animals, 2008. 43 (Suppl. 3). 12. (WS06-04).

Kamoun M., 1995. Le lait de dromadaire: production, aspects qualitatifs et aptitude à la transformation. *Options Méditerranéennes* : Série B. Etudes et Recherches n. 13 : 81-103.

Kaskous S., and Bruckmaier R.M. 2011. Best combination of pre-stimulation and latency period duration before cluster attachment for efficient oxytocin release and milk ejection in cows with low to high udder-filling levels. *Journal of Dairy Research,* 78 97–104.

Kausar R., Sarwar A., and Hayat C.S., 2001. Gross and microscopic anatomy of mammary gland of dromedaries under different physiological states. *Pakistan Veterinary Journal*, 21: 139-145.

Khan B.B. and Iqbal A., 2001. Production and composition of camel milk…. Review. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 38: 64-68.

Knight C.H., and Dewhurst R.J., 1994. Once daily milking of dairy cows: Relationship between yield loss and cisternal milk storage. *Journal of Dairy Research*, 61: 441–449.

Knight C.H., Hirst D., and Dewhurst R.J., 1994. Milk accumulation and distribution in the bovine udder during the interval between milkings. *Journal of Dairy Research*, 61:167–177.

Knight C.H., Wilde C.J. an Peaker M., 1988. Manipulation of milk secretion. In: Nutrition and Lactation in the Dairy Cow. Garnsworthy P.C., ed. Anchor-Brendon Ltd., Tiptree, United Kingdom, pp 3-14.

Koprowski J.A. and Tucker H.A., 1973. Serum prolactin during various physiological states and its relationship to milk production. *Endocrinology*, 92: 1480-1487.

Kulaeva V., 1979. Konevodstvo I koayis port. Konavodetova, 34: 5-9.

Labussière J. and Richard P. 1965. [Machine milking. Anatomical, physiological and technological aspects. Literature development]. *Annales de Zootechnie,* 14: 63–126.

Labussière J., 1966. Relation entre le niveau de production laitière des brebis et leurs aptitudes à la traite. XVIIe Congrès international Laiterie, Munich. Section A1 : 43-51.

Labussière J., 1988. Review of physiological and anatomical factors influencing the milking ability of ewes and the organization of milking. *Livestock Production Science*, 18: 253–274

Labussière J., and Martinet J., 1964. [Description of two devices for automatically controlling milk flow during machine milking: First results obtained in sheep.] *Annales de Zootechnie*, 13: 199–212.

Labussière J., Bennemederbel B., Combaud J.F., and de la Chevalerie F. 1983. Description des principaux paramètres caractérisant la production laitière, la morphologie mammaire et la cinétique d'émission du lait de la brebis Lacaune traité une ou deux fois par jour avec ou sans égouttages. III Symposium Internacional de ordeño mecánico de pequeños rumiantes. Valladolid (España), 625-652.

Labussière J., Durand A., Aymer F., de la Chevalerie. and Combaud J.F., 1970. La pression intramammaire chez les bovins après une stimulation de la mamelle ou une injection intrajugulaire d'ocytocine. Etude préliminaire. *Annales de Zootechnie,* 19 : 385-397.

Labussière J., et Ricordeau G., 1970. Aptitude à la traite mécanique des brebis de race Préalpes du sud croisé Frison × Préalpes. Etudes à différents stade de lactation. Annales *de Zootechnie*, 19 : 159-190.

Labussière J., Marnet P.G., de la Chevalerie F.A., and Combaud J.F., 1996. Répétition de traitements progestatifs (FGA) et gonadostimulants (FSH et LH) pendant la phase descendante de la lactation de brebis Lacaune. Effets sur la production et la composition du lait et sur sa répartition alvéolaire et citernale. *Annales de Zootechnie,* 45: 159–172.

Labussière, J. 1993. Physiologie de l'éjection du lait. Conséquences sur la traite. In : Biologie de la Lactation. INRA, Versailles. pp : 259–302.

Labussièrre J., Combaud J.F, and Pêtrequin P., 1978. Influence respective de la fréquence quotidienne des évacuations mammaires et des stimulations du pis sur l'entretien de la sécrétion lactée chez la Brebis. *Annales de Zootechnie*, 27:127-137

Le Du J., 1985. Functional parameters affecting the efficiency of milking machines adapted to sheeps and goats. 36th Annual Meeting of the European Ass. for Anim. Prod., Kallithea, Greece. Vol. 1: 430-431 (abstract).

Le Du J., 1986. Mechanical milking of Mares. In: proceeding 37th Annual Meeting EAAP, Budapest, Hungary. pp 12.

Lee D.H., and Choundhary V., 2006. Study on milkability traits in Holstein cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Science,* 19: 309–314.

Lefcourt A.M., Paul G., Mayer H., Schams D., and Bruckmaier R.M., 1997. Response of catecholamines to manual teat stimulation or machine-milking of Lacaune and Friesian dairy ewes. *Journal of Dairy Science*, 79: 3205–3211.

Linzell J.L., and Peaker M., 1971. The permeability of mammary ducts. *Journal of Physiology,* 216: 701–716.

Lollivier V., Marnet P.G., Delpal S., Rainteau D., Achard C., Rabot A., and Olliver-Bousquet M., 2006. Oxytocin stimulates secretory processes in lactating rabbit mammary epithelial cells. *Journal of Physiology,* 570: 125-140.

Lu, C.D., Potchoiba, M.J. and Loetz, E.R., 1991. Influence of vacuum level, pulsation ratio and rate on milking performance and udder health in dairy goats, Small Ruminant Research, 5: 1–8

Macuhova L., Uhrincat M., Broucek J., Tancin V., 2008. Reaction of primiparous dairy cows reared in early postnatal period in different systems on milking conditions. *Slovak Journal of Animal Science*, 41: 98-104.

Marnet P.G. and Negrao J.A., 2000. The effect of a mixed-management system on the release of oxytocin, prolactin, and cortisol in ewes during suckling and machine milking, *Reproduction Nutrition Development*, 40: 271–281.

Marnet P.G. Combaud J.F.C., and Dano Y., 1999. Relationships between characteristic of the teat and mikability in Lacaune ewes. In: *Milking and milk production of dairy sheep and*

goats. (Eds Zervas N & Barillet F) EAAP Publication Wageningen Pers, Wageningen, Netherlands, 95: 41–44.

Marnet P.G. McKusick B.C. 2001. Regulation of milk ejection and milkability in small ruminants. *Livestock Production Science,* 70: 125–133.

Marnet P.G., 1997. Ewe management for improved milk yield and quality. Proceeding of the 3rd Great Lakes Dairy Sheep Symposium, 4th April 1997, USA, 5-11.

Marnet P.G., 2013. Milking procedures and facilities. In: Milk and dairy product in human nutrition: production composition and health. Ed. Young W. Park and George F.W. Haenlein. Published 2013 by John Wiley & Sons, Ldt.

Marnet P.G., Billon P., Da Ponte P., Martin J. and Manfredi E., 2001. [Machine milking ability in goats: genetic variability and physiological basis of milk flow rate]. *Rencontres Recherches Ruminants* 8: 321–327.

Marnet P.G., Billon P., Sinapis E., Da Ponté P., and Manfredi E., 2005. Machine milking ability in goats: genetic variability and physiological basis of milk flow rate. In: Physiological and Technical Aspects of Machine Milking. Proceeding of the International Conference held in Nitra, Slovak Republic, 26 - 28 April 2005. Eds V. Tancin, S. Mihina and M. Uhrincat. pp 15-24.

Marnet P.G., Combaud J.F., Le Du J., and Dano Y., 1996. Effect of pulsation rate and vacuum level on oxytocin release, milk parameters and teat end reaction. In: Proceeding of the Symposium on Milk Synthesis, Secretion and Removal in ruminants, Bernes, Switzerland, April 26-27, (eds, J.W. Blum and R. Bruckmaier) p. 114. University of Bernes, Switzerland.

Marnet P.G., Negrao J.A., and Labussière J., 1998. Oxytocin release and milk ejection parameters during milking of dairy ewes in and out of natural season of lactation. *Small Ruminant Research,* 28: 183–191.

Marnet P.G., Négrao J.A., Labussière J., 1998. Oxytocin release and milk ejection parameters during milking of dairy ewes in and out of natural season of lactation. *Small Ruminant Research*, 28 : 183-191.

Martinet J., Denamur R., 1960. Etude préliminaire des mécanismes de l'évacuation du lait de la glande mammaire chez la chèvre et la brebis. *Archive des Sciences Physiologiques*, 14 : 35-96.

Mayer H., Bruckmaier R.M., and Schams D., 1991. Lactational changes in oxytocin release, intramammary pressure and milking characteristics in dairy cows. *Journal of Dairy Research*, 58: 159–169.

Mayer H., Shams D., Worstorff H., and Prokopp A., 1984. Secretion of oxytocin and milk removal as affected by milking cows with and without manual stimulation. Journal of Endocrinology, 103: 355-361.

McKusick B.C., Thomas D.L., Berger Y.M., and Marnet P.G., 2002. Effect of milking interval on alveolar versus cisternal milk accumulation and milk production and composition in dairy ewes. *Journal of Dairy Science*, 85:2197–2206.

Minoia P., Moslah M., Lacalandra G.M., Khorchani T., and Zarrilli, A. 1992. Induction of oestrous and management of reprodction in the female dromedary. in: W.R. Allen, A.J. Higgins, I.G. Mayhew, D.H. Snow, J.F. Wade (Eds.) Proceedings of the First International Camel Coference. R&W Publications, Newmarket, 119–123.

Monardes H.G., Cue R.I., Hayes J.F., 1990. Correlations between udder conformation traits and somatic cell count in Canadian Holstein cows. Journal of Dairy Science, 73: 1337-1345.

Moslah M. et Megdiche F., 1989. L'élevage camelin en Tunisie. Options méditerranéennes série A n°2, pp 33-36.

Moslah M., 1993. L'amélioration de la productivité du dromadaire en Tunisie par la séparation précoce du chamelon et l'allaitement artificiel. Actes de l'atelier « Peut-on améliorer les performances de reproduction des camelins » ; I.E.M.V.T. n°41 ; pp : 225-238.

Moslah, M. 1994. La production du Dromadaire en Tunisie in : Acte su colloque ″Chameaux et Dromadaires Animaux laitiers″. Nouakchott Mauritanie 24-26, Octobre. pp: 61-66.

Musaad A., Faye B., and Abu Nikhela A., 2013. Lactation curves of dairy camels in an intensive system. *Tropical Animal Health and Production*. 45, 1039–1046.

Musaev Z.M., 1982. Milk production of Kazakh Bactrian camels at mechanized farms. Sb. Nauch. Trud. Kazakh. Nauchno-lssled. Tekhnol. Inst. Ovtsevodstva. pp. 123-127.

Nagy P., Thomas S., Marko O., and Juhasz J., 2013. Milk production, raw milk quality and fertility of dromedary camels (Camelus dromedarius) under intensive management. *Acta Vet Hung* 61:71-84.

Narjisse H., 1989. Nutrition et production laitière chez le dromadaire .Options Méditerranéennes - Série Séminaires – n° 2 :163-166.

Négrao J.A. Marnet P.G. and Labussiére J., 2001. Effect of milking frequency on oxytocin release and milk production in dairy ewes. *Small Ruminant Research*, 39, 181-187.

Négrao J.A., and Marnet P.G., 2003. Cortisol, adrenalin, noradrenalin and oxytocin release and milk yield during first milkings in primiparous ewes. *Small Ruminant Research*, 67: 69–75.

Neijenhuis F., and Hillerton J.E., 2003. Health of dairy cows milked by an automatic milking system: Review of potential effects of automatic milking conditions on the teat. Deliverable D21. EU project Implications of the introduction of automatic milking on dairy farms (QLK5 -2000-31006) as part of the EU-program "Quality of Life and Management of Living resources": 24 p.

Nickerson S.C., 1992. Anatomy and physiology of the udder. In: *Machine Milking and Lactation*, pp. 37–68 (Eds AJ Bramely, FH Dodd, GA Mein and JA Bramley) Graway Hill, Herefordshire, UK: Insight Books.

Nosier, M.B., 1974. (Histological structure of the mammary glands of the one humped camel (*Camelus dromedarius*). *Indian Journal Animal Science* 43:639-641.

O'Brien B., Jago J.G., Edwards J.P., Lopez-Villalobos N., and McCoy F., 2012. Milking parlour size, premilking routine and stage of lactation affect efficiency of milking in single-operator herringbone parlours. *Journal of Dairy Research,* 79:216–223

O'Shea J., 1987. Machine milking factors affecting mastitis. In: Machine milking and mastitis, Brussels, Belgium. *Bull. Int. Dairy Fed*., 215, 5-32.

O'Callaghan E.J., 2001. Influence of liner design on interactions of the teat and liner. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 40:169-176.

Osteras O., Ronningen O., Sandvik L., and Waage S., 1995. Field studies show associations between pulsator characteristics and udder health. *Journal of Dairy Research*, 62, 1–13.

Ouled-Ahmed M., 2009. Caractérisation de la population des dromadaires (*Camelus dromedarius*) en Tunisie. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, INAT (Tunisie), 172 p.

Peaker M. and Blatchford D.R., 1988. Distribution of milk in the goat mammary gland and its relation to the rate and control of milk secretion. *Journal of Dairy Research*, 55: 41-48.

Peaker M., 1980. The effect of raised intramammary pressure on mammary function in the goat in relation to the cessation of lactation. *Journal of Physiology,* 301: 415–428.

Peris C., Diaz J.R., Segura Marti A. and Fernandez N., 2003. Influence of pulsation rate on udder health and teat thickness changes in dairy ewes. *Journal of Dairy Science*, 86: 530–537.

Peris S., Caja G. and Such X. 1999. Relationships between udder and milking traits in Murciano-Granadina dairy goats. *Small Ruminant Research*, 33: 171–179.

Prasad R.M.V., Sudhakar K., Raghava Rao E., Ramesh Gupta B. and Mahender M. 2010. Studies on the udder and teat morphology and their relationship with milk yield in Murrah buffaloes. *Livestock Research for Rural Development*, 22 (20). Retrieved October 19, 2014, from http://www.lrrd.org/lrrd22/1/pras22020.htm

Rasmussen M.D. 1993. Influence of switch level of automatic cluster removers on milking performance and udder health. *Journal of Dairy Research*, 60:287-297.

Rasmussen M.D. and Madsen N.P., 2000. Effects of milkline vacuum, pulsator airline vacuum, and cluster weight on milk yield, teat condition, and udder health. *Journal of Dairy Science,* 83: 77–84.

Rasmussen M.D., Frimer E.S., Galton D.M., and Petersson L.G., 1992. The influence of premilking teat preparation and attachment delay on milk yield and milking performance. *Journal of Dairy Science*, 75: 2131–2141.

Raziq A., Younas M. and Kakar M.A., 2008. Camel-A potential dairy animal in difficult environments. *Pakistan Journal of Agriculture Science,* 45: 263–267.

Reinemann D. J. Bade R. D. and Thompson P. D. 2008. Method for assessing teat and udder hygiene. Paper No. 083796. In: ASABE Annual International Meeting. Providence, Rhode Island.

Reinemann D.J., Davis M.A., Costa D., and Rodriguez A.C. 2001. Effects of milking vacuum on milking performance and teat condition. in: Proc. AABP-NMC International Symposium on Mastitis and Milk Quality.

Richard D. and Gérard D. 1989. La production laitière des dromadaires Dankali (Ethiopie). *Rev. Elev. Med. Vét. Pays Trop.* 42: 97-103.

Rogers G.W., Spenser S.B., 1991. Relationships among udder and teat morphology and milking characteristics. Journal Dairy Science, 74: 4189-4194.

Rovai M., Thomas D.L., Berger Y.M., and Caja G., 2004. Udder morphology and effects on milk production and ease of milking in dairy sheep. p. 79-114. Proceedings of the 10th Great Lakes Dairy Sheep Symposium, Wisconsin. 4-6 November. Dairy Sheep Association of North America, Bushnell, Nebraska, USA.

Ruegg P., 2006. The Seven Habits of Highly Successful Milking Routines. *WCDS Advances in Dairy Technology*, 18:317-326

Salama A.A.K., Caja G., Such X., Peris S., Sorensen A., Knight C.H., 2004. Changes in cisternal udder compartment induced by milking interval in dairy goats milked once or twice daily. *Journal of Dairy Science*, 87: 1181–1187.

Saley, M., and P. Steinmetz. 1994. Approche quantitative de la production laitière destinée à la consommation humaine, repercussion sur la croissance du chamelon. In : Proc. Actes de l'Atelier: Chameaux et dromadaires, animaux laitiers, Nouakchott, Mauritanie. pp. 87‑90.

Sandrucci A., Tamburini A., Bava L., and Zucali M., 2007. Factors affecting milk flow traits in dairy cows: results of a field study. *Journal of Dairy Science*, 90: 1159–1167.

San-Martin, M. 1961. Fisiologia de la reproducción de las alpacas. Symposium sobre problemas ganaderos. Lima, Peru.

Sboui A., Khorchani T., Djegham M., Agrebi A., Elhatemi H., and Belhadj O., 2009. Anti-diabetic effect of camel milk in alloxan-induced diabetic dogs: a dose-response experiment. *Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94: 540–546.

Schams D., Mayer H., Prokopp A. and Worstorff H., 1984. Oxytocin secretion during milking in dairy cows with regard to the variation and importance of a threshold level for milk removal. *Journal of Endocrinology*, 102: 337-343.

Seddik M., 2006. Apport minéral alimentaire et maladie du krafft chez le dromadaire (*Camelus dromedarius*). Mastère, Faculté des Sciences Tunis.

Seykora A.J. and McDaniel B.T., 1986. Genetics statistics and relationships of teat and udder traits, somatic cell counts, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 69: 2395–2407.

Sghiri A., Driancourt M. 1999. Seasonal effects on fertility and ovarian follicular growth and maturation in camels (Camelus dromedarius). *Animal Reproduction Science*, 55: 223–237.

Shareha A.M., 1987. Effect of the presence of the calf and early weaning on milk secretion and growth rate of the young dromedary camels. In: Proceeding of the conference on animal production in arid zones, Damascus, Syria, 7-12 Decembre 1985. ACSAD, pp. 511-514.

Sinapis E., Hatziminaoglu I., Marnet P.G., Abas Z., and Bolou A., 2000. Influence of vacuum level, pulsation rate and pulsator ratio on machine milking efficiency in local Greek goats. *Livestock Production Science*, 64: 175-181.

Singh M., and Dang A.K., 2004. Machine milking of dairy animals: advantages and limitations. *Indian Dairyman*, 56: 33–36.

Smith V.G., Convey E.M. and Edgerton L.A., 1972. Bovine serum corticoid response to milking and exteroceptive stimuli. *Journal of Dairy Science*, 55:1170-1173.

Soberon F., Ryan C.M., Nydam D.V., Galton D.M., and Overton T.R., 2011. The effects of increased milking frequency during early lactation on milk yield and milk composition on commercial dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 94: 4398–4405.

Soloff M.S., 1982. Oxytocin receptor and mammary myoepithelial cells. *Journal of Dairy Science,* 65: 326–337.

Spencer S.B. and Rogers G.W., 1991. Effect of vacuum and milking machine on liner slip. *Journal of Dairy Science*, 74: 429–432.

Spencer S.B. and Rogers G.W., 2004. Optimization of milking-machine liners. in: Bulletin of the International Dairy Federation: 100 Years with Liners and Pulsators in Machine Milking. Int. Dairy Fed./Fed. Int. pp: 75–80.

Stelwagen K., 2001. Effect of milking frequency on mammary functioning and shape of the lactation curve. *Journal of Dairy Science*, 84: E204–E211.

Stelwagen K., Farr V.C., McFadden H.A., Prosser C.G., and Davis S.R. 1997. Time course of milk accumulation-induced opening of mammary tight junctions and blood clearance of milk components. *American Journal of Physiology,* 273: R379–R386.

Stelwagen K., Knight C.H., Farr V.C., Davis S.R., Prosser C.G., and McFadden T.B. 1996. Continuous versus single drainage of milk from the bovine mammary gland during a 24-hour period. *Exp. Physiol,* 81: 141–149.

Stewart S., Godden S., Rapnicki P., Reid D.A., Johnson A. and Eicker S., 2002. Effects of automatic cluster remover settings on average milking duration, milk flow, and milk yield. Journal of Dairy Science 85: 818-823.

Svennersten K., Gorewit R.C, Sjaunja L.O. and Uvnas-Moberg K., 1995. Feeding during milking enhances milking related oxytocin secretion and milk production in dairy cows, whereas feed deprivation decreases it. *Acta Physiologica Scandinavica, 153*: 304-310.

Svennersten-Sjaunja K., 2000. The buffalo is important for milk production. AgriBizChina website: http://www.agribizchina.com.

Szymanowska A., Patkowski k., Miduch A., and Milerski M., 2010. Correlation between mammary gland morphology and gland cistern size to lactation milk yield in goat. Annales Universitatis Mariae Curie- Sklodowska Lubin, Polonia. Vol XXVIII (4). 8p.

Tamburini A., Bava L., Piccinini R., Zecconi A., Zucali M., and Sandrucci A., 2010. Milk emission and udder health status in primiparous dairy cows during lactation. *Journal of Dairy Research,* 77: 13–19.

Tancin V., Ipema B., Hogewerf P. and Mačuhovà J., 2006. Sources of variation in milk flow characteristics at udder and quarter levels. *Journal of Dairy Science*, 89: 978–988.

Tancin V., Uhrincat M., Macuhová L., Bruckmaier R.M., 2007. Effect of pre-stimulation on milk flow pattern and distribution of milk constituents at a quarter level. *Czech Journal of Animal Science.* 52: 117–121.

Thomas C.S., 2004. Milking management of dairy buffaloes. Ph.D. Thesis, University of Agricultural Sciences Uppsala, Swedish. 50p.

Thomas C.S., Nordstrom J., Svennersten-Sjaunja K., and Wiktorsson, H. 2005. Maintenance and milking behaviours of Murrah buffaloes during two feeding regimes. *Applied Animal Behavior Science,* 91: 261–276.

Thomas C.S., Svennersten-Sjaunja K., Bhosrekar M.R. and Bruckmaier R.M. 2004. Mammary cisternal size, cisternal milk and milk ejection in Murrah buffaloes. *Journal of Dairy Research*, 71: 162–168.

Thompson P.D., and Pearson R.E., 1983. Milk Droplet Impacts During Induced Vacuum Fluctuations: Influence of Claw and Other Characteristics. *Journal of Dairy Science*, 66: 562–572.

Tibary A., and Anouassi A., 2000. Lactation and udder diseases. Skidmore, L. and Adams, G.P. (editors), Recent Advances in Camelid Reproduction, Ithaca, NY: IVIS.

Van Vleck L.D., Filkins D.B., Carter H.W., and Hart C.L., 1969. Relationship between type traits and longevity of daughters of New York Holstien Sires. *Journal of Dairy Science*, 52: 1823-1823.

Walsh J.P. and Nyhan J.F., 1969. Effect of milking machine pulsation rate and vacuum level on milk yield and composition. In: Animal Production Research Rep Moorepark. County Cork, Ireland. p. 54.

Weiss D., Weinfurtner M. and Bruckmaier R.M., 2004. Teat Anatomy and its Relationship with Quarter and Udder Milk Flow Characteristics in Dairy Cows. Journal *of Dairy Science*, 87: 3280–3289.

Wellnitz O., Bruckmaier R.M., Albrecht C. and Blum J. W., 1999. Atosiban, an oxytocin receptor blocking agent: Pharmacokinetics and inhibition of milk ejection in dairy cows. *Journal of Dairy Research*, 66: 1–8.

Wellnitz O., Bruckmaier R.M., and Blum J.W., 1997. Naloxone and adrenergic bloking agents fail to abolish central inhibition of milk ejection in cow. *Journal of Dairy Research*. 64, 627-631.

Wernery U, Juhasz J, Nagy P, 2004. Milk yield performance of dromedaries with an automatic bucket milking machine. *Journal Camel Practice and Research* 11: 51-57.

Wilde C.J., Addey C.V.P., Li P., and Fernig D.G. 1997. Programmed cell death in bovine mammary tissue during lactation and involution. *Experimental Physiology,* 82: 943–953.

Wilde C.J., Henderson A.J., Knight C.H., Blatchford D.R., Faulkner A., and Vernon R.G. 1987. Effects of long-term thrice-daily milking on mammary enzyme activity, cell population and milk yield in the goat. *Journal of Animal Science*, 64: 533–539.

Wilson D.J., Gonzalez R.N., Southwick L.H. and Guard C.L., 2000. Evaluation of an experimental milking pulsation system for effects on milking and udder health, *Journal of Dairy Science*, 83: 2004–2007.

Wilson R.T. 1984. *The camel.* London, Longman Group Ltd. 233 p.

Yagil R. and Etzion Z. 1980. Effect of drought conditions on the quality of camel milk. *Journal of Dairy Research*, 47: 159-166.

Yagil R. 1982. Camels and camel milk. *Animal Production and Health Paper,* No. 26. FAO. Rome. 26 pp.

Yagil R., 1994. Science and camel milk production Comm. Coll. Dromadaires et chameaux: animaux laitiers. Nouakchott, Mauritania.

Yagil R., Van C.C, 2000. Medicinal use of camel milk. Fact or Fancy? In: Proceeding of the 2nd International Camelid Conference on Agroeconomics of Camelids. Almaty, Kazahstan.

Yagil R., Van Creveld C., Abu R'Kaik G. and Merin U. 1999. Milk " Let Down" in Camels. *Journal of Camel Practice Research*, 6: 27-29.

Zhao X., and Gorewit R. C., 1986. Characterization of oxytocin receptors in mammary tissue from lactating and nonlactating cows. *Journal of Dairy Science*, 69 (Suppl. 1): 165 (Abstr.).

Zwertvaegher I., Van Weyenberg S., Piepers S., Baert J. and De Vliegher S., 2012. Variance components of teat dimensions in dairy cows and associated factors. *Journal of Dairy Science,* 95: 4978–4988.