ROYAUME DU MAROC
Université Mohammed V - RABAT -
جامعة محمد الخامس – الرباط –
Faculté des sciences
كلية العلوم
CENTRE D'ETUDES DOCTORALES - SCIENCES ET TECHNOLOGIES

N° d'ordre : 3344

THESE

En vue de l'obtention du : ***DOCTORAT***

Centre de Recherche : ***Biotechnologies Végétale et Microbienne, Biodiversité et Environnement***
Structure de Recherche : ***Laboratoire de Biodiversité, Écologie et Génome***
Discipline : ***Biologie***
Spécialité : ***Sciences et Technologies Agroalimentaires***

Présentée et soutenue le 10 Octobre 2020 par :

Nazha LAKRAM

Porté technologique sur la détoxification du tourteau de l'arganier et évaluation de son incorporation dans l'alimentation des caprins sur les performances de production et la qualité compositionnelle du lait

JURY

Mohammed FEKHAOUI	**Directeur de l'Institut Scientifique-Rabat**	**Président**
Ahmed EL ABOUDI	**PES, Université Mohammed V-Rabat, Faculté des Sciences**	**Rapporteur/Examinateur**
Ahmed GHANIMI	**PES, Université Mohammed V-Rabat, Faculté des Sciences**	**Rapporteur/Examinateur**
Mohamed FADLI	**PES, Université Ibn Tofail-Kénitra, Faculté des Sciences**	**Rapporteur/Examinateur**
Mariam NACIRI	**PES, Université Mohammed V-Rabat, Faculté des Sciences**	**Directeur de Thèse**
El Haj EL MAADOUDI	**Directeur du Centre Régional de la Recherche Agronomique -Rabat**	**Co-encadrant de Thèse**

Année Universitaire **: 2019/2020**

Dédicace

Je dédie cet humble travail

À mes précieux parents (***Malika EL ASRI & Ahmed LAKRAM***), les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien- être. Vos prières et votre bénédiction m'ont été d'un grand secours tout au long de ma vie. J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez fondés en moi. Je vous rends hommage par ce travail en guise de ma reconnaissance éternelle et de mon infini amour. *Puisse Allah tout puissant, vous préserver et vous procurer santé et longue vie.*

À mon âme sœur Dr. ***Fatima zahera***, aucune dédicace ne pourrait exprimer mon amour et mon attachement à toi. Tu as été toujours pour moi le soutien inconditionnel. Je te remercie énormément pour les sacrifices moraux et matériels consentis tout au long de mon parcours. Tu me voulais toujours le meilleur et tu m'as toujours conseillé et orienté dans la voie du travail et de l'honneur. Je suis fière d'être ta petite sœur, et j'espère que tu le seras aussi. À ma sœur ***Laila***, Merci pour ton soutien de tous les instants, qui ont tout fait pour que je puisse réussir. À ***Nani***, une sœur comme on ne peut trouver nulle part ailleurs, source inépuisable de tendresse, de patience et de sacrifice. Je te souhaite plein de bonheur dans ta nouvelle vie. Mes chères sœurs, Je vous dédie ce modeste travail afin de vous exprimer tout mon amour et toute ma reconnaissance. *Puisse Allah vous protéger, garder et renforcer notre fraternité.*

À la mémoire de ma Grand-Mère maternelle ***Hama*** j'aurais tant aimé que vous soyez présents. Que Dieu, le miséricordieux, vous accueille dans son éternel paradis.

À mon frère ***Brahim***, pour son aide, sa générosité et son soutien. À mes beaux-frères ***Khalifa, Ahmed*** et ***Chafik***, pour leur soutien et leurs précieux encouragements.

À ***Mohammed Benmouiha***, qui est l'une des premières personnes qui m'a encouragé à faire une thèse et qui a cru en moi dès le début. Je te remercie énormément pour tes encouragements et ton soutien ont été pour moi une source de courage et de confiance.

Mes dernières pensées iront vers mon petit neveu ***Yahya*** et mes nièces ***Sahar*** et ***Alae,*** mes plus grande source de bonheur, j'implore Allah de leur réserver un meilleur avenir.

Remerciements

Les travaux présentés dans cette thèse ont été réalisés, dans le cadre d'un projet collaboratif entre, le **Laboratoire de Biodiversité, Écologie et Génome**, de la Faculté des Sciences de Rabat, Université Mohammed V de Rabat, sous l'encadrement de Pr. ***Mariam NACIRI***, et le **Laboratoire de Technologie Alimentaire**, à l'Unité de Production Animale et Fourragère de l'Institut National de la Recherche Agronomique de Rabat (INRA, CRRA -Rabat), sous le Co-encadrement de Dr. ***El Haj EL MAADOUDI***. Le projet est soutenu financièrement par la Banque Mondial dans le cadre du projet **ASIMA** (Agriculture solidaire et intégré au Maroc) dans la province d'Essaouira, porté par l'Institut National de la Recherche Agronomique.

À l'issue de la rédaction de ce mémoire, je suis convaincu qu'un projet est loin d'être un travail solitaire. En effet, je n'aurais jamais pu réaliser ce travail sans le soutien d'un grand nombre de personnes dont la générosité et l'implication m'ont permis de progresser dans cette phase. En signe de gratitude et de reconnaissance je réserve ces lignes à ces personnes avec un grand plaisir.

Je tiens à remercier ardemment ma Directrice de thèse Madame ***Mariam NACIRI***, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences de Rabat, non seulement pour avoir accepté de m'encadrer, mais encore pour son soutien scientifique et moral. Elle a ménagé un effort immense pour m'aider, m'orienter et m'encourager tout au long du projet. Je vous remercie Madame pour l'encadrement de qualité que vous m'avez apporté et pour votre grande disponibilité. Merci pour votre écoute, votre patience, votre ouverture d'esprit et pour tout ce que nous avons partagé. *Je vous exprime ma profonde reconnaissance.*

J'exprime ma profonde gratitude à mon Co-encadrant de thèse Monsieur le Docteur ***El Haj EL MAADOUDI***, chef du centre régional INRA-Rabat, d'avoir accepté de codiriger cette thèse. Vous m'avez été d'un très grand soutien tout au long de mon travail de thèse. Je tiens à vous exprimer toute ma reconnaissance pour la confiance que vous m'avez témoignée en m'intégrant dans votre laboratoire et merci pour l'autonomie que vous m'avez accordé dès le début de mon travail. Je vous remercie pour votre encadrement, vos conseils et votre rigueur qui m'ont beaucoup aidé à réaliser ce travail. Vous avez été pendant toute la période du déroulement de ma thèse, disponible à chaque fois que j'ai sollicitée votre aide. Je tiens à vous exprimer ma profonde gratitude pour avoir mis à ma

disposition tous les moyens nécessaires. Sincèrement, c'est grâce à vous et à votre abnégation que cette thèse a été accomplie. *Recevez ici le témoignage de mon profond respect.*

Je remercie infiniment Monsieur ***Mohammed FEKHAOUI***, Directeur de l'Institut Scientifique Rabat, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant d'être le président de jury de cette thèse. *Veuillez trouver ici le témoignage de ma profonde gratitude.*

J'exprime mes vifs remerciements à Monsieur ***Mohamed FADLI***, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences de Kenitra, pour m'avoir fait l'honneur de juger ce manuscrit de thèse. *Veuillez, agréer Monsieur, mes sentiments les plus respectueux d'estime et de haute considération*.

Je souhaite également remercier énormément Monsieur ***Ahmed EL ABOUDI***, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences Rabat, d'avoir accepté d'être examinateur et rapporteur de cette thèse. *Je vous adresse ici toute ma profonde reconnaissance*.

J'exprime mes sincères remerciements à Monsieur ***Ahmed GHANIMI***, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences de Rabat, pour l'honneur d'avoir accepté d'être examinateur et rapporteur de ce travail. *Puissiez trouver ici mes sincères sentiments de gratitude et de respect*.

Je voudrais rendre hommage à Dr. ***Abdellah El Housni***, chercheur à l'INRA-Rabat, de m'avoir donné l'opportunité de poursuivre ma passion dans son laboratoire. Il me serait difficile d'exprimer en si peu de lignes toute la générosité qu'il m'a manifestée. Je suis à la fois touchée et reconnaissante pour tout ce qu'il m'a appris et apporté, aussi bien sur le plan professionnel que personnel et pour tous les efforts qu'il m'a fournis pour me permettre de réaliser ce travail dans les meilleures conditions. Merci Monsieur pour le projet audacieux que vous m'avez confié ainsi que pour votre immense aide pour mener à bien les objectifs ambitieux que ce projet comporte. Merci pour votre écoute et vos conseils prodigués. *Veuillez trouver ici le témoignage de ma profonde gratitude et de mon entier dévouement*.

J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur ***Rachid KABBOUR***, Chef du département de Technologie Alimentaire INRA-Rabat, pour ses conseils directifs, son sens profond de l'humanité, la qualité et les efforts remarquables d'encadrement qu'il a déployé pour mener à bien ce travail. *Je vous adresse ici toute ma profonde reconnaissance.*

Je tiens vivement à exprimer ma profonde reconnaissance et gratitude aux chercheurs de l'INRA-Rabat, en particulier Dr. ***Mohammed Bendaou*** et Dr. ***Ahmed Douaik***, je leur suis reconnaissante pour leur aide scientifique, leurs précieuses directives, leur disponibilité et l'attention avec laquelle ils ont suivi le déroulement de ce travail. Sans manquer de remercier également Dr. ***Abdelmajid Zouahri***, pour sa collaboration, et de m'avoir donnée l'occasion de travailler au sein de son laboratoire et accéder à l'appareillage et aux matériels pour réaliser mes recherches dans les meilleures conditions.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent également à Monsieur ***Abdenbi Saadi***, technicien spécialisé au sein de l'INRA, de m'avoir accompagné et facilité le travail de terrain lors de mes déplacements.

Mes remerciements s'adressent aussi à mes camarades et collègues,

Ikram Mercha pour ton optimisme, ta rigueur, tes qualités humaines et ta vivacité d'esprit ont joué un rôle crucial pour le travail présenté ici, ainsi pour les plats, les plans, les chambres d'hôtel, le labo, les congrès et le jour de la soutenance... *J'espère que notre amitié durera aussi longtemps que l'arganier*. ***Sana Moutik*** mon binôme pour tout ce que nous avons partagé, la plante, le Co-encadrant, le labo, les missions et les congrès. Dr. ***Maha El Hamdani***, ***Fatima Zahera Zouhair***, ***Younes En-Nahli***, ***Aziz Mouhadach*** et ***Karima El Kabous***, travailler avec vous était un réel plaisir. Je vous remercie énormément pour votre aide, votre soutien et pour votre amitié.

Un remerciement spécial pour ***Hajar Lashab***, tu es pour moi bien plus que cela, une sœur, une amie à qui je pouvais me confier et qui a su me donner les bons conseils aux moments opportuns. Merci pour tout ce que tu as fait pour moi, je suis et je serai toujours reconnaissante.

Un grand Merci pour mes précieuses amies ***Fadoua Harmouch***, ***Fatima Mazouz*** et ***Hanane Lamine***, Merci de tout mon cœur pour ces années d'amitié. Merci pour les moments de joie et de difficulté que nous avons vécus ensemble. *Je vous souhaite plein de bonheur dans votre nouvelle vie*.

Je suis redevable à Madame ***Hanane El Morabet*** directrice de la coopérative féminine **FOUIRAT** pour l'élevage caprin laitier au niveau de la région d'**Essaouira.** Ainsi, toutes les femmes adhérentes à cette coopérative, où les prélèvements des échantillons du lait ont été effectués, qui ont été, un moment donné, une partie prenante dans ce travail et ont eu le courage et la volonté de travailler avec nous et qui nous ont toujours accueilli

chaleureusement, j'espère que les résultats de ce travail contribueront positivement pour le développement de votre région.

Finalement, je remercie chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de mes travaux de recherche et à la réalisation de ce travail.

Résumé

L'objectif de cette étude consiste à la valorisation du tourteau de l'arganier dans l'alimentation des chèvres par sa détoxification et ainsi l'évaluation de l'effet de son incorporation sur la production, la qualité microbiologique et compositionnelle du lait produit aussi par la valorisation technologique dudit lait. L'optimisation du processus de la détoxification du tourteau de l'arganier a permis une réduction significative du taux de saponines de 4,56 à 0,4 mg/g donnant place à une meilleure qualité nutritionnelle et à un goût plus appétissant par le cheptel caprin. Les essais d'alimentation ont été réalisés dans la région d'Essaouira, dont 18 chèvres de race Alpine ont été répartis en 3 lots aléatoires ; le premier et le deuxième lot ont reçu une alimentation à base du tourteau d'arganier détoxifié (TD) et non détoxifié (TND) respectivement, tandis que le troisième lot consommait une alimentation conventionnelle (T). La production laitière moyenne a augmenté de 24% chez le groupe TD par rapport aux deux autres groupes. En outre, la qualité hygiénique des échantillons du lait des trois lots, a était satisfaisante, ensuite leurs constituants physico-chimiques et minéraux ont subi une variation significative au cours des semaines de lactation en faveur du lot TD. Concernant la caractérisation des acides gras, les résultats ont été révélé que la proportion en acides gras saturés renfermée dans le lait des lots TD et TND était significativement inferieure (69,58% et 69,82%, respectivement) par rapport au lot T (76,62%). Quant à l'évaluation des composés bioactifs les résultats ont démontré que le lait du lot TD était plus riche en poly-phénols et en flavonoïdes totaux caractérisant un pouvoir antioxydant élevé, par rapport aux échantillons de lait prélevés des lots TND et T. Cette étude s'est achevée par une valorisation technologique desdits laits par la transformation en fromage frais, dont les analyses microbiologiques, physico-chimiques, les propriétés anti-oxydantes et la teneur en composés phénoliques totaux ont démontré des résultats pertinents.

Mots-clés : Tourteau d'argane, détoxification, chèvre, lait, fromage frais.

Summary

The objective of this study is to valorize the argane press cake in the diet of goats by its detoxification and to realize an evaluation of the effect of its incorporation on the milk production and on its microbiological and compositional quality, then by its technological valorization. The optimization of the argane press cake detoxification process, allowed a significant reduction of the saponin level from 4.56 to 0.4 mg/g, which improved its nutritional quality and made it more appetizing for herd's goats. Feeding trials were conducted at Essaouira region, of which 18 Alpine goats were used, divided into 3 random lots; the first lot was fed on detoxified argane press cake diet (DAPC), the second lot receives a diet based on non-detoxified argane press cake (APC) and the third consumed a conventional feed (T). The average milk production increased by 24% in the DAPC lot compared to the other two lots. In addition, the hygienic quality of the milk samples from the three lots was satisfactory. The physicochemical and mineral constituents of these milks underwent a significant variation during the weeks of lactation in favor of the DAPC lot. The results of fatty acids characterization revealed that the proportion of saturated fatty acids contained in the milk of lots DAPC and APC was significantly lower (69.58% and 69.82%, respectively) compared to lot T (76.62%). As for the evaluation of the bioactive compounds, the results showed that milk of DAPC lot was richer in total polyphenols and flavonoids related to an important antioxidant potential, compared to milk samples obtained from APC and T lots. This research study was completed by a technological valorization of the produced milk by the manufacture of a fresh cheese whose microbiological quality, physicochemical properties, antioxidant capacity were interesting.

Keywords: Argane press cake, detoxification, goat, milk, fresh cheese.

Liste des publications

Lakram N., Mercha I., Moutik S., El Maadoudi E.H., Kabbour R., Douaik A., Naciri M. 2020. **Fatty acid profile variations of Alpine goat's milk in response to detoxified *Argania spinosa* press cake supplementation.** *International Journal of Environmental Studies*. In press.

Mercha I., **Lakram N.,** Kabbour R., Douaik A., Bouksaim M., Zkhiri F., El Maadoudi E.H. 2020. **Chromatographic appraisal of fatty acid composition in camel milk following *Argania spinosa*'s inclusion in the camel feed**. *International Journal of Environmental Studies.* In press.

Mercha I., **Lakram N.,** Kabbour M.R., Bouksaim M., Zkhiri F., El Maadoudi E.H. 2020. **Probiotic and technological features of Enterococcus and Weissella isolates from camel milk characterised by an Argane feeding regimen**. Archives of Microbiology. In Press.

Lakram N., En-Nahli Y., Zouhair F.Z., Moutik S., Kabbour R., El Maadoudi E.H., Bendaou M., El Housni A., Naciri M. 2019. **The Impact of Optimizing the Detoxification of Argane (*Argania spinosa*) Press Cake on Nutritional Quality and Saponin Levels**. *Iranian Journal of Applied Animal Science* 9(2): 235-246.

Lakram N., Moutik S., Mercha I., El Maadoudi E.H., Kabbour R., Douaik A., Zouahri A., El Housni A., Naciri M. 2019. **Effects of the inclusion of the detoxified argane press cake in the diet of dairy goats on milk production and milk quality.** *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 43 (3): 323-333.

Lakram N., Mercha I., El Maadoudi E.H., Kabbour R., Douaik A., El Housni A., Naciri M. 2019. **Incorporating detoxified *Argania spinosa* press cake into the diet of Alpine goats affects the antioxidant activity and levels of polyphenol compounds in their milk**. *International Journal of Environmental Studies* 76 (5): 815–826.

Mercha I., **Lakram N.,** Kabbour R., Benali A., Douaik A., Bouksaim M., Zkhiri F., El Maadoudi E.H. 2019. **A novel way to improve quality of camel milk production using Moroccan Argane by-products**. *Livestock Research for Rural Development* 31(5): 1-4.

Mercha I., **Lakram N.,** Kabbour R., Bouksaim M., Zkhiri F., El Maadoudi E.H. 2019. **The Effects of *Argania spinosa* by Products Supplementation on Phenolic Compounds,**

Antioxidant Capacity and Mineral Composition of Camel Milk. *Advances in Animal and Veterinary Sciences* 7 (8): 648-656.

Mercha I., **Lakram N.,** Kabbour R., Douaik A., Bouksaim M., Zkhiri F., El Maadoudi E.H. 2019. **Effect of Argane tree by-products on microbiological quality of Moroccan camel milk.** *International Journal of Environmental Studies.* In press.

Moutik S., **Lakram N.,** Bendaou M., El Maadoudi E.H., Kabbour R., Douaik A., Zouahri, A., El Housni A., Es-Safi N. 2019. **The effect of including argane by-products (meal and pulp) in dairy ewe diet on milk quality and production, and lamb growth performance.** *Tropical Animal Health and Production*. 51(8):2437-2445.

Articles soumis

Lakram N., Mercha I., Bendaou M., Kabbour R., El Maadoudi E.H., Naciri M. **Use of *Argania spinosa* by-products as livestock feed in Morocco: A survey in Essaouira province.** Soumis à "Mo*roccan Journal of Agricultural Sciences''*.

Lakram N., Mercha I., El Maadoudi E.H., Kabbour R., Douaik A., Naciri, M. **The effect of fed detoxified Argane oilcake on Alpine goat's cheese: Microbiological, physicochemical and antioxidant properties.** Soumis à "*Small Ruminant Research''*.

Liste des communications

Communications Orales

Lakram N., Mercha I., El Maadoudi E.H., Kabbour R., El Housni A., Naciri M. **Effect of including detoxified *Argania spinosa* press cake on the antioxidant potential of fermented goat milk using autochthonous starter.** The 1st International conference, "Bioresources, Biotechnologies and Sustainable Development". Oujda, Morocco, 18-20 December 2019**.**

Lakram, N., Mercha, I., El Maadoudi, E.H., Kabbour, R., El Housni, A., Naciri, M. **Incorporating detoxified *Argania spinosa* press cake into the diet of alpine goats affects the antioxidant proprieties in their produced cheese**. The 5th edition of f the International Argan Tree Congress. Agadir, Morocco, 10-12 December 2019.

Lakram, N., Mercha, I., El Maadoudi, E.H., Kabbour, R., El Housni, A., Naciri, M. **Effect of the incorporation of the detoxified Argane press cake in the diet of dairy goats on the milk fatty acid profile in Moroccan Essaouira Region.** The 1st edition of the international conference of green biotechnology. Taroudant, Morocco, 01-03 November 2018.

Lakram, N., Mercha, I., El Maadoudi, E.H., Kabbour, R., El Housni, A., Naciri, M. **Effect of the incorporation of the Argane press cake detoxified on antioxidant activity of goat milk.** The 4th International American Moroccan Agricultural Sciences Conference. Meknes, Morocco, 09-11 May 2018.

Lakram, N., Moutik, S., Mercha, I., El Maadoudi, E.H., Kabbour, R., El Housni, A., Naciri, M. **Effet de l'inclusion du tourteau d'arganier détoxifié sur la composition du lait caprin de la région d'Essaouira.** The 4th edition of the International Argan Tree Congress. Agadir, Morocco, 21-24 November 2017.

Lakram, N., Moutik, S., En-Nahli, Y., Zouhair, F.Z., El Maadoudi, E.H., Kabbour, R., El Housni, A., Naciri, M. **Détoxification alcaline du tourteau de l'arganier et son impact sur sa qualité nutritionnelle.** The 1st international symposium on the beneficial effects of argan oil on human health. Errachidia, Morocco, 04-06 May 2017.

Communications par affiche

Lakram, N., Mercha, I., El Maadoudi, E.H., Kabbour, R., El Housni, A., Naciri, M. **Incorporating detoxified *Argania spinosa* press cake into diet of Alpine goats affects the antioxidant activity in their milk.** PhDs of the Research Center Biotechnology,

Biodiversity and Environment (BIOBIO), Faculty of Sciences, Rabat, Morocco, 25-26 December 2018.

Lakram, N., Moutik, S., Bendaou, M., EL Housni, A., Naciri, M. **Détoxification du tourteau de l'arganier : Impact sur les performances du cheptel soumis à l'engraissement.** Première édition du symposium national Innovation et Management de la Qualité des Aliments. Fès, Maroc, 28-29 Décembre 2016.

Liste des figures

Figure 1: ***Distribution géographique de l'arganier au Maroc*** **6**
Figure 2: ***L'arbre de l'arganier*** **7**
Figure 3: ***Les feuilles de l'arganier*** **8**
Figure 4: ***Le fruit de l'arganier*** **8**
Figure 5: ***Le noyau de l'arganier*** **9**
Figure 6: ***Pulpe de l'arganier*** **12**
Figure 7: A : ***Tourteaux de grains grillés,*** **B :** ***Tourteaux de grains non grillés*** **14**
Figure 8: ***Structures de base des saponines :*** **(a)** ***triterpénoïde et*** **(b)** ***stéroïde*** **17**
Figure 9: ***Structure chimique des saponines d'Argania spinosa*** **18**
Figure 10: ***Répartition géographique des caprins au Maroc*** **26**
Figure 11: ***Photo prise des chèvres de race Alpine*** **29**
Figure 12 : ***Carte géographique de la région d'Essaouira*** **55**

Liste des tableaux

Tableau 1: ***Classification botanique de l'arganier*** **..... 7**
Tableau 2: ***Arganines du tourteau d'argane*** **..... 18**
Tableau 3: ***Composition physique et chimique du lait de chèvre Alpine*** **..... 29**
Tableau 4: ***Inventaire de la diversité des genres de bactéries et levures dans des laits crus de chèvre et de vache*** **..... 31**
Tableau 5: ***Teneurs des minéraux dans le lait caprin et bovin (en mg/100g)*** **..... 35**
Tableau 6: ***Composition du lait cru caprin en différentes vitamines*** **..... 36**
Tableau 7: ***Composition des rations distribuées*** **..... 58**

Liste des abréviations

ADF : Fibre au détergent acide

ADL : Lignine au détergent acide

ALA : Acide α-linolénique

ADN : Acides désoxyribonucléiques

AGMI : Acides gras mono-insaturés

AGPI : Acides gras polyinsaturés

AGS : Acides gras saturés

ANOC : Association nationale des éleveurs ovins et caprins

AOAC: Association of Official Analytical Chemists

APC: Non-detoxified argane press cake

BF3 : Trifluorure de bore

CB : Cellulose brute

CD : Conventional diet

CNRST : Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique

DAPC: Detoxified argane press cake

DL: Dose létale

DO : Densité optique

DPA : Direction Provincial de l'agriculture

DPPH : 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

EAG : Equivalent en acide gallique

EQ : Equivalent en quercitine

FAME : Esters méthyliques d'acides gras

FMAT: Flore mésophile aérobie totale

FRAP: Ferric Reducing Ability of Plasma

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

LDL : Lipoprotéines de faible densité

MAT : Matières azotées totales

MG : Matières grasses

MM : Matières minérales

MRS : De Man, Rogosa et Sharpe

MS : Matière sèche

NDF : Fibre au détergent neutre

ONSSA : Office national de sécurité sanitaire des produits alimentaires

PCA : Plate Count Agar

Ppm : Partie par million

ROS : Espèces réactives d'oxygène

RSM : Méthode de surface de réponse

SAAF : Spectrophotomètre d’absorption atomique à flamme

SOD : Superoxyde dismutase

T : Alimentation conventionnelle

TD : Tourteau détoxifié

TND : Tourteau d’argane non détoxifié

UF : Unité fourragères

UFL : Unité fourragère lait

UFV : Unité fourragère de viande

UNESCO : Organisation des Nations Unies de l’Education, de la Science et la Culture

VRBL : Violet Red Bile Lactose Agar

Table des matières

Dédicace I

Remerciements II

Résumé VI

Summary VII

Liste des publications VIII

Liste des communications X

Liste des figures XII

Liste des tableaux XIII

Liste des abréviations XIV

Introduction générale 1

Chapitre I : Revue Bibliographique 4

I. Généralité sur l'arganier 4

1 Aspect historique 4

2 Aire de répartition de l'arganier 5

3 Classification et description botanique de l'arganier 6

4 Intérêt et usages de l'arganier 9

4.1. Intérêt écologique 9

4.2. Intérêt socio-économique 10

5 Les sous-produits de l'arganier 12

5.1 La pulpe de l'arganier 12

5.2 Les feuilles de l'arganier 13

5.3 La coque de l'arganier 14

5.4 Le tourteau de l'arganier 14

II. Propriétés physico-chimiques du tourteau de l'arganier 15

1 Composition chimique du tourteau 15

2 Digestibilité du tourteau 15

3 Les facteurs antinutritionnels du tourteau 16

3.1 Les saponines 16

3.1.1 Généralité 16

3.1.2 Les saponines du tourteau de l'arganier 18

3.1.3 Les saponines dans la nutrition animale 19

3.1.4 Effet antinutritionnel des saponines 19

4 Méthodes de détoxification 24
III. Elevage caprins au Maroc 26
1 Généralité 26
2 Importance de l'élevage caprin au Maroc 26
2.1 Effectif 26
2.2 Répartition géographique 26
2.3 Structure génétique 27
2.4 Système d'élevage caprin au Maroc 27
2.5 Contribution de l'arganier dans les rations alimentaires des caprins 28
2.6 Production laitière caprine 28
2.7 Aperçu sur la race Alpine 28
3 Qualité microbiologie et compositionnelle du lait caprin cru 29
3.1. Qualité microbiologique du lait 29
3.1.1. Importance et diversité de la microflore du lait cru 30
3.1.2. Effet de la saison sur les niveaux des microflores du lait 32
3.2. Qualité compositionnelle du lait de chèvres 32
3.2.1. Caractéristiques organoleptiques 32
3.2.2. Paramètres physico-chimiques 33
3.3. Acide gras du lait 38
3.3.1. Acides gras saturés 38
3.3.2. Acides gras mono-insaturés (AGMI) 39
3.3.3. Acides gras polyinsaturés (AGPI) 39
3.4. Potentiel antioxydant du lait 40
3.4.1. Antioxydants 41
3.4.2. Radical libre 41
3.4.3. Composés phénoliques 43
3.4.4. Flavonoïdes 45
4 Les facteurs influençant la composition du lait 46
4.1 Variabilité génétique 46
4.2 Stade de lactation 46
4.3 Âge et rang de mise bas 47
4.4 Etat sanitaire 47
4.5 Alimentation 47

4.6 Saison et climat 48
5 Variabilité du rendement laitier 48
6 Valorisation et transformation du lait de chèvre 49
6.1 Technologie fromagère 49
6.2 Application des bactéries lactiques 51
6.3 Pouvoir antioxydant des dérivés laitiers 51
Chapitre II : Matériels et méthodes 55
I Caractéristiques générales et choix de la zone d'étude 55
II Enquête préliminaire 56
III Optimisation de la détoxification du tourteau de l'arganier 56
1 Optimisation classique 56
2 Optimisation par plan d'expérience 57
IV Animaux et alimentation 58
1 Analyse réalisée sur les ingrédients et les rations alimentaires 59
1.1 Détermination des saponines 59
1.2 Matière sèche 59
1.3 Cellulose brute 60
1.4 Matière azotée totale 60
1.5 Matière grasse 61
1.6 Matière minérale 61
1.7 Dosage des minéraux 62
1.8 Profil des acides gars des rations alimentaires 64
1.9 Pouvoir antioxydant des rations alimentaires 65
2 Production laitière 67
3 Analyses réalisées sur le lait 68
3.1 Analyses microbiologiques 68
3.2 Analyses physico-chimique 70
3.3 Profil des acides gras du lait 70
3.4 Potentiel antioxydant du lait 71
4 Valorisation technologique 71
Chapitre III : Résultats et discussion 73
I. Article 1: Use of *Argania spinosa* by-products as livestock feed in Morocco: A survey in Essaouira province 73
1 Synthèse de l'article 73

II. Article 2: The Impact of Optimizing the Detoxification of Argane (*Argania spinosa*) Press Cake on Nutritional Quality and Saponin Levels 83

1 Synthèse de l'article 83

III. Article 3: Effects of the inclusion of the detoxified argane press cake in the diet of dairy goats on milk production and milk quality 102

1 Synthèse de l'article 102

IV. Article 4: Fatty acid profile variations of Alpine goat's milk in response to detoxified *Argania spinosa* press cake supplementation 123

1 Synthèse de l'article 123

***Fatty acid profile of goat's milk* 131**

V. Article 5: Incorporating detoxified *Argania spinosa* press cake into the diet of Alpine goats affects the antioxidant activity and levels of polyphenol compounds in their milk 134

1 Synthèse de l'article 134

VI. Article 6: The effect of fed detoxified Argane oilcake on Alpine goat's cheese: Microbiological, physicochemical and antioxidant properties 147

1 Synthèse de l'article 147

Synthèse générale 161

Conclusion générale et perspectives 165

Références bibliographiques 167

ANNEXE 194

Introduction générale

Au Maroc, l'élevage des ruminants est considéré comme étant un secteur socio-économique important ; représentant entre 25 à 30% du produit agricole intérieur brut. L'élevage caprin occupe la deuxième place dans l'agriculture marocaine avec environ 5,6 millions de têtes après l'élevage ovin (20 millions de têtes) et avant celui des bovins (3 millions de têtes). Cependant, en raison de la succession des années de sécheresse et de la hausse des prix des matières premières au niveau du marché international, les ruminants des zones arides et semi-arides du Maroc souffrent de problèmes alimentaires aigues qui réduisent considérablement leurs performances de production. Cette situation a conduit à un usage excessif des zones pastorales, et par conséquent, à une dégradation et une diminution de la disponibilité en fourrage sur les parcours. En conséquence, les pasteurs ont été confrontés à une modification du système alimentaire traditionnel reposant principalement sur la contribution des parcours à un système basé sur la supplémentation en concentrés (les grains de céréales) (Jorfi et *al,* 2014). Cependant, cette forte dépendance vis-à-vis des aliments concentrés peut affecter la rentabilité et la durabilité des exploitations. Face à cette situation, l'utilisation optimale des ressources alimentaires disponibles localement, notamment les sous-produits agricoles et agroindustriels, peut constituer une alternative pour réduire le coût des aliments et augmenter la durabilité, car elle offre la possibilité de recycler les résidus tout en préservant la qualité des produits et la santé animale (Ben Salem et Smith, 2008). Toutefois, ces ressources alimentaires alternatives sont moins utilisées en raison de leur teneur en éléments secondaires qui peuvent affecter négativement la productivité des animaux (Jorfi *et al,* 2014). Parmi les ressources alternatives, les sous-produits de l'arganier (tourteau et pulpe) peuvent contribuer à réduire les contraintes alimentaires du cheptel des zones aride et semi-aride du Maroc et à rendre les éleveurs moins dépendants des fluctuations des prix des rations conventionnelles.

L'arganier (*Argania Spinosa* (L.) Skeels) est un arbre endémique au Maroc à la fois forestier, fruitier et fourrager. C'est un arbre très résistant à la sécheresse et à la chaleur, il pousse d'une façon sauvage et en abondance dans les zones arides et semi-arides du sud-ouest marocain. Dans cette zone géographique, l'arganier joue un rôle irremplaçable dans l'équilibre écologique et dans la préservation de la biodiversité. Il s'étend sur une superficie estimé à 830.000 ha, comparé aux autres forestières, il occupe la 2^{éme} place à l'échelle national après le chêne vert avec un pourcentage de 17% (Taarji *et al,* 2017). L'arganier génère une production mondiale d'environ 350.000 tonnes de fruits par an (Moutik *et al,* 2019), utilisés pour la

production d'huile d'argane. Cela génère également de grandes quantités de sous-produits environ 43% de pulpe (péricarpe), 52.6% des coquilles et 2% du tourteau (Zouhair *et al*, 2018). De plus, la disponibilité de ces sous-produits coïncide avec des périodes de pénurie alimentaire (périodes de sécheresse) et une forte pression sur les ressources sylvo- pastorales.

En effet, le tourteau de l'arganier qui est le résidu de l'extraction de l'huile d'argane, constitue une source riche et peu coûteuse de composants bioactif. Il est aussi une excellente source de nutriments alimentaires avec 18 à 28% de lipides et 26% de glucides dont 17% de cellulose brute et 9% de sucre totaux. En outre, le tourteau d'argane représente l'une des rares sources de protéines alternatives avec un taux de 48%, ce qui pourrait constituer une ressource protéique stratégique pour combler le déficit caractérisant les rations alimentaires du cheptel national, Cependant, son utilisation dans l'alimentation des ruminants est limitée, car il présente des antinutritionnels dont les saponines qui lui donnent un goût très amer.

Les saponines sont des métabolites secondaires qui se retrouvent presque dans toutes les plantes (Francis *et al*, 2002). Ces substances sont des facteurs antinutritionnels qui peuvent se lier facilement à de nombreuses molécules, en particulier les protéines, formant un complexe résistant contre les attaques enzymatiques (Soetan *et al*, 2015). Les saponines sont également capables d'inhiber l'absorption des vitamines et des minéraux au niveau intestinal. Ainsi provoquant une irritation des muqueuses, un relâchement intestinal et aussi une interaction entre les saponines et les cellules de l'estomac induisent une perte d'appétit chez les ruminants. Par ailleurs, à forte dose les saponines altèrent la qualité du lait en leur conférant un goût désagréable et entrainant de grave diarrhée chez les jeunes ruminants.

Toutefois, les saponines peuvent être en même temps bénéfiques pour les ruminants car ils empêchent la forte intensité de dégradation des protéines et augmentent en conséquence la teneur des acides aminés dans le duodénum. Ces substances peuvent améliorer le profil en acides gras, qui se traduit par une augmentation des acides gras insaturés et une diminution des acides gras saturés et en conséquence aura une répercussion positive sur la santé du consommateur(Chiofalo *et al*, 2004). Les saponines présentent aussi des intérêts tels la diminution de la concentration des lipides du lait (Aguiar *et al*, 2014).

Le développement du secteur agricole et agroalimentaire est un enjeu majeur pour le Maroc, sur le plan économique, politique et social, Dans le cadre du Plan Maroc Vert, l'institut national de recherche agronomique de Rabat (INRA) contribue à la valorisation des sous-produits de l'arganier dans l'alimentation animale autant que source protéique et énergétique.

Dans ce contexte, le présent travail vise à détoxifier le tourteau pour atténuer les effets controversés des saponines sur la production et la qualité du lait caprin, afin d'alléger la pression exercée sur les ressources naturelles et de réduire les coûts d'alimentation et l'amélioration des performances de production, toute en préservant la valeur nutritionnelle du tourteau. D'autre part, plusieurs études ont montré que la nature des aliments ingérés par les ruminants constitue l'une des principaux facteurs de variation des performances de production laitière et de croissance, aussi des caractéristiques qualitatives des produits laitiers. De ce fait, la présente étude se cadre dans l'évaluation de l'effet de l'incorporation du tourteau de l'arganier détoxifié dans les rations alimentaires des caprins sur la variation de la production et la qualité du lait caprin.

L'originalité de notre étude de recherche qui est la première du genre, à utiliser la technologie de détoxification des sous-produits de l'arganier et leur incorporation dans l'alimentation des chèvres au niveau de la province d'Essaouira. Dans ce contexte, cette thèse a été présentée en trois chapitres, dont le premier chapitre est dédié à une synthèse bibliographique qui propose une présentation de l'arganier, depuis sa description et sa classification jusqu'à ses intérêts et son usage. Ainsi qu'une exposition détaillée de la matière à valoriser « le tourteau d'*Argania spinosa* », sa valeur nutritive et la caractérisation de ses saponines ainsi les différents procédés pouvant atténuer les effets controversés des saponines sur la production et la qualité des produits caprins. Cette étude bibliographique présente également l'élevage caprin au Maroc ainsi la production laitière et la qualité hygiénique et physicochimique du lait issu de cet élevage, elle s'achève par la valorisation technologique dudit lait à travers la fabrication d'un fromage frais.

Ensuite, un second chapitre présente un questionnaire détaillé pour le recueil des informations concernant l'utilisation des sous-produits de l'arganier dans l'alimentation des ruminants dans la région d'Essaouira, l'ensemble du matériel utilisé, les protocoles suivis, les mises au point effectuées et les méthodes d'analyses appliquées durant ce travail.

Enfin, un troisième chapitre arborée d'articles en anglais présentant l'ensemble des résultats obtenu lors de cette étude et leurs discussions, dont chaque article est précédé par une synthèse générale.

Chapitre I : Revue Bibliographique

I. Généralité sur l'arganier

1 Aspect historique

L'arganier est considéré par les habitants du sud-ouest marocain comme une providence de Dieu. Il est très anciennement connu et utilisé par l'homme puisque les phéniciens, au Xème siècle ont utilisé l'huile d'argane dans leurs comptoirs qu'ils avaient installés le long de la côte atlantique (Essaouira). Au XIIIème siècle et plus précisément vers 1219, le médecin égyptien Ibn Al Beitar, dans son ouvrage « Traité des simples » traduit en français par le Dr Leclerc en (1877-1883), décrit l'arbre et le mode d'obtention artisanal de l'huile «un arbre de haute taille, épineux, donnant un fruit du volume d'une amande et contenant un noyau que l'on triture et dont on extrait l'huile pour l'employer dans les préparations alimentaires».

En 1515, Hassan Ben Mohammed Al Ouazzan alias Jean-Léon l'africain, parle dans son livre « Description de l'Afrique », sur l'intérêt de l'arganier dans la région de Haha, et ajoute aussi que l'huile d'argane a une forte odeur et servant pour l'alimentation et l'éclairage. En outre, le feuillage et le tourteau sont consommés par les chèvres. En effet, dans le même livre il a signalé que la vie de la population locale de la région d'Essaouira se base principalement sur l'huile d'argane, la culture de l'orge et l'élevage caprins. Par ailleurs, au 18ème siècle, les récits des voyageurs et des agents consulaires anglais au Maroc, décrivent que les forêts de l'arganier étaient denses et s'étendaient depuis Safi à la frange saharienne.

En 1781, Hoest a publié son mémoire sur la flore Maghrébine, dans lequel mentionne l'utilisation de l'arganier dans les usines de la fabrication du savon à Marseille. Schousboe, consul Général du Danemark au Maroc en 1791, avait publié ses observations sur la flore marocaine et pour l'arganier particulièrement en 1801.

Ce n'est qu'en 1888 que Cotton isole un principe actif à partir du tourteau de l'arganier l'identifié comme un mélange de saponine et l'appelé Arganine.

En 1906 Gentil parle des indicateurs écologiques de l'arganier et ajoute aussi que dans la région d'Essaouira l'arbre y est lié aux conditions hygrométriques.

En 1924, Braun-Blanquet et Maire mentionnent dans leur mémoire « Les études sur la végétation et la flore marocaine » le secteur de l'arganier. La même année, Emberger a signalé l'existence de l'arganier dans la haute vallée de l'Oued Grou entre Tedders et Rommani au sud-est de Rabat. Ainsi, il a découvert un autre îlot sur le versant nord du massif montagneux des Beni Snassen auprès d'Oujda en 1925.

En 1926, Maire publie à la suite de ses missions dans la région de Souss un premier article sur la végétation du sud-ouest marocain, citant deux variétés d'arganeraies : celle à

Euphorbia Echinus du littoral atlantique et celle à *Hesperola Barum Platycarpum* (Maire) des montagnes d'Adar – ou - Amane ébauchant ainsi la première classification d'arganeraie des plaines et des montagnes.

C'est ainsi qu'en 1929, Battino s'intéresse à l'huile d'argane avec d'autres produits de l'arganier surtout l'arganine isolé par Cotton et à laquelle il prête une action hémolytique in vivo et in vitro.

En 1938, Emberger publie « les chèvres et l'arganier » ce qui mène les recherches à toucher d'autres entités en relation avec l'arganier. Tandis qu'en 1965, Monnier, démontre déjà que l'exploitation abusive et le défrichement sont les deux principaux dangers qui menacent l'arganier.

Vu l'intérêt que présente l'arganier sur le plan écologique, certains pays l'ont introduit pour enrichir leur patrimoine forestier. Le premier mérite d'acclimatation revient à la Hollande qui a testé pour la première fois, et ce depuis 1697, l'introduction de cette espèce en Europe, suivie en 1711 par l'Angleterre, en1852 dans le sud de la France, en 1927 en Californie et actuellement en Tunisie, en Libye et en Israël où il semble avoir donné de bons résultats.

L'arganier a suscité le centre de la société savante depuis très longtemps et demeure une source d'émerveillement et d'inspiration pour les chercheurs actuels.

2 Aire de répartition de l'arganier

L'arganier (*Argania spinosa* (L.) skeels), une espèce oléo-agro-sylvo-pastoral endémique du Maroc, est le seul représentant de la famille tropical des sapotacées en Afrique du Nord (Bellefontaine *et al,* 2010). L'arganier est parfaitement adapté aux climats aride et semi-aride du sud-ouest marocain. Il s'étend sur une superficie estimé à 830.000 hectares (Taarji *et al* ,2017) avec une densité allant de 25 à 50 arbres/ha (Bouharroud *et al,*2015), ce qui lui confère le statut de la 2ème espèce forestière du pays après le chêne vert (*Quercus rotundifolia* L) avec 1.364.100 ha, et juste avant le thuya (*Tetraclinis articulata* Benth), essence très étendue au Maroc aussi, avec une surface évaluée à 607.900 ha (Badreddine, 2016).

L'arganier est un patrimoine reconnu par l'Organisation des Nations Unies de l'Education, de la Science et la Culture (UNESCO) comme réserve de la biosphère en 1998 (Gharby *et al,* 2011), couvrant une bande côtière plus ou moins clairsemée, entre l'embouchure de l'oued Tensift au nord d'Essaouira et celle de l'oued Drâa au Sud (Figure 1). Il se développe aussi dans la plaine de Souss, sur le versant sud du Haut Atlas occidental et sur le versant nord de l'Anti-Atlas occidental. Des colonies isolées de l'arganier se trouvent

éparpillées dans la vallée de l'oued Grou au sud-est de Rabat et sur les versants septentrionales du massif des Beni Snasen au nord-ouest d'Oujda, elles s'étendent sur une superficie d'environ 600 ha (Reda-Tazi *et al*, 2003). L'arganier occupe une tranche altitudinale allant du bord de mer pour s'élever en montagne jusqu'à 1500 mètres d'altitude dans les régions les plus chaudes (Quezel et Medail, 2003). Cette limite s'abaisse légèrement en allant vers le nord du Maroc.

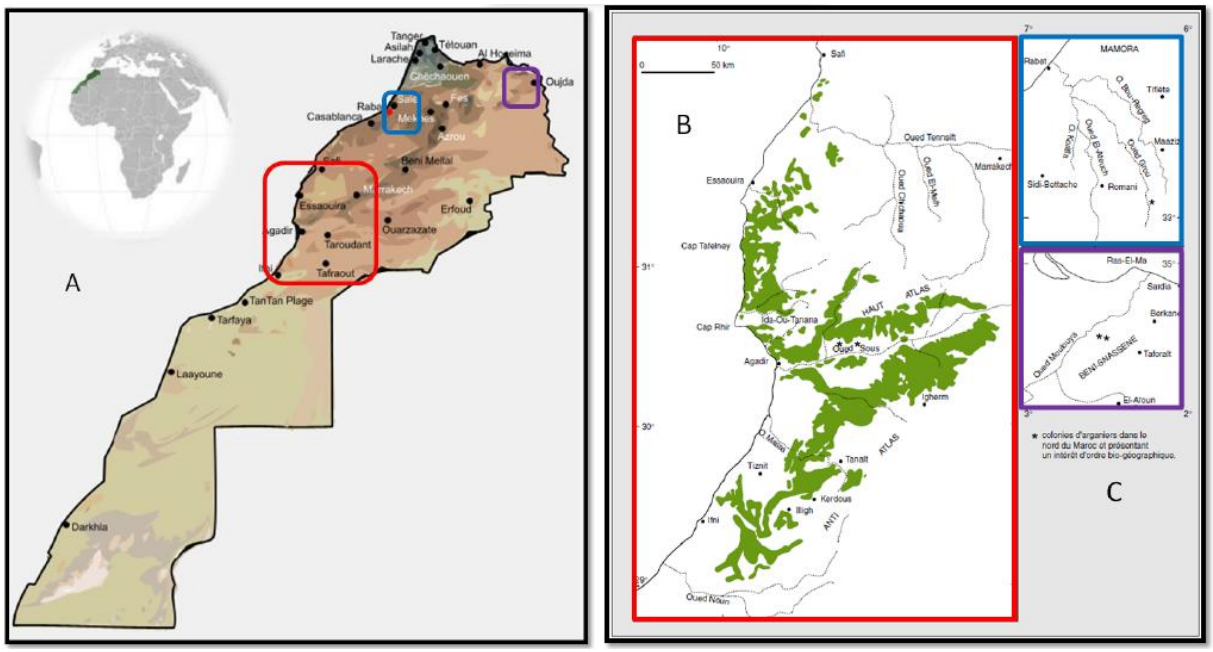


Figure 1: ***Distribution géographique de l'arganier au Maroc***
(Msanda *et al*, 2005)

A : Carte du Maroc situant la répartition de l'arganier le long du littoral océanique marocain. **B :** Agrandissement du carré rouge (en **A**) représentant l'aire géographique de l'arganier depuis l'embouchure de l'oued Tensift au nord, jusqu'à l'embouchure de l'oued Drâa au sud du Maroc et dans la plaine du Souss. **C :** Agrandissement du carré bleu et du carré violet (en A) représentant successivement deux stations isolées de l'arganier au sud-est de Rabat et au nord-ouest des Béni-Snassen.

3 Classification et description botanique de l'arganier

L'arganier appartient à la famille tropicale et subtropicale des sapotacées, du genre monotype *Argania* et d'espèce *spinosa* (Tableau 1). C'est un arbre xérophile (résiste à l'aridité), thermophile (résiste aux températures élevées) et halophile (résiste aux embruns marins) possédant une grande faculté d'adaptation aux adversités climatiques (Souidi *et al*, 2013), il peut supporter des températures prolongées jusqu'à 50°C et résiste à des températures de 0°C.

Tableau 1: *Classification botanique de l'arganier*

Nom	***Argania spinosa* L (Skeels)**
Embranchement	Phanérogames
Sous embranchement	Angiospermes
Classe	Gamopétales
Sous classe	Ebénales
Famille	Sapotacées
Genre	Argania
Espèce	Spinosa

L'arganier ayant l'allure d'un olivier de taille pouvant atteindre 8 à 10 m de hauteur selon les conditions écologiques, et très résistant qui peut vivre de 150 à 200 ans (Charrouf, 2007). Sa cime est dense et à contours arrondis, développe des rameaux épineux qui assurent une certaine défense de l'arbre (Figure 2). Le tronc est très vigoureux et assez court, souvent formé de plusieurs tiges entrelacées, l'écorce de l'arganier est rugueuse présente un aspect de type « peau de serpent », permettent aux chèvres de grimper dans la couronne pour brouter les feuilles et les fruits. Cela conduit à la réduction de l'arganier à l'état de buissons médiocre.

Figure 2: ***L'arbre de l'arganier***

Les feuilles de l'arganier sont alternés, lancéolées ou spatulées de couleurs verte sombre à la face supérieur, plus claire en dessous, avec une nervure médiane très nette et des nervures latérales très fines et ramifiées (Figure 3). Ses feuilles sont sub-persistantes, ne tombant que dès l'instant où éclatent de nouveau bourgeons et même en période de sécheresse.

Figure 3: ***Les feuilles de l'arganier***

Les fleurs de l'arganier monoïques (hermaphrodite) qui apparaissent en glomérules axillaires, sont blanches à jaunes verdâtres. Le calice de la fleur est comprend 4 à 8 sépales pubescents succédant à deux bractées ; La corolle, présente 4 à 8 carpelles soudées en un ovaire supère, pluriloculaire (1 ovule par loge, 1 style, 1 stigmate). La floraison a lieu en Mai-Juin et conduit à des fruits qui atteindront leur maturité vers septembre (El Monfalouti *et al,* 2013).

Le fruit de l'arganier est une baie de forme variable (fusiforme, ovale, ovale apicule, goutte, arrondie, globuleux) avec une taille de 1 à 5 cm et de couleur verte à jaune ou jaune-brun clair suivant les arbres, par contre la couleur sombre se développe après abscission (El Monfalouti *et al,* 2013) (Figure 4).

Figure 4: ***Le fruit de l'arganier***

Le fruit referme un noyau très dur (noix d'argane) représentant environ un quart du poids du fruit frais (Figure 5). La noix contient une à trois amendons albuminées et huileuses renfermant jusqu'à 55% d'huile, et enveloppé par un péricarpe charnu ou pulpe (El Monfalouti *et al,* 2013). C'est à partir de cette amendons que l'huile d'argane est extraite, ce qui donne une huile comestible et un tourteau.

Figure 5: ***Le noyau de l'arganier***

Le bois de l'arganier est très dur, compact et lourd de densité variant de 0,99 à 1,1 (Elabed, 2007). Il est appelé bois de fer, de couleur blanc-jaunâtre, sans aubier, donnant un excellent charbon.

Il est connu de longue date que l'arganier dote d'un excellent système racinaire plonge très profondément dans le sol (30 m de profondeur), lui permette de puiser les eaux des couches profondes, il contribue a maintenir le sol et permet de lutter contre l'érosion hydrique et éolienne qui menacent de désertification d'une bonne partie du Maroc.

4 Intérêt et usages de l'arganier

L'arganier est un arbre typiquement multi-usage, tous ses produits sont exploitables et constitues une source de revenus ou de nourriture pour les populations qu'il abrite ; avec un rendement de 6 à 7 milliards de centimes par an. En raison de son importance écologique et socio-économique qu'il procure, l'arganier a été déclaré comme ¨espèce protégée¨ par l'UNESCO en 2007(Benguendouz *et al*, 2017)

4.1. Intérêt écologique

Sur le plan écologique, l'arganeraie joue un rôle vital en matière de protection des sols contre la désertification, l'érosion éolienne et contre l'érosion pluvial (Msanda *et al*, 2005) favorisant ainsi l'alimentation en eau des nappes phréatiques. L'arganier protège par son ombre l'herbe pastorale et les plantes (Charrouf *et al*, 2008) et assurent leurs besoins en eau par voie d'évaporation et de condensation atmosphérique. Cela a un effet considérable pour les éleveurs locaux pour l'alimentation de leurs bétails. L'écosystème arganeraie contribue vivement à la pérennité du couvert végétal dans des conditions climatiques défavorables. De plus, il constitue un rempart contre l'avancée du désert au sud du Maroc (Charrouf et Guillaume, 1999).

Au-dessous de l'arganier les chercheurs ont recensé 100 variétés végétales qui ne doivent leur survie qu'à son abri protecteur, ce qui en fait un arbre des plus précieux dont la disparition entraînerait certainement la disparition de nombreuses espèces, conduisant à la réduction du patrimoine génétique pour l'arbre lui-même ainsi que pour les autres espèces animales et végétales.

4.2. Intérêt socio-économique

L'arganier est un arbre intéressant, non seulement par ses caractéristiques écologiques, qui lui permet de coloniser toutes sortes de terrains, sauf les sables mobiles, mais aussi pour son potentiel économique, avec une portée sociale considérable.

La production fruitière d'arganeraie varie selon l'âge de l'arbre, la densité du peuplement (20 à 100 kg/arbre) avec une moyenne de 40 kg/arbre/an (Bouzemouri, 2007), le milieu et la pluviométrie. Un hectare d'arganier produit en moyenne 500 kg de fruits mûrs. La production des différentes composantes du fruit pour 100 kg de fruits frais donnent 60 kg de fruits secs avec 30 kg de pulpe et 30 kg de noyaux qui donnent environ 27 kg de coques et 3 kg d'amendons qui donneront après extraction un litre d'huile d'argane et 2 kg de tourteau (Bouharroud *et al*, 2015). Actuellement la production nationale en huile d'argane est de l'ordre de 4.000 tonnes par an.

L'huile d'argane constitue la base de l'alimentation de la population locale (Charrouf et Guillaume, 2010), elle fournit plus de 25 % des lipides ingérés quasi quotidiennement dans la région où pousse l'arganier (Benajiba *et al*, 2006). Cette huile très demandée pour ses qualités diététiques, cosmétiques et également thérapeutiques (El Monfalouti *et al*, 2013). Elle représente économiquement le produit le plus rentable de l'arganier. En effet, si on compare l'huile d'argane et celle d'olive, cette dernière atteint 50 à 60 dh/L, alors que l'huile d'argane est 3 fois plus chère (150 dh/L). De plus, l'arganier est un arbre non plantée et non irriguée (sauvage), alors que l'olivier exige des entretiens et des arrosages. Cependant, la population locale ne pense pas abandonner aucune des deux huiles car chacune a son importance. Cette rentabilité est encore mieux perçue quand on compare l'arganier aux céréales. D'après les agriculteurs de la région arganeraie, le prix de vente des céréales ne couvre même pas le prix de revient. En fait, ils achètent les semences à 5 dh/kg, la main d'œuvre pour la moisson coûte 130 dh/jour/personne (avec en plus la prise en charge de la nourriture), la location du matériel pour le fanage est à 200 dh/ jour (en plus de la nourriture des hommes en charge de cette opération) (Aziz *et al*, 2011). Le prix de vente est de 1,2 à 1,3 dh/kg pour l'orge et 2 dh/kg pour le blé tendre (Aziz *et al*, 2011).

L'huile d'argane représente un produit international relativement nouveau et elle est exportée uniquement par le Maroc. Par ailleurs, le succès commercial spectaculaire qu'a pris l'huile d'argane a eu pour conséquence une augmentation très importante de son prix et devenu l'huile la plus chère au monde après l'huile de figue de barbarie. Ce qui classerait cette huile dans la gamme d'aliment de luxe (Zougagh *et al*, 2011).

L'arganeraie est un vaste parcours pastoral propice pour l'alimentation du bétail et plus particulier pour l'élevage extensif du cheptel caprin, offrant ainsi une multitude de ressources fourragères spontanées. Les estimations de la production pastorale des écosystèmes à arganier varient du simple au triple (150 à 450 UF/ha/an) (Qarro *et al*, 2013), soit près de 174 millions d'unités fourragères, équivalente à 1 740 000 quintaux d'orge (Faouzi et Martin, 2014). Cette production constitue un support fourrager permanant pour un cheptel estimé à 1,5 million de têtes dont 65 % de caprins (Faouzi, 2016). Il constitue en effet, un enjeu capital dans l'économie pastoral. Par ailleurs, l'arganier génère d'importantes quantités de sous-produits qui constituent des sources très importantes de nutriments pour les ruminants. En effet, le mésocarpe (pulpe) du fruit de l'arganier, source très énergétique, est utilisé comme complément chez la chèvre dans le sud du Maroc. Le tourteau d'argane, également, dont la teneur en protéines varie entre 40 et 48% et plus de 25% de matière grasse peut concurrencer le tourteau de soja en termes de valeur nutritive et de coût. Cependant, peu de travaux scientifiques se sont penchés sur la valeur nutritive et l'utilisation de ces sous-produits chez les ruminants. Les rares publications concernant l'utilisation de l'arganier en alimentation animale sont limitées à des travaux de pastoralisme sur les chèvres au sud du Maroc (El Aich *et al*, 2007) et à l'effet de ce pâturage de ces animaux dans l'arganier sur la teneur de leur viande en acides gras polyinsaturés (Bas *et al*, 2005). D'autres auteurs ont signalé l'importance de la composition chimique des sous-produits de l'arganier et leurs potentialités alimentaires pour les ruminants (Charrouf et Pioch, 2009).

D'autre part, l'arganier fournit un bois très dense et dur, utilisé massivement en tant que combustible, sous forme de charbon. Il est aussi utilisé en menuiserie et en matériaux de construction. Ce patrimoine procure au Maroc une production du bois estimée à 400.000 stères/an (1 stère = 1 m^3) (El Hadi, 2012).

La forêt d'arganier soutien prés de 3 millions de personnes, dont 2,2 millions au milieu rurale (Charrouf, 2007), en contribuant ainsi à limiter l'exode rural, Les différentes productions de l'arganeraie fournissent plus de 20 millions de jours de travail, y compris 7,5 millions de journées principalement féminines pour la seule extraction de l'huile d'argane (Bouharroud *et al*,2015). Depuis 2014, l'élément "l'Argane, pratiques et savoir-faire liés à

l'arganier" a été inscrit par l'UNESCO sur la liste représentative du patrimoine culturel immatériel de l'humanité.

5 Les sous-produits de l'arganier

5.1 La pulpe de l'arganier

La pulpe des fruits de l'arganier (Figure 6), appelée encore péricarpe, est la partie la plus externe enveloppant la graine, obtenue après dépulpage de fruit. Sa couleur change suivant le degré de maturation du fruit ; du vert au jaune veine, de rouge puis au brun (Merouane, 2009). Cette pulpe représente 40% du poids total des fruits d'argane, elle est charnue et riche en glucide. De ce fait constitue un excellent aliment pour le cheptel vivant dans l'arganeraie, ainsi qu'elle peut être conservée plus d'un an comme réserves alimentaires pour le bétail en cas de disette, et elle sert aussi de combustible.

Figure 6: ***Pulpe de l'arganier***

Chaque année, *Argania spinosa* génère des quantités énormes de sous produit au cours du processus de production de l'huile d'argane ; environ 43% de la pulpe (Zouhair *et al*, 2018). Ceci a favorisé, d'ailleurs, la création d'un marché de la pulpe, ce qui constitue la preuve que les habitants de la zone de production sont prédisposés à acquérir de plus en plus la pulpe comme aliment de bétail au lieu des autres aliments classiques qui sont plus chers et hors de leur portée. Ce type de commercialisation montre un pourcentage élevé de vente (47%) contre celui de l'achat qui n'est que de 9% (Hachmi *et al*, 2011). En effet, la production moyenne pondérée de pulpe est de 604 kg/ménage ; alors que la quantité moyenne consommée est faible de l'ordre de 354 kg/ménage (Hachmi *et al*, 2011).

On peut noter que la composition chimique de la pulpe d'argane est assez pauvre en matières azotées totales (MAT) dont la teneur oscille entre 3,55 et 9,26% de la matière sèche (MS) (Zouhair *et al*, 2018). Les facteurs responsables de la variation de cette teneur en MAT

sont la forme des fruits et l'âge de l'arbre. En effet sa matière azotée digestible est très faible (37,30 g/kg de MS) (Igmoullan et Rihani, 2015).

Sa teneur en matières minérales (MM) est de l'ordre de 3 à 7% de la MS. Elle tend à évoluer avec l'âge de l'arbre et la taille du fruit d'argane. La teneur de la pulpe en cellulose brute (CB) est faible compris entre 7,86 % et 14,46 % de la MS, avec une moyenne de 10,36 % MS. Cette teneur progresse légèrement et positivement avec l'âge de l'arbre, et d'une manière négative avec l'augmentation du rapport largeur/longueur des fruits. Ce faible taux en CB permet une forte digestibilité de ce sous produit qui varie de 63,2 à 78,9% (El Hadi, 2012).

La pulpe de fruits d'argane est très riche en sucres totaux et contient en moyenne 35% de la MS, alors que le taux en substances pectiques est relativement importante en moyenne de 8,45 %MS. Ces substances cytoplasmiques qui sont entièrement digestibles et rapidement fermentescibles contribuent à assurer une bonne valeur énergétique de l'aliment ; qui est de l'ordre de 1,07 unité fourragère lait (UFL) par kg de MS et de 1,05 unité fourragère de viande (UFV) par kg de MS (El Hadi, 2012). Le taux moyen de matières grasses (MG) de la pulpe varie entre 4,08 et 7,40 % de MS selon les arbres et les auteurs (Zouhair *et al*, 2018).

5.2 Les feuilles de l'arganier

Les feuilles de l'arganier sont utilisées par la pharmacopée traditionnelle marocaine pour ses propriétés anti-inflammatoires pour traiter les rhumatismes, les douleurs articulaires et les maux d'oreilles (Charouf et Guillaume, 1999). En effet, sont riches en composés phénoliques, flavonoïdes, tanins qu'ont des propriétés anti-inflammatoires et qui sont des piégeurs de radicaux libres.

D'autre part, son feuillage sert de pâturage suspendu pour les animaux. En effet, ces feuilles renferment 91,31% de la MS, 17,28% de MS de matière azotée total, 8,1% de MS de matière minérale, 4,82% de MS de lipides, 12,08% de MS de cellulose brut, la teneur en constituants pariétaux est de l'ordre de 27,4% de MS pour fibre au détergent neutre (NDF), 19,38% de MS pour fibre au détergent acide (ADF) et 10,31% de MS pour lignine au détergent acide (ADL) (Qarro *et al*, 2013). Ces valeurs expliquent l'appétibilité des feuilles d'arganier par leur pourcentage important en protéines et la faible teneur en fibres. De point de vue valeur énergétique et azotée, les feuilles d'arganier sont considérées comme un aliment de qualité pour tout type de production avec 0,75 UF/ kg MS et 128,1 g de matière azotée digestible par kg MS (Qarro *et al*, 2013).

Des études effectuées dans les écosystèmes arganeraie ont avancé des estimations pour la valeur fourragère des feuilles de ces écosystèmes à 100 UF/ha/an, soit 80 millions d'unités fourragères fournies par l'arganier annuellement. Cette quantité équivaut à 80 millions kg d'orge (Ouammou, 2012). Cette production constitue une source fourragère non négligeable pour le cheptel de cette zone.

5.3 La coque de l'arganier

Les fruits de l'arganier contiennent une coque très dure qui entourait les amendons et qui coûte 0,5 dh/kg (Aziz *et al*, 2011). La production de l'arganier en coques est estimée à 80.000 tonnes par an (Bouzemouri, 2007). Ce produit est recherché par des intermédiaires qui le vendent aux bains maures ou aux boulangeries en tant que combustible.

5.4 Le tourteau de l'arganier

Le tourteau de l'arganier "Zagmouna" est le nom donné au résidu obtenu après extraction de l'huile d'argane, il est d'aspect brun après pressage des amendons torréfiées lors de la préparation traditionnelle de l'huile (Figure 7A) et d'aspect blanc lorsque l'huile est obtenue par pressage mécanique des amendons non torréfiées (Guillaume et Charrouf, 2005) (Figure 7B). Sa teneur résiduelle en huile est de l'ordre de 5% nettement inférieure à celle du tourteau obtenu par préparation traditionnelle de l'huile qui est de l'ordre de 25%. Le tourteau de l'aragnier est caractérisé par un goût très amer, et par sa richesse en glucides, en protéines et en lipides. Par ailleurs, le secteur de l'arganier permet la production de 5.400 tonnes de tourteau (Bouzemouri, 2007) utilisé dans l'engraissement des bovins en raison de sa valeur énergétique et son prix qui varie de 1,8 à 2,5 dh/kg (Aziz *et al*, 2011).

Figure 7: A : ***Tourteaux de grains grillés*****, B :** ***Tourteaux de grains non grillés***

II. Propriétés physico-chimiques du tourteau de l'arganier

1 Composition chimique du tourteau

Très peu d'études de recherche ont été focalisées sur la productivité fourragère de l'arganier et sur la qualité nutritionnelle de ses sous-produits, notamment le tourteau, malgré son importance en tant que source fourragère principale pour le cheptel de la zone d'arganeraie au sud-ouest du Maroc.

L'analyse chimique du tourteau d'arganier, montre qu'il est riche en matières azotées totales, dont sa teneur fluctue selon la région et la forme du fruit. En effet les études effectuées ont abouti aux résultats suivants : 48,4% (Charrouf et Pioch, 2009) et 39,48 à 42,17% (Igmoullan et Rihani, 2015). Pour sa matière azotée digestible est de 223,21g/kg MS qui varie entre 187,66 et 242,42g/kg MS. Il est également caractérisé par sa richesse en matière grasse dont le taux varie évidemment beaucoup selon la technique d'extraction adoptée (18 à 28%).

Le tourteau d'argane est assez pauvre en matières minérale dont le taux oscille entre 3 et 4,58% de la MS. Sa teneur en glucide varie selon les sites et le phénotype, elle est de 26% dont 17% de cellulose brut et 9% des sucres totaux. La teneur moyenne en constituants pariétaux NDF est en moyenne de 4,81%, ce faible taux en constituants pariétaux permet une forte digestibilité au tourteau d'argane.

L'analyse minérale révèle que le tourteau d'argane contiennent 6,4g/kg MS de phosphore, 6,9 g /kg MS de calcium, 0,4 g /kg MS de sodium, et 10,4 g/kg MS de potassium. Les concentrations en calcium et phosphore, comparées à celles recommandées dans la littérature pour la chèvre, sont suffisantes pour sa croissance et son développement. National Research Council (1980) recommande 2g/ kg de MS et 1,4 g/kg de MS respectivement pour le calcium et le phosphore pour le maintien et la croissance.

2 Digestibilité du tourteau

Le tourteau d'argane est un aliment très digestible avec une digestibilité moyenne qui avoisine 92 à 95% de la matière sèche ; ce taux élevé de sa digestibilité s'explique en grande partie par sa faible teneur en fibres. Cette digestibilité élevée contribue à assurer une bonne valeur énergétique au tourteau d'argane : 1,20 unité fourragère de lait (UFL) et 1,10 unité fourragère de viande (UFV) (Igmoullan et Rihani, 2015). Ces valeurs sont très élevées en comparaison avec celles des tourteaux du tournesol (0,95 UFL et 0,85 UFV), du soja (1,06

UFL et 1,05 UFV) et du colza (0,85 UFL et 0,80 UFV). Cela permet de caractériser les tourteaux d'argane comme étant un fourrage de qualité.

La recherche dans le domaine de l'utilisation des sous-produits de l'arganier, notamment en alimentation animale est démontré que le rapport coût/bénéfices est largement en faveur de l'utilisation des tourteaux d'argane.

3 Les facteurs antinutritionnels du tourteau

Les facteurs antinutritionnels sont des composés naturels présents dans les tourteaux, telque les saponines, les phytates, les tanins, les lectines, les inhibiteurs d'enzymes (par exemple, les inhibiteurs de la trypsine, les inhibiteurs de l'amylase), les cyanures et les oxalates. Lorsqu'ils sont ingérés, affecteront l'utilisation des nutriments dans le corps animal, en particulier les protéines, les vitamines et les minéraux, en se liant à ces composés et réduiront donc leur absorption dans le tractus gastro-intestinal (Francis *et al*, 2002). La plupart de ces facteurs antinutritionnels ont un impact sur le système digestif et sur d'autres systèmes de métabolisme animal.

3.1 Les saponines

3.1.1 Généralité

Les saponines ou saponosides sont des métabolites secondaires abondamment retrouvés dans le règne végétal ; assurant la défense à la plante contre les agents pathogènes et les herbivores, ainsi sont impliquées dans la phyto-protection antimicrobienne. Le nom saponine provient du mot latin sapo qui signifie "savon" en raison de leurs propriétés tensioactives à former des mousses en solution aqueuse. Historiquement, de nombreuses plantes à forte teneur en saponines sont utilisées comme savons comme le fut la Saponaire (*Saponaria officinalis* L.), qui a été largement employée pendant des siècles.

Structuralement, les saponines sont composées de deux entités ; une fraction glycoside et une génine (aussi appelée aglycone). Selon la nature de la génine les saponines peuvent être divisées en saponines triterpéniques contenant trente atomes de carbone (C30), existant chez les angiospermes dicotylédones et chez certains animaux marins et en saponines stéroïdiques (C27), presque exclusivement présentes chez les angiospermes monocotylédones (Figure 8).

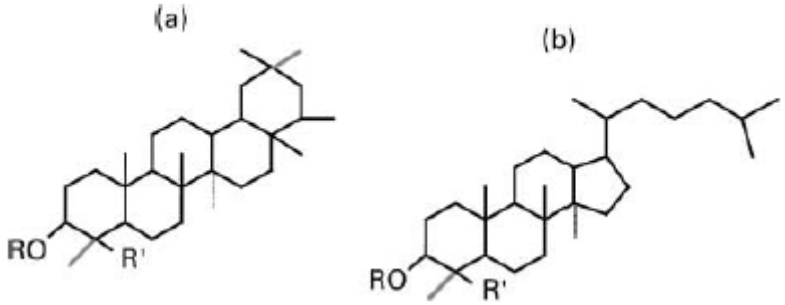


Figure 8: ***Structures de base des saponines :*** **(a)** ***triterpénoïde et*** **(b)** ***stéroïde***
(Francis *et al*, 2002)

Selon les saponines, la fraction glycosidique peut être composée d'une seule chaîne de sucre (monodesmoside) qui peut être linéaire ou ramifiée ou de plusieurs chaînes de sucres (bidesmoside, tridesmoside) qui peuvent être aussi linéaires ou ramifiées. Les glycosides sont liés à la génine par une liaison de type éther ou ester.

Les saponines ont un goût amère ou astringent, provoquent une irritation des muqueuses, causent un relâchement intestinal et aussi se révèlent être très toxiques, notamment pour les poissons, par leur activité hémolytique (Francis *et al*, 2002). En effet, les saponines à des concentrations de 3 à 7% sont représentées comme des poisons puissants, tandis qu'à 1%, elles sont dites inoffensives ; à 1,5%, on observe certaines activités biologiques sur les muqueuses.

Les saponines reconnus comme de puissants anti-nutriments des aliments. Elles réduisent la digestibilité des protéines par formation des complexes saponine-protéine peu digestibles. Par ailleurs, les saponines ne sont pas assimilées mais sont dotées d'un pouvoir hypocholestérolémiant lorsqu'elles se fixent au cholestérol et aux sels biliaires, ce qui a pour effet de réduire l'absorption intestinale du cholestérol. Car elles se lient aux acides biliaires et au cholestérol. C'est pourquoi les saponines ont un intérêt attrayant considérable, à la fois délétère et bénéfique.

Cependant, les saponines retiennent l'attention aussi bien pour leur exploitation industrielle en lien avec leurs propriétés pharmacologiques parce qu'elles forment le point de départ de l'hémi-synthèse des médicaments stéroïdiens. De plus, l'industrie des cosmétiques exploite notamment leurs propriétés détergentes, moussantes et émulsifiantes. Les applications des saponines s'étendent à l'agriculture, avec utilisation pour l'assainissement des sols et pesticides naturels.

3.1.2 Les saponines du tourteau de l'arganier

Le tourteau de l'arganier renferme sept saponines appelé encore Arganines pour rappeler leur origine botanique, dont deux saponines avaient déjà été isolées indépendamment chez d'autres espèces végétales. L'une des saponines déjà connues avait été nommée "mi-saponine A", l'autre était restée sans dénomination. Cette dernière ainsi que les nouvelles saponines ont été nommées Arganine (A, B, C, D, E, F) (Figure 9, Tableau 2). Jusqu'à présent les saponines isolées du tourteau de l'arganier sont entièrement à génines triterpénoïques.

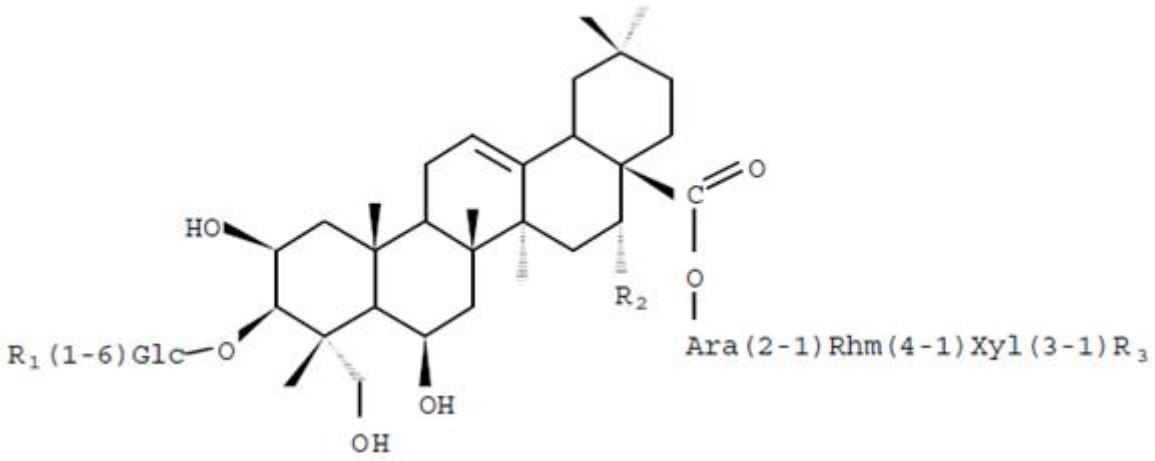


Figure 9: ***Structure chimique des saponines d'Argania spinosa***
(Charrouf *et al,* 1992)

Tableau 2: ***Arganines du tourteau d'argane***
(Charrouf *et al,* 1992)

Nom	R1	R2	R3
Arganine A	Glc	OH	Rhm
Arganine B	Glc	OH	Api
Arganine C	H	OH	Rhm
Arganine D	Glc	H	Rhm
Arganine E	Glc	H	Api
Arganine F	H	H	Api
Mi-saponine A	H	H	Rhm

Glc : β-D-Glucopyranose Xyl : β-D-xylopyranose

Rhm : α-L-Rhamnopyranose Api : β-D-Apiofuranose

Ara : α−L-Arabinopyranose

Les saponines du tourteau d'argane, très toxiques par voie intraveineuse, mais très peu actives par voie digestive, et à forte dose, elles conduiraient à une hémolyse chez les animaux. Elles ont éliminées en partie par les urines des animaux nourris aux tourteaux.

Les arganines paraissent cependant altérer la qualité du lait en transmettant un goût désagréable et en entraînant de graves diarrhées chez les jeunes ruminants. Ces substances naturelles à large spectre d'activité biologique tel qu'antifongiques, mollusquicides, et anti-inflammatoire consécutive à une interaction avec les leucotriènes. Elles possèdent également une activité antioxydante et stimulent la lipolyse in vitro, dotant ainsi des propriétés antiacnéique et antiride.

La toxicité aiguë et chronique des saponines du tourteau de l'arganier a été évaluée sur les rats et les souris. Pour la toxicité aiguë par voie orale, une DL50 (Dose létale pour 50% des animaux) de 2 g/kg a été déterminée, alors que l'administration chronique de ces saponines induit une diminution de la glycémie ainsi qu'une toxicité rénale (Guillaume et Charrouf, 2005).

3.1.3 Les saponines dans la nutrition animale

Un grand nombre de plantes contenant des saponines sont des plantes fourragères consommées par les ruminants et produisent des effets bénéfiques et délétères sur la physiologie digestive des ruminants, avec des conséquences profondes sur la production (Francis *et al,* 2002). Chez ces ruminants et d'autres animaux domestiques, les saponines alimentaires ont des effets importants sur toutes les phases du métabolisme, de l'ingestion d'aliments à l'excrétion des déchets (Soetan *et al,* 2015). Un certain nombre d'études ont récemment rapporté que l'activité biologique des saponines dépend non seulement de la structure de l'aglycon lipophile, mais également de la composition en sucres. Les orientations spatiales tridimensionnelles des saponines jouent également un rôle important dans sa bioactivité. Habituellement, les plantes contenant des saponines ne sont pas utilisées dans le commerce comme aliments pour animaux (Francis *et al,* 2002).

3.1.4 Effet antinutritionnel des saponines

Les effets antinutritionnels des saponines sont surtout associés à leur grande affinité à se combiner aux protéines endogènes et exogènes (protéines du tractus digestifs et diététiques), aux polymères (cellulose, hémicelluloses et pectine) et aux éléments minéraux, ralentissant ainsi leur digestion. Les associations protéines-saponines influent divers facteurs, tels que le goût et la valeur nutritive des aliments. Lorsqu'ils sont consommés par les herbivores, les saponines induisent des réponses négatives. Ces réponses peuvent être instantanées comme l'astringence ou tardives liées donc à leurs effets antinutritionnels.

La toxicité des saponines se manifeste à trois niveaux : l'ingestion, la digestibilité et le microbiote ruminal, Cette toxicité varie en fonction des saponines ingérés et de la tolérance de

l'animal qui, à son tour, dépend de certaines caractéristiques telles que la nature du tractus digestif, le comportement alimentaire, la taille, l'âge et les mécanismes de détoxication.

- ✓ **Effets des saponines sur l'ingestion, l'appétit et la croissance de l'animal**

Plusieurs études ont démontré que les saponines dans les rations alimentaires affectent la nutrition animale et les performances de croissance.

L'action des saponines sur l'ingestion des aliments se produit au niveau de la cavité buccale car les premières interactions entre les saponines et les protéines se déclenchent à ce niveau. En effet, la mastication entraîne la rupture des cellules des tissus de la plante et expose les protéines et le reste des constituants cellulaires à l'action des saponines. Il en résulte un phénomène d'astringence provenant de la formation de complexes entre les saponines et les glycoprotéines salivaires. Ces effets se manifestent du point de vue sensoriel par une sécheresse de la bouche due à la contraction des canaux salivaires. Le goût amer, qui en découle, réduit d'une façon considérable la sapidité de l'animal qui se répercute directement sur l'ingestion (Sen *et al,* 1998).

De nombreuses études ont indiqué que des extraits de saponines ou des plantes riches en saponines étaient responsables d'une réduction de l'efficacité de la conversion alimentaire (indice mesurant l'efficacité de l'ingestion d'aliments sur le gain de poids vif d'un animal) avec pour conséquences des dommages de croissance (Lovett *et al,* 2006 ; Herbillon, 2015). En revanche, Aazami *et al.* (2013) ont rapporté que l'administration d'extraits de plantes d'*Y. schidigera* (plantes riches en saponine) améliorait la croissance, l'efficacité de l'ingestion alimentaire et la santé des ruminants. Tandis que Nasri *et al.* (2011) ont signalé que le poids corporel, le gain quotidien moyen et la conversion alimentaire chez les moutons reste non affecté par l'apport de saponines.

- ✓ **Effet des saponines sur la digestibilité**

Les saponines ne sont pas généralement absorbés à travers le tractus digestif des ruminants, ils restent sous forme libre ou liée dans le rumen et diminuent la digestibilité de la matière organique, en particulier celle des protéines et des parois végétales. En effet, des expériences antérieures ont montré diverses réactions quant à la digestibilité lors de l'administration d'extrait de saponines ou de plante riche en saponines dans l'alimentation animale. Sen *et al.* (1998) ont estimé que la présence de saponine de *Quillaja* entraînait une réduction significative de la digestibilité. Tandis que, d'autres chercheurs ont démontré que les extraits de saponines ou les plantes contenant des saponines n'affectaient pas la digestibilité des nutriments.

- **Digestibilité des glucides**

L'effet antinutritionnel des saponines dans la digestion des glucides est rapporté dans la littérature. La présence de ces substances dans les fourrages entrave considérablement la digestion des fibres (cellulose, hémicelluloses et pectine) dans le rumen (Patra et Saxena, 2009 ; Wina *et al,* 2005). Cette faible digestibilité est due, en premier lieu, à l'interaction directe des saponines avec ces molécules ou/et à l'inhibition des bactéries ruminales et des enzymes fibrolytique (Wina *et al,* 2005). Dans certains cas, la faible digestibilité des fibres peut être due de la formation de complexes celluloses saponines qui résistent à la dégradation. D'autre part il y a beaucoup de controverse envers ce sujet, un certain nombre d'études ont signalé une augmentation de la digestibilité des fibres alimentaires. Patra et Saxena (2009) ont rapporté que la digestibilité de la fibre acide-détergente (ADF) est accrue avec des niveaux d'application croissants d'extrait de yucca plante à saponine. Pen *et al.* (2007) ont observé que la digestibilité de fibres détergentes neutres chez les moutons supplémentés en saponines de *Quillaja* a augmenté. Alors que d'autre expériences, montrent que l'ajout des saponines réduisait la biodégradabilité de la cellulose dans le rumen, mais augmentaient considérablement la dégradabilité des fractions de fibres dans l'intestin postérieur. Cette incohérence suggère que les réponses aux saponines en termes d'absorption et de digestibilité chez les ruminants pourraient dépendre de la composition de l'alimentation, de la source de saponine et de leur niveau d'inclusion dans l'alimentation.

- **Digestibilité des protéines**

Des études antérieures rapportent que la digestibilité des protéines est considérablement réduite lorsque les plantes saponifères font partie du régime alimentaire. Chez les ruminants, Les saponines sont capables de se lier avec les protéines et former des complexes protéines-saponines insolubles (Das *et al,* 2012). Ils ont un effet inhibiteur marqué sur l'activité microbienne. Ceci se manifeste par la désactivation des enzymes du tube digestif et l'inhibition de la croissance des bactéries du rumen qui dégradent ces protéines (Das *et al,* 2012).

Au cours de la digestion, la diminution de la dégradation des fourrages contenant des saponines dans le rumen se traduit par une augmentation des quantités d'azote non ammoniacal arrivant au duodénum (en proportion de la quantité d'azote ingérée). Une conséquence directe de la formation de complexes saponines protéines est la perte partielle ou totale des enzymes digestifs (Francis *et al,* 2002).

D'une manière générale, l'ingestion des végétaux riches en saponines affecte les niveaux de production (lait et gain de poids), et de la digestibilité des protéines. Parallèlement, la

teneur en ammoniaque du jus de rumen diminue ainsi que la teneur en acides gras volatiles, sans que leurs proportions molaires soient modifiées.

- **Digestibilité des minéraux et des vitamines**

En plus de leurs actions sur les protéines et les fibres, les saponines bloquaient l'absorption des micronutriments via la muqueuse intestinale, en induisant l'augmentation du besoin en éléments minéraux, grâce à leur activité complexante vis-à-vis les ions, ils peuvent diminuer la disponibilité du fer. Par exemple, les saponines de *Gypsophila* présentes dans le régime alimentaire réduisent les concentrations moyennes de fer dans le foie en altérant l'absorption intestinale (Soetan *et al,* 2015). De même, les saponines contribuent à augmenter le besoin en vitamines en abaissant les réserves hépatiques de vitamine A. Il a été signalé que l'inclusion des saponines triterpénoïdes de *Gypsophila* et de *Quillaja* dans un régime alimentaire interfère avec l'absorption des vitamines A et E (Soetan *et al,* 2015). Ces substances, en modifiant l'activité trophique du tube digestif, contribuent à augmenter les pertes endogènes de protéines, de vitamines et de minéraux.

- **Digestibilité du cholestérol**

Un certain nombre d'études ont montré que les saponines de différentes sources abaissent le taux de cholestérol sérique chez divers animaux, y compris des sujets humains. L'effet hypocholestérolémiant des saponines est attribué à leur capacité à former des complexes de micelles insolubles avec des stérols tels que le cholestérol dans l'intestin (Cheeke, 2000). De plus, les saponines peuvent inhiber l'absorption du cholestérol de l'intestin grêle et abaissent le cholestérol plasmatique chez les animaux (Aazami *et al,* 2013).

- ✓ **Effet des saponines sur les membranes cellulaires**

Un grand nombre d'effets biologiques des saponines ont été attribués à leur action sur les membranes cellulaires. En fait, leur capacité spécifique à former des pores dans les membranes a contribué à leur utilisation commune dans la recherche physiologique. On sait depuis longtemps que les saponines ont une action lytique sur les membranes des érythrocytes et on pense que cette dernière est le résultat de l'affinité du fragment aglycone pour les stérols membranaires, en particulier le cholestérol avec lequel elles forment des complexes insolubles. Cela qui conduit à l'éclatement de la membrane provoquant ainsi une augmentation de la perméabilité suivi de la perte de l'hémoglobine.

Les saponines triterpéniques du tourteau d'*Argania spinosa* sont toxiques pour les animaux à sang froid mais leur toxicité orale pour les mammifères est faible.

- ✓ **Effet des saponines sur la perméabilité intestinale**

Les saponines présentent une activité membranolytique contre les cellules de l'intestin grêle. Ce qui induit à l'augmentation de la perméabilité de la muqueuse intestinale, ainsi que la perturbation du transport actif qui entraîne une diminution de la capacité à accumuler des éléments nutritifs, un effet qui dépend de la structure de la saponine (Herbillon, 2015). Cette activité membranolytique a été clairement démontrée sur des rats.

- ✓ **Effet des saponines sur la microbite ruminale**

De nombreuse études ont prouvé que les saponines de différentes sources se sont avérées néfastes pour les protozoaires car elles agissent sur leurs membranes en précipitant les stérols qui les composent, et ont été identifiées comme des agents naturels de défaunation (Wang *et al,* 2012) parce qu'elles éliminent les protozoaires du rumen, en particulier les ciliés (les holotriches et les entodiniomorphes). Cette propriété pourrait être exploitée dans le traitement des infections à protozoaires chez d'autres animaux. Il a été découvert que les saponines triterpénoïdes et stéroïdes étaient nuisibles à plusieurs protozoaires infectieux tels que *Plasmodium falciparum*, les *trophozoïtes* de *Giardia* et les espèces de *Leishmania* (Francis *et al,* 2002). Il a été signalé que l'administration orale de saponines par la plante *Biophytum petersianum* a diminué le nombre de protozoaires chez les chèvres de 35 et 40% à la dose de 13 et 19,5 mg / kg de poids corporel, respectivement, au-delà duquel la numération de protozoaires n'a pas encore diminué (Santoso *et al,* 2007). De plus, l'addition d'*Enterolobium cyclocarpum*, une plante à forte teneur en saponine dans l'alimentation des moutons, diminuait le nombre de protozoaires dans le rumen de mouton sans modifier la composition de la communauté de protozoaires (Ivan *et al,* 2004). De même, la saponine de *Sapindus saponaria* aurait eu un effet négatif sur les protozoaires du rumen ; nombre de protozoaires déprimant dans le rumen du mouton Swiss White Hill, mais pas dans celui du mouton africain (Soetan *et al,* 2015). Cette variabilité peut être due à une adaptation de la population microbienne à la saponine, à l'expérience antérieure de l'animal à la saponine, ou aux deux. En revanche, l'absence de l'effet antiprotozoaire de certain saponines pourrait impliquer l'utilisation de faibles doses de saponines dans certaines études et une adaptation des microbes du rumen aux saponines dans d'autres études.

Par ailleurs, la toxicité des saponines vis à vis des microorganismes du rumen est décrite pour plusieurs espèces bactériennes, telles *que Streptococcus bovis, Butyvibrio fibrosolvens, Prevotella bryantii, Ruminobacter amylophilis, Ruminococcus albus* et *Ruminococcus flavefaciens.* Patra et Saxena (2009) ont rapporté qu'en se liant aux protéases extracellulaires,

les saponines inhibent la croissance des bactéries protéolytiques, en particulier *Ruminobacter amylophilis, Prevotella bryantii, Streptococcus bovis* et *Butyvibrio fibrosolvens*. Ainsi, le pouvoir de digestion de la cellulose de *Ruminococcus albus* et de *Ruminococcus flavefaciens* est réduit. D'autre études ont montré que la densité de la population de bactéries augmente lorsque les feuilles de *Sesbania sesban* (riche en saponines) sont introduites dans l'alimentation des ruminants, probablement comme conséquence à la suppression des protozoaires, une tendance identique est constatée avec les saponines extraites de *Yucca schidigera*, ces dernières n'ont aucun effet sur les *Fibrobacter succinogenes* bactéries cellulolytiques ruminales.

Les saponines agissent également sur les champignons *Neocallimastix frontalis* et *Piromyces rhizinfla*ta sont très sensibles aux saponines extraites de *Yucca schidigera* (Wang *et al,* 2000). Les champignons du rumen semblent jouer un rôle important dans la digestion des fibres végétales récalcitrantes, car ils provoquent une rupture physique et enzymatique des structures cellulaires de la paroi végétale.

4 Méthodes de détoxification

En raison de la présence de facteurs antinutritionnels tel que les saponines dans les plantes et les tourteaux (issus de l'extraction des huiles) destinés à l'alimentation animale, l'homme a développé différents traitements technologiques qui permettent d'alléger leur effet. Divers traitements physiques, chimiques et biologiques de détoxification sont rapportés dans la littérature.

Le traitement thermique est la méthode la plus couramment utilisée pour réduire la teneur en facteurs antinutritionnels présents dans les plantes et les tourteaux. Le mécanisme par lequel la chaleur inactive les facteurs antinutritionnels est appelé dénaturation. Shi *et al.* (2009) ont montré que les saponines sont facilement éliminées par la cuisson ordinaire. Les mêmes auteurs ont trempé les haricots blanc dans l'eau distillé pendant 6 heures puis les ont traitées par autoclave à une température de 121 ºC pendant 0, 15, 25 et 35 min. Les auteurs indiquent qu'à 15 min les graines deviennent exemptes de saponines. De même, Ndouyang *et al.* (2015) ont observé que le trempage suivi par le bouillard et vice versa permettrait de diminuer les teneurs en saponines d'environ 82%. Par contre, Abou-Arab et Abu-Salem (2010) ont montré que la concentration en saponines dans des graines de *Jatropha* grillées pendant 30 min à 160°C n'a pas été modifiée.

L'extraction par solvants organiques (éthanol 90%) est très efficace et peut enlever ou inactiver les saponines (Herrera *et al,* 2006 ; Abou-Arab *et al,* 2010) dans les sous-produits

forestiers et agro-industriels. L'avantage qu'offre l'utilisation des solvants organiques pour l'extraction des saponines est la récupération et la réutilisation de ces molécules dans les applications industrielles. L'utilisation de substances alcalines peut également réduire le taux de saponines ; l'hydroxyde de sodium étant le plus efficace, suivi du bicarbonate de sodium. Par ailleurs, la combinaison des traitements chimiques aux traitements thermiques a aussi donné de bons résultats. Les saponines ont pu, dans ce cas, être réduites de 84,2% grâce à des extractions avec de l'éthanol 90%, suivis d'un mélange au hydroxyde de sodium à 4% puis d'un autoclavage à 121°C pendant 25 min (Abou-Arab *et al,* 2010). Alors que l'extraction avec de l'éthanol 90%, suivis d'un mélange au bicarbonate de sodium à 0,07% puis d'un autoclavage à 121°C pendant 25 min permettait une réduction que de 50% de taux de saponines (Herrera *et al,* 2006 ; Abou-Arab *et al,* 2010).

De nombreuses études ont démontré que le trempage à l'eau et à température ambiante réduire significativement le taux des saponines. Ainsi que Ndouyang *et al.* (2009a) ont rapporté que la solubilisation des saponines a été rapide lors d'un trempage continu dans un milieu acide et à température ambiante. Dans d'autre expérience le trempage seul ou le bouillard seul permettait de baisser la teneur en saponines de plus de 40%.

Une autre approche de détoxification consiste en la biodégradation des saponines par les microorganismes. Une fermentation de 7 jours du tourteau de *J. curcas* avec *Aspergillus niger* champignon non pathogène, diminue le taux des saponines par 94,7%. Ce traitement augmente la teneur en protéines brutes (50-65 % contre 40 %). En effet, la réduction des facteurs antinutritionnels par les champignons s'accompagne d'une baisse de la teneur en glucides, en matière grasse et en fibres, liée à l'utilisation de ces nutriments pour le métabolisme fongique. D'autre part une augmentation du taux de protéines brutes liée à la production d'enzymes extracellulaires pour dégrader les composés antinutritionnels.

Des études antérieurs ont rapporté que l'inclusion des tourteaux traités par un mélange d'*Aspergillus niger* et *Penicillium chrysogeum* et *Trichoderma harzanium* dans l'alimentation des chèvres naines a permis une bonne croissance des animaux et une bonne digestibilité de la ration, sans influence sur la santé et sur la viabilité des animaux. Cette nouvelle technologie de détoxification des résidus agro-industriels simple à mettre en œuvre, prometteuse pour l'alimentation des animaux et pour la production de produits à valeur ajoutée tels que les métabolites secondaires ou des enzymes, mais exige des études supplémentaires afin d'exploiter pleinement les possibilités de son application dans le monde de l'industrie.

III. Elevage caprins au Maroc

1 Généralité

Au Maroc, l'élevage des ruminants est considéré comme un secteur important pour l'économie nationale et principalement dans l'activité économique rurale. Ce secteur représente entre 25 et 30% du produit agricole intérieur brut. Socialement, l'agriculture emploie près de 74% de la population rurale active, environ un million d'agriculteurs et un chiffre d'affaires de 35 milliards de dirhams par an (MAPM/DE, 2014). Il y a environ 20.286.717 ovins, 5.636.855 chèvres et 3.364.641 bovins dans le pays, produisant environ 300.000 tonnes de viande et plus de 1,35 million tonnes de lait (MAPM/DE, 2017).

2 Importance de l'élevage caprin au Maroc

2.1 Effectif

L'élevage caprin revêt une importance socio-économique capitale au Maroc. Aujourd'hui, avec l'effectif de 5,6 millions de têtes caprines le Maroc se place treizième au niveau mondial et occupe la première place au niveau maghrébin (MAPM/DE, 2017).

2.2 Répartition géographique

L'élevage caprin au Maroc est pratiqué dans les zones les plus pauvres et les plus enclavées et concerne une large frange de la population rurale des zones déshéritées. Le Haut-Atlas vient en tête avec 40% des effectifs, suivi par le Nord du pays avec 25%, le Moyen-Atlas avec 20% et l'Anti-Atlas avec 5% (Figure 10).

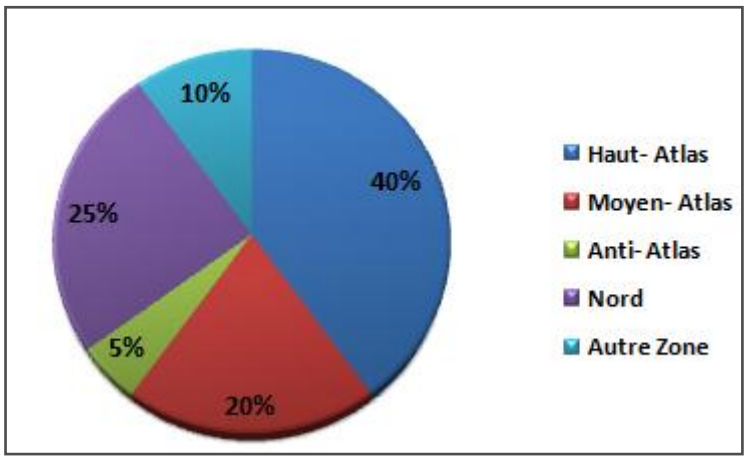


Figure 10: ***Répartition géographique des caprins au Maroc***
(FAO, 2014)

2.3 Structure génétique

Au Maroc, le cheptel caprin est caractérisé par une biodiversité relativement importante résultant du brassage et croisements incontrôlés entre les différents types de caprins donnant des populations hétérogènes qui sont relativement bien adaptées à leur écosystème. On y distingue 4 grandes populations :

- ✓ Population caprine locale du nord du Maroc, de couleur noire avec poils courts et de taille relativement petite ;
- ✓ Population caprine de montagne, c'est une race à robe complètement noire, de petites tailles, très habiles et marcheuses. Elle est rencontrée dans le Moyen et Haut-Atlas et dans l'arganeraie du sud ouest marocain (350.000 têtes) (Berkat et Tazi, 2006), elle est à vocation viande ;
- ✓ Population des oasis, appelée aussi la chèvre du Drâa, elle possède une robe hétérogène (marron, noire tachetée…), très prolifiques, mais avec une production laitière plus ou moins importante ;
- ✓ Population des races importées, ce sont des races exotiques Alpine, Murciana Granadina et Saneen et leurs croisements, elles sont à vocation importante en production laitière sont souvent utilisées pour la production de fromage.

2.4 Système d'élevage caprin au Maroc

On distingue deux grands systèmes de production au Maroc : le système extensif et le système intensif.

- ✓ Le système caprin extensif est largement dominant à l'échelle nationale, c'est un système où l'alimentation des animaux dépend des terres de parcours, de la jachère, des résidus des cultures et des chaumes. En revanche, le recours aux concentrés et aux cultures fourragères demeure très limité. Les races élevées dans ce système de production sont rustiques avec une production orientée vers la viande ;
- ✓ Le système caprin intensif est basé sur l'utilisation des produits de l'exploitation agricole principalement la paille, chaume et orge notamment, la luzerne verte, le foin de luzerne et les sous-produits de cultures. Ce système s'intéresse davantage à la production du lait.

2.5 Contribution de l'arganier dans les rations alimentaires des caprins

Dans le sud-ouest marocain, les ressources sylvo-pastorales (buissons et arganiers) contribuent à 51% dans l'alimentation des caprins et des ovins, leur utilisation s'étale sur toute l'année. En effet, l'arganeraie contribue au régime alimentaire des caprins d'un minimum de 47 % en juin à un maximum de 84% en décembre (El Aich *et al,* 2007). Les feuilles d'arganier prélevées de l'arbre sont les plus consommées par les caprins ainsi, elles contribuent par une part très élevée qui varie de 47 à 85% (Zouhair *et al,* 2019) et atteint son maximum en mars. De même la strate herbacée atteint son maximum le mois de mars mais elle diminue avec l'avancement des mois (El Assouli, 2001). Les chaumes, dont la contribution est de l'ordre de 9,5% (EL Hadi, 2012), sont utilisés de juin à septembre. De même El Assouli (2001) a trouvé que les chaumes croissent à partir du mois d'avril. Les apports directs de l'exploitation et les achats d'aliments (paille, pulpe d'argan et orge) couvrent respectivement 7,2 et 32,2% des besoins des animaux (Zouhair *et al,* 2019).

2.6 Production laitière caprine

La production de lait de chèvres est estimée à environ 34 tonnes annuellement (Zaaraoui *et al,* 2016), soit 4% de la production nationale. Cette production est destinée essentiellement vers l'autoconsommation et la transformation par la fabrication des fromages frais traditionnels (Jben) (Zaaraoui *et al,* 2016).

Depuis plusieurs décennies, afin d'augmenter la production laitière caprine, l'état a encouragé, d'une part l'introduction de chèvres laitières performantes (race Alpine), et d'autre part le groupement des éleveurs caprins en coopératives fromagères de façon à promouvoir la fabrication des fromages, en particulier le jben, à l'échelle semi industrielle.

2.7 Aperçu sur la race Alpine

La race Alpine, est originaire des Alpes suisses et françaises, à une taille moyenne avec une tête triangulaire et le plus souvent cornue (Figure 11). Elle se caractérise par des oreilles longues et dressées vers l'avant, un cou fin, des yeux saillants et un profil concave, une poitrine profonde, un bassin large et peu incliné et des membres solides ce qui donne des aplombs corrects. La chèvre Alpine est une forte laitière, disposant d'une mamelle volumineuse bien développée avec des trayons parallèles et dirigés vers l'avant. La robe est de couleur allant du rouge clair au rouge foncé, la peau fine à poils ras. Cette race se comporte bien au pâturage, robuste, longévive, fertile et sobre. Le poids de la chèvre varie entre 50 et 70 kg et celui du bouc entre 80 et 100 kg.

Figure 11: ***Photo prise des chèvres de race Alpine***

La race Alpine produit en moyenne 800 kg de lait durant une lactation standard de 280 jours (Tableau 3). Au Nord du Maroc, la production laitière de la race Alpine, est estimée à 480 kg par lactation standard de 210 jours.

Tableau 3: ***Composition physique et chimique du lait de chèvre Alpine***
(Noutfia *et al*, 2012)

	Moyenne	**Maximum**	**Minimum**
pH	6,69	6,89	6,58
Densité (kg/l)	1,02	1,03	1,02
Acidité (°D)	13,5	14,5	9,5
Matière sèche (%)	10,9	12,51	8,9
Cendres (%)	0,7	0,79	0,43
Matière grasse (%)	3,4	4,9	1,65
Protéine (%)	3,03	3,77	2,47
Lactose (%)	4,23	-	-

3 Qualité microbiologie et compositionnelle du lait caprin cru

3.1. Qualité microbiologique du lait

Le lait contient un nombre variable de cellules ; celles-ci correspondent à la fois à des constituants normaux comme les globules blancs, mais également à des éléments d'origine exogène qui sont la plupart des microorganismes contaminants pénètrent dans la mamelle par le canal du trayon (Roux, 2006). Ces microorganismes sont en majorité constitués de bactéries, levures, moisissures et virus qui peuvent être présents dans le lait. De très nombreuses espèces bactériennes sont susceptibles de se développer dans le lait qui constitue, pour elles, un excellent substrat nutritif. Au cours de leur multiplication dans le lait, elles libèrent des gaz (oxygène, hydrogène, gaz carbonique, etc.), des substances aromatiques, de

l'acide lactique (responsable de l'acidification en technologie fromagère), diverses substances protéiques, voire des toxines qui peuvent être responsables de pathologie chez l'homme. L'importance et la nature des bactéries contaminant le lait dépendent de l'état sanitaire de l'animal, de la nature des fourrages (Pougheon, 2001), mais aussi des conditions hygiéniques observées lors de la traite, de la collecte, de la manutention et de la température de conservation du lait (Robinson, 2002). Un lait est considéré comme peu contaminé s'il renferme quelques centaines à quelques milliers de germes par millilitre, un lait fortement pollué peut en contenir plusieurs centaines de milliers à plusieurs millions par millilitre (Bonfoh *et al*, 2003). Dans cette microflore contaminante, les bactéries conditionnent le plus directement la qualité hygiénique ainsi que l'aptitude à la conservation et à la transformation de la matière première (Roux, 2006).

Au Maroc, la production d'un lait de qualité se heurte à des problèmes d'hygiène, en particulier les conditions d'hébergement (conception non hygiénique des étables, manque de propreté, litières insuffisantes ou en mauvais état, …), aussi la difficulté d'assainir le troupeau laitier des infections mammaires (Araba *et al*, 2001). En outre, la traite au Maroc est essentiellement manuelle et conduite dans des conditions qui augmentent les risques de contamination du lait. Les mamelles sales incorrectement lavées, le matériel utilisé pour la collecte et le stockage souvent non approprié et mal nettoyé entraînant des contaminations additionnelles du lait. L'eau utilisée que ça soit pour l'abreuvement ou pour le nettoyage constitue une source non négligeable de contamination du lait, et l'air peut jouer un rôle potentiel comme vecteur des flores des litières (Tormo *et al*, 2006). Plus la durée totale de traite est longue, plus le lait est laissé en contact avec l'air et plus la contamination par les germes de l'environnement est importante (Faye et Loiseau, 2002). Zweifel *et al.* (2005) ont constaté que plus le nombre d'animaux à la traite augmente, plus le lait se charge d'une population microbienne indésirable.

3.1.1. Importance et diversité de la microflore du lait cru

Les microorganismes du lait cru sont souvent abordés sous l'angle technologique. En effet, ils jouent un rôle non négligeable en transformation fromagère du lait cru et sont communément classés en microflore d'intérêt technologique, microflore d'altération, et microflore potentiellement pathogène (Belarbi, 2015) (Tableau 4).

Tableau 4: ***Inventaire de la diversité des genres de bactéries et levures dans des laits crus de chèvre et de vache***
(Tormo, 2010)

Groupes microbiens	**Lait de chèvre**	**Lait de vache**
Bactéries lactiques	*Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Streptococcus*, *Pediococcus*	*Aerococcus*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Streptococcus*
Staphylocoques et bactéries Corynéformes	*Arthrobacter*, *Brachybacterium*, *Brevibacterium*, *Corynebacterium*, *Dietza*, *Jeotgalicoccus*, *Kocuria*, *Macroccus*, *Microbacterium*, *Micrococus*, *OrnithinococcusRothia*, *Salinicoccus*, *Staphylococcus*	*Arthrobacter* *Clavibacter*, *Corynébacterium*, *Kocuria*, *Macrocccus*, *Microbacterium*, *Leucobacter*, *Leifsonia*, *Rothia*, *Renibacterium*, *Rodococcus*, *Staphylococcus*
Levures	*Candida*, *Cryptococcus*, *Debaromyces*, *Kluyveromyces*, *Trichosporon*	*Candida*, *Cryptococcus*, *Geotrichum*, *Issatchenkia*, *Kazachstania*, *Kluyveromyces*, *Pichia*, *Rhodotorula*, *Trichoderma*, *Trichosporon*
Bactéries sporulantes (dont butyriques)	*Bacillus* *Clostridium*	*Bacillus* *Brevibacillus*, *Clostridium*
Entérobacteries (dont coliformes)	*Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Pantoea*	*Citrobacter*, *Enterobacter*, *Hafnia*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Yersinia*, *Pantoea*
Autres bactéries à Gram négatif (dont psychrotrophes)	*Acinetobacter* *Chryseobacterium*, *Delfia*, *Exigobacterium*, *Hahella*, *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas*	*Acinetobacter*, *Brevundimonas*, *Chryseobacterium*, *Moraxella*, *Comamonas*, *Pseudomonas*, *Psychrobacter*, *Sphingobacterium*, *Stenotrophomonas* *Xanthomonas*

Pour la microflore d'intérêt technologique, on note les genres *Lactococcus*, *Enterococccus* et *Lactobacillus* qui sont plus spécifiquement abordés. En effet, ce sont les plus fréquemment rencontrés dans les laits crus et les levains mésophiles indigènes obtenus après fermentation des laits crus de chèvre (Dalmasso, 2008).

Ces ferments lactiques ont donc pour propriété de fermenter le lait afin d'obtenir du fromage frais ou un autre produit laitier comme le yaourt. Ils ont la capacité d'utiliser le lactose et produisent de l'acide lactique. Ces bactéries contenues dans les ferments lactiques

doivent demeurer vivantes au moment de la consommation du yaourt. Elles facilitent le transit, notamment celui des personnes digérant difficilement le lactose. On attribuerait ainsi aux yaourts des vertus digestives qui seraient bénéfiques dans les cas de troubles intestinaux et dans la prévention de certaines diarrhées (Tormo, 2010).

Concernant la microflore d'altération, est constituée essentiellement des entérobactéries, des coliformes, des bactéries *psychrotrophes*, la flore dite thermorésistante, des levures et des moisissures. Cette flore est à l'origine des défauts sensoriels de goût, d'arômes, de texture et de la réduction de la vie des produits laitiers (Vignola, 2002).

Cependant, l'origine de la microflore pathogène est variée : infection mammaire, matériel de traite, ensilage, trayeur et d'autres facteurs liés à la saison. Elle présente un danger pour le consommateur (Vignola, 2002). C'est le cas de : *Bacillus cereus* et des espèces des genres *Brucella, Salmonella* et *Listeria* et en particulier *Listeria* monocytogenes qu'est un agent de toxi-infection (Belarbi, 2015).

3.1.2. Effet de la saison sur les niveaux des microflores du lait

Les niveaux de flores présentent souvent de fortes variabilités au sein d'une exploitation, expliquées en partie par l'effet de la saison. Ce concept superpose l'effet du cycle temporel, avec des variations extrinsèques des températures et des durées du jour, ainsi que l'effet du stade de lactation. Cependant, les pratiques peuvent être différentes selon les saisons, rendant difficiles la distinction des impacts respectifs. Ainsi, Souza *et al.* (2009) ont observé des augmentations des niveaux de staphylocoques, microcoques et streptocoques dans le lait de chèvre durant les mois de mai, juin et juillet. De même, Delgado-Pertinez *et al.* (2003) ont étudié les niveaux de flore totale de lait de chèvre au cours de la lactation. Les niveaux les plus élevés de flore totale ont été enregistrés durant les mois de janvier et avril, alors que les plus bas niveaux étaient enregistrés en juillet contrairement à la majorité des études menées pour le lait de vache.

3.2. Qualité compositionnelle du lait de chèvres

3.2.1. Caractéristiques organoleptiques

Le lait caprin exempte de β-carotène contrairement au lait de vache. De ce fait, il présente une couleur blanche se répercutant sur les produits laitiers caprins comme les fromages, les yaourts et le beurre. Il possède une odeur assez neutre lorsqu'il est fraichement trait qui a parfois tendance à devenir caprique à la fin de la lactation. Après stockage au frais (vers 4 °C)

le lait caprin acquiert une saveur caractéristique (Bosset *et al*, 2000). Cette saveur en grande partie due à certains acides gras libres et est accentuée par la lipolyse (Morgan *et al*, 2001).

Du point de vue de ses qualités nutritives et digestives, le lait de chèvre possède une bonne valeur nutritionnelle. Ces qualités diététiques sont la conséquence d'un certain nombre de caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques (Montel *et al*, 2003).

3.2.2. Paramètres physico-chimiques

Il est à noter que la composition du lait de chèvre varie dans une certaine mesure en fonction de la race, du stade de lactation, des conditions climatiques, de la quantité et la qualité de l'alimentation sans oublier les méthodes d'analyse (Park *et al*, 2007). En plus de ces données, certains auteurs ont remarqués que pour une même race de chèvre, y avait des fluctuations de composition selon les pays où sont élevées (Amigo et Fontecha, 2011). Ainsi, on constate que la composition du lait est corrélée à l'alimentation de la chèvre que ce soit de point de vue quantitatif ou qualitatif.

- ✓ **pH et acidité**

L'acidité du lait résulte de l'acidité naturelle, due à sa teneur en certains éléments caséine, sels minéraux et ions et de l'acidité développée due à la formation d'acide lactique lors de la fermentation lactique. Selon Noutfia *et al.* (2014) l'acidité d'un lait frais de chèvre se situe entre 14 et 18°D. L'acidité Dornic mesure le développement de l'acidité lactique du lait qui est sous l'action permanente des micro-organismes. Le pH du lait de chèvre, se caractérise par des valeurs oscille entre 6,45 et 6,90 avec une moyenne de 6,7 différant peu du pH moyen du lait bovin qui est de 6,6 (Amigo et Fontecha, 2011).

En effet l'acidité du lait est influencée par certains facteurs tels que les conditions hygiéniques et climatiques (température), la race de la chèvre ainsi que le stade de lactation.

- ✓ **Point de congélation**

Le point de congélation du lait est le paramètre le plus constant (Costa *et al*, 2010), il est légèrement inférieur à celui de l'eau pure en raison de la présence des solides solubilisés qui provoque son abaissement. Il est mesuré pour détecter un éventuel mouillage du lait (le point de congélation s'élève). Sa valeur moyenne pour le lait caprin se situe entre -0,540 et -0,573°C (Amigo et Fontecha, 2011).

- ✓ **Densité**

La densité d'un liquide est une grandeur sans dimension qui désigne le rapport entre la masse d'un volume donné du liquide considéré et la masse du même volume d'eau à la même température. La densité moyenne du lait de chèvre, à la température de 20°C, se situe à 1,030

(Costa *et al,* 2010). Cette densité dépend étroitement au taux de matière sèche, elle est inversement proportionnelle au taux de matières grasses (Jouhannet, 1992). Dans ce sens, la densité varie au cours de la lactation. C'est ainsi l'écrémage augmente la densité du lait par contre le mouillage la diminue.

- ✓ **Eau**

L'eau est le composé majoritaire du lait où tous ses constituants sont dispersés. Elle forme une solution vraie avec les substances polaires telles que les glucides et les minéraux, une solution colloïdale avec les micelles de caséines et une émulsion avec les matières grasses puisqu'elles possèdent un caractère non polaire (ou hydrophobe) qui ne lui permis pas se dissoudre. Le lait de chèvre est constitué de 87% d'eau (Amiot *et al,* 2002).

- ✓ **Lactose**

Le lactose, disaccharide composé de glucose et de galactose, est quasiment le glucide majoritaire présent dans le lait (Guo, 2003). C'est le constituant le plus stable du lait au cours de la lactation et ne subit que de faibles variations, comparativement aux autres constituants majeurs. Le lait de chèvre est moins riche en lactose (40 à 45 g/L) par rapport au lait de vache (48 à 50g/L).

Le lactose constitue une source d'énergie en tant que substrat de la flore lactique endogène et un apport de galactose pour le développement du système nerveux central ainsi il joue un rôle dans la régulation de la pression osmotique entre les cellules sécrétrices mammaires et le milieu sanguin à partir duquel la mamelle puise les éléments minéraux, l'eau, les acides gras et les vitamines (Gnanda *et al,* 2006). Les capacités lactasiques diminuent avec l'âge et certaines personnes peuvent présenter des difficultés à digérer le lactose par défaut d'activité enzymatique, il s'agit de l'intolérance au lactose.

- ✓ **Matière minérale**

La matière minérale du lait est fondamentale d'un point de vue nutritionnel et technologique ; du fait de sa teneur de tous les minéraux indispensables dans la nutrition humaine, son intervention dans la stabilité des micelles de caséines, dans le processus de coagulation du lait (Mahaut *et al,* 2003) et dans la diversité de texture des fromages élaborés (Croguennec *et al,* 2008).

Comparativement au lait de vache (Tableau 5), le lait de chèvre est légèrement plus riche en calcium (Ca) et phosphate (P) qui ont une digestibilité exceptionnellement élevée grâce à leur association avec la caséine. Le lait de chèvre est nettement plus riche en Magnésium (Mg), Potassium (K) et en chlore (Cl) (Park *et al,* 2007). En revanche, le fer (Fe) se trouve en

quantités insuffisantes dans le lait (Khan *et al*, 2006) ; cependant, sa faible concentration permet de limiter la croissance bactérienne.

Tableau 5: ***Teneurs des minéraux dans le lait caprin et bovin (en mg/100g)***
(Amigo et Fontecha, 2011)

Minéraux	Caprin	Bovin
Calcium	134	122
Phosphore	121	119
Magnésium	16	12
Potassium	181	152
Sodium	41	58
Chlore	150	100
Fer	0,07	0,08
Zinc	0,56	0,53
Cuivre	0,05	0,06
Soufre	28	32

Les minéraux sont présents, soit en solution dans la fraction soluble, soit sous forme liée dans la fraction insoluble (ou colloïdale) (Amigo et Fontecha, 2011). Certains minéraux se trouvent exclusivement à l'état dissous sous forme d'ions (sodium, potassium et chlore) et sont particulièrement biodisponibles. Les ions calcium, phosphore, magnésium et soufre existent dans les deux fractions (Amigo et Fontecha, 2011). Il existe un équilibre entre les formes solubles et colloïdales, d'une part, et entre les formes ionisées et non dissociées d'autre part. Cet état est précaire parce qu'il est sensible à divers facteurs, notamment au pH, à la température, et à la concentration ou à l'addition de calcium. Toute altération de ces équilibres modifie la stabilité du lait, notamment les propriétés de la caséine native.

En raison de la présence concomitante de lactose et de phosphopeptides (produits d'hydrolyse de la caséine), les minéraux sont, de tous les éléments du lait, ceux qui sont les mieux adsorbés et retenus.

- ✓ **Vitamines**

Les vitamines sont des substances biologiquement indispensables à la vie puisqu'elles participent comme cofacteurs dans les réactions enzymatiques et dans les échanges à l'échelle des membranes cellulaires. L'organisme humain n'est pas capable de les synthétiser.

Elles sont réparties en deux classes : les vitamines hydrosolubles (vitamine du groupe B et vitamine C) et les vitamines liposolubles (A, D, E et K) (Jeantet *et al*, 2008).

Selon les données rapportées par la bibliographie le lait de chèvre possède un contenu vitaminique similaire au lait de vache exception faite de la teneur en carotène (Tableau 6). À noter que les deux types de lait sont assez carencés en vitamines C et D (Guo, 2003).

Tableau 6: ***Composition du lait cru caprin en différentes vitamines***
(Park *et al*, 2007)

Teneurs en vitamines	
Vitamines hydrosolubles	
Thiamine (B1) (mg)	0,068
Riboflavine (B2) (mg)	0,21
Niacine (B3) (mg)	0,27
Acide pantothénique (B5) (mg)	0,31
Pyridoxine (B6) (mg)	0,046
Biotine (B8) (µg)	1,5
Acide folique (B9) (µg)	1
Cobalamine (B12) (µg)	0,07
Acide ascorbique (C) (mg)	1,5
Vitamines liposolubles	
Rétinol (A) (UI)	185
Cholécalciférol (D) (UI)	2,3
Tocophérol (E) (µg)	120

- ✓ **Protéines**

Les protéines du lait sont des constituants essentiels et vitaux en raison de leur grande valeur nutritionnelle et de leurs propriétés biologiques. Chez l'adulte, la consommation moyenne de produits laitiers assure 30 à 40 % des apports recommandés en protéines.

Les protéines du lait de chèvre comme celles des autres espèces de mammifères, sont composées de deux fractions, l'une majoritaire dénommée caséines qui précipitent à pH 4,2 représentant 80% des protéines totales (3,3 à 3,5%) (Park *et al*, 2007). L'autre, minoritaire représentant 20% des protéines totales et dénommé protéines sériques solubles dans les mêmes conditions de pH (Park *et al*, 2007).

Park *et al.* (2007) rapportent que les caséines sont des phosphoprotéines caractérisés par la présence du phosphore sous forme de groupements phosphoséryles et de polypeptide complexe ; résultat de la polycondensation de différents aminoacides, dont les principaux sont

la leucine, la proline, l'acide glutamique et la sérine. On outre, elles sont associées à des constituants minéraux ; en particulier le calcium, le phosphore, mais aussi le magnésium et le citrate, de manière à former des micelles de phosphocaséinate de calcium. Leur configuration spatiale les rend accessibles aux enzymes hydrolytiques (carboxypeptidases). Selon Scintu et Piredda (2007), les caséines du lait de chèvre se composent de quatre protéines majeures, les caséines α_{s1}, α_{s2}, β, et κ sont essentiellement sous formes de particules sphériques, en suspension dites micelles de caséines et de dimensions légèrement réduite par rapport à celles du lait de vache. Il est aussi important de noter que les caséines du lait constituent une source relativement importante d'acides aminés essentiels non synthétisés par l'organisme, de calcium alimentaire et de phosphore pour le nouveau-né. En plus elle constitue le fondement de la transformation technologique du lait en fromage et en laits fermentés.

Cependant les protéines solubles appelés aussi protéines de lactosérum sont riches en Lysine, Tryptophane et en acides aminés soufrés et sont sensibles au traitement thermique. Elles ont une structure compacte stabilisée par des ponts disulfure. Ces protéines sont essentiellement représentées par β-lactoglobuline (absente du lait humain), l'α-lactalbumine, le sérum albumine, les protéosepeptones, plusieurs classes d'immunoglobulines et lactoferrine (composant majeur du lait humain) (Giambra *et al,* 2014). En moyenne, le lait de chèvre est plus riche en protéines solubles que le lait de vache.

- ✓ **Matière grasse**

La matière grasse est l'un des composants les plus importants du lait de chèvre en termes de coût, de nutrition et des caractéristiques physiques et sensorielles qu'elle confèrent aux produits laitiers de chèvre. Elle est principalement constituée de triacylglycérols (98% du total des lipides) avec une richesse en acides gras à chaîne courte ; les acides caproïque, caprylique et caprique qui représentent 15 à 18% du total des acides gras dans le lait de chèvre, mais seulement 5 à 9% dans le lait de vache (Yurchenko *et al,* 2018). Toutefois la composition en lipides du lait de chèvre présente d'autres lipides simples (diacylglycerols, monoacylglycerols, esters de cholestérol), lipides complexes (phospholipides) et composés liposolubles (stérols, esters de cholestérol, hydrocarbures) (Park *et al,* 2006).

La matière grasse du lait de chèvre est présente sous forme d'une émulsion de globules gras sphériques de petite taille (>3 µm) (Park *et al,* 2007). Par ailleurs la présence de ces globules gras de dimension réduite et l'absence des agglutinines entraineraient un phénomène de crémage moins rapide du lait de chèvre que celui du lait de vache (Guo, 2003). Ainsi les globules gras du lait de chèvre sont facilement digérés par attaque enzymatique humaine ou

microbienne ce qui expliquerait les recommandations faites par les nutritionnistes pour son utilisation dans l'alimentation des enfants et des vieillards (Claps *et al,* 2018).

La teneur du lait de chèvre en matière grasse varie largement en fonction de plusieurs facteurs dont certains sont liés à l'alimentation (qualité et quantité de l'aliment), d'autres sont d'ordre non nutritionnel (génétiques, stade de lactation, parité, saison,…) (Scintu et Piredda, 2007).

3.3. Acide gras du lait

Les acides gras sont des molécules composées des acides carboxyliques à chaîne linéaire, hydrophobe. Ils sont regroupés en grandes familles et sont dénommés et classés selon leur nombre de carbone qui peut varier de 4 à 30. Les acides gras inférieure à 12 carbones sont classés comme acides gras à chaîne courte, de 12 à 15 carbones, ils sont dits à chaîne moyenne et à partir de 16 carbones, on parle d'acides gras à chaîne longue, ainsi selon le degré de saturation ; on distingue les acides gras saturés (pas de double liaison), mono insaturés (une double liaison) et polyinsaturés (plusieurs doubles liaisons).

La matière grasse laitière n'a pas toujours eu une très bonne réputation chez le consommateur, en raison de sa richesse en acides gras saturés et de sa pauvreté en acides gras polyinsaturés (AGPI). Pourtant, les connaissances scientifiques récentes indiquent que les acides gras saturés ne sont pas "mauvais" et ont eux aussi des fonctions très importantes. Depuis l'acide butyrique (C4 :0) pour son rôle protecteur dans le cancer du côlon jusqu'aux acides gras plus longs comme l'acide myristique (C14 :0) pour l'acylation spécifique des protéines, ces acides gras saturés sont actifs et très utiles à la vie cellulaire (Saroha *et al,* 2014). Ainsi, c'est seulement l'excès de consommation des acides gras saturés qui pose problème.

L'étude du profil en acides gras du lait de chèvre a fait l'objet d'un certain nombre de travaux de recherches. Pour ce lait, le taux des acides gras saturés (AGS), varie de 67,98 à 70,11%, par contre celui des acides gras insaturés (AGI) est estimé entre 30,29% et 27,83% (Kala *et al,* 2016).

3.3.1. Acides gras saturés

La proportion importante d'acides gras saturés (AGS) est une caractéristique de la matière grasse laitière. Pour l'homme et les animaux, ils ont deux origines : ils sont soit synthétisés par l'organisme (foie, cerveau, tissu adipeux, etc.), soit apportés par l'alimentation. Dans la cellule animale et humaine, ils assurent tout d'abord une part importante de l'apport énergétique. Dans la matière grasse laitière, on observe que ces acides

gras saturés sont constitués de tout le panel des longueurs de chaînes. Le lait caprin se caractérise par sa richesse en acides gras à courte et moyenne chaîne (de C4 :0 à C15 :0), surtout en C10 :0, mais ses teneurs en C4 :0 et souvent faible. Par ailleurs, Guo (2003) rapporte que les trois acides volatiles principaux ; l'acide caproïque (C6 :0), l'acide caprylique (C8 :0) et l'acide caprique (C10 :0) sont les responsables de la saveur spécifique des produits laitiers à base de lait de chèvre. La teneur du lait de chèvre en acide gras saturé à longue, moyenne et courte chaîne sont respectivement 13,51%, 20,05% et 35,08% (Saroha *et al*, 2014).

3.3.2. Acides gras mono-insaturés (AGMI)

Concernant les acides gras mono-insaturés du lait, on trouve 2 % des acides gras sous forme d'acide palmitoléique (C16 :1) mais surtout une quantité importante (18 à 20 %) d'acide oléique (C18 :1), ce qui constitue un point positif indiscutable pour le lait. En effet, cet acide gras a bénéficié de l'image favorable de l'huile d'olive, constitué à 70 % d'acide oléique, et de celle non moins favorable du régime méditerranéen. Sur le plan cardiovasculaire, sa neutralité est un avantage important et il est admis depuis longtemps que le remplacement dans le régime d'acides gras saturés en excès par de l'acide oléique réduit la cholestérolémie (Williams, 2000). Semma (2002), a confirmé aussi que le remplacement des AGS par du cis- C18 :1 dans l'alimentation réduit la cholestérolémie chez l'homme, alors que les trans-C18 :1 semblent plutôt favoriser les maladies cardiovasculaires.

3.3.3. Acides gras polyinsaturés (AGPI)

Les acides gras polyinsaturés comportent deux familles distinctes indépendantes puisqu'il n'y a pas de passage d'une famille à l'autre, et en compétition puisque les désaturases conduisant aux dérivés supérieurs sont communes. Les chefs de file : acide linoléique (LA, pour les n-6 ou oméga 6) et acide α-linolénique (ALA, pour les n-3 ou oméga 3) sont des acides gras indispensables (AFSSA, 2010). Ces acides gras polyinsaturés essentiels des familles n-6 et n- 3 sont assez peu présents dans la matière grasse laitière. Néanmoins, en améliorant le régime des animaux, on peut augmenter un peu la teneur en acides gras n-3 et faire de la matière grasse laitière, une source plus importante d'ALA. Ainsi, à l'heure où l'excès des apports en acides gras n-6 est fortement dénoncé, la faible teneur de la matière grasse laitière en AGPI peut devenir un atout, si on prend garde de maintenir les n-6 très bas tandis qu'on augmente les n-3 dans la ration des animaux (Alzahal *et al*, 2009). La matière grasse laitière a donc une composition spécifique, à défendre avec précision et rigueur.

Toutefois, il ne faut pas oublier que la teneur en acide gras est sujette à des variations en relation avec plusieurs facteurs tels que l'alimentation, l'environnement et les facteurs génétiques et/ou physiologiques comme la race, la parité et le stade de lactation. De ce fait, les orientations scientifiques actuelles visent à modifier le profil des acides gras du lait par le biais de l'alimentation en réduisant la proportion des acides gras saturés de chaîne moyenne en raison de leur liaison au risque des maladies cardiovasculaires (EFSA, 2004) contribuant au développement de hypercholestérolémie, l'athérosclérose et d'autres problèmes de santé cardio-vasculaire. Inversement, améliorant le régime des animaux, par l'augmentation de la teneur de certains acide gras possédant potentiellement des effets bénéfiques pour la santé humaine est privilégiée. Parmi ces acides gras, des isomères conjugués de l'acide linoléique, dont les produits issus des ruminants sont des sources importantes dans l'alimentation humaine, ont attiré depuis une dizaine d'années l'attention des nutritionnistes par leurs possibles effets anti-cancérigènes, anti-obésité et antidiabétiques (Bessa *et al*, 2000). De nombreuses études utilisant la modification du régime alimentaire ont été menées pour améliorer la composition des acides gras du lait afin de réduire les concentrations d'acides gras saturés et d'augmenter les concentrations d'acides gras polyinsaturés. En outre, la composition en acides gras influence les propriétés technologiques des matières grasses par leur point de fusion ainsi que les propriétés organoleptiques des produits laitiers par les variations des proportions d'acides gras et par oxydation des différents acides gras.

3.4. Potentiel antioxydant du lait

La qualité du lait est étroitement liée à la santé de la glande mammaire. Cette qualité est généralement définie en termes de mastite (Sretenovic *et al*, 2007), lait avec un faible nombre de cellules somatiques et un aspect visiblement normal, Mais, conformément à Weiss (2010), la définition du lait de haute qualité doit être élargie. Ainsi, la qualité du lait peut aussi être basée sur la quantité d'antioxydants protégeant les caractéristiques et la durée de vie du lait en réduisant l'oxydation. Selon leur nature, les antioxydants du lait sont divisés en protéines et antioxydants non protéiques (Hernández-Ledesma et Amigo, 2004). Dans le premier groupe, on trouve certaines enzymes telles que le superoxyde dismutase (SOD), catalase et la glutathion peroxydase, ainsi que la caséine et certains peptides. Le deuxième groupe comprend surtout les vitamines (C et E), les flavonoïdes et les caroténoïdes. Par conséquent, le lait ayant une capacité anti-oxydante plus élevée reflète une plus grande stabilité à l'oxydation et fournit une protection potentiellement plus grande pour le consommateur contre

l'exposition au stress oxydatif qui est reconnu comme une caractéristique importante de nombreuses maladies aiguës et chroniques (Dalle-Donne *et al*, 2006 ; Alyaqoubi *et al*, 2014).

Le lait de chèvre à une capacité anti-oxydante plus élevée attribuée à une plus grande accessibilité en cours de digestion (Fardet, 2017). L'activité anti-oxydante des produits laitiers a été également considérée dans les laits fermentés (Hernández-Ledesma et Amigo, 2004). Différentes études ont montré la capacité des bactéries lactiques à libérer certains composés à activité anti-oxydante lors de la fermentation du lait.

De plus, pour évaluer l'activité anti-oxydante totale du lait, des dosages antioxydants rapides et simples tels que les essais FRAP et DPPH, ont été utilisés dans plusieurs études (Leonnerdal, 2000 ; Zarban *et al*, 2009 ; Kumar *et al*, 2013).

3.4.1. Antioxydants

D'une manière générale, un antioxydant est un composé chimique peut inhiber l'oxydation d'un autre substrat en s'oxydant lui-même plus rapidement que celui-ci. Un tel effet résulte d'une structure de donneurs d'atome d'hydrogène ou d'électrons souvent aromatiques cas de dérivés du phénol. Les antioxydants sont en fait des agents de prévention, ils bloquent l'initiation en complexant les catalyseurs, en réagissant avec l'oxygène, ou des agents de terminaison capables de dévier ou de piéger les radicaux libres, ils agissent en formant des produits finis non radicalaires. D'autres agissent en interrompant la réaction en chaine de peroxydation (Clifford, 2001).

Les antioxydants sont capables de minimiser efficacement les rancissements, retarder la peroxydation lipidique, sans effet sur les propriétés sensorielle et nutritionnelle du produit alimentaire. Ils permettent aussi le maintien de la qualité et assurent l'augmentation de la durée de conservation du produit.

3.4.2. Radical libre

Un radical libre est une molécule caractérisée par une instabilité et/où un pouvoir oxydant fort, il se différencie par la présence d'un électron non apparié ce qui signifie qu'il a la possibilité de réagir avec de nombreux composés dans des processus le plus souvent non spécifiques et que donc, leur durée de vie est très courte. L'ensemble des radicaux libres et de leurs précurseurs est souvent appelé espèces réactives de l'oxygène (ROS) (Favier, 2003). Les radicaux libres sont des espèces chimiques très instables qui jouent un rôle dans l'action de certains traitements anticancéreux, de même qu'à l'origine du vieillissement. L'appellation "dérivés réactifs de l'oxygène" n'est pas restrictive. Elle inclut les radicaux libres de l'oxygène proprement dit, mais aussi certains dérivés oxygénés réactifs non radicalaires dont

la toxicité est importante tel que, le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et le nitroperoxyde ($ONOO^-$) (Haton, 2005).

Les radicaux libres sont produits dans l'organisme au cours du métabolisme normal, Cette production augmente en rapport avec l'élévation de la consommation d'oxygène (Gauche et Hausswirth, 2006). Plusieurs mécanismes et systèmes responsables de la production de radicaux libres ; les fuites d'électrons au niveau de la chaîne respiratoire de la mitochondrie sont capables de générer des radicaux libres (Aurousseau, 2002), les processus inflammatoires produits par les cellules phagocytaires sont aussi des sources de radicaux (Antwerpen, 2006). Ainsi, l'exposition à des agressions de l'environnement, comme la pollution, les rayonnements UV, les agents infectieux (VIH), la fumée de cigarette et l'ingestion d'alcool également les antibiotiques, les anticancéreux ont pour effet d'accroître la production de radicaux libres dans l'organisme (Antwerpen, 2006).

- ✓ **Stresse oxydatif**

Le stress oxydatif apparaît donc quand un déséquilibre se forme dans la balance anti/pro-oxydants. C'est seulement à ce moment que les espèces réactives de l'oxygène vont exercer leur action délétère sur l'organisme. Les radicaux libres sont responsables de dommages sur toutes les molécules biologiques comme les lipides, les protéines, les acides nucléiques, ou les hydrates de carbone (Favier, 2003) : Les mécanismes d'oxydation des composés insaturés biologiques (acides gras, caroténoïdes, polyphénols, etc.) sont souvent des réactions radicalaires avec l'oxygène moléculaire (Huang *et al*, 2005).

- ✓ **Conséquences du stress oxydatif**

Le principal danger des radicaux libres vient des dommages qu'ils peuvent provoquer lorsqu'ils réagissent avec des composants cellulaires importants, tels que l'ADN (Hadj, 2009), les lipides (peroxydation), les protéines (Jacob, 2007), etc. Cette oxydation entraîne des dommages sur tout l'organisme, accélérant le vieillissement, et provoquant des maladies telles les maladies cardiovasculaires et neurodégénératives, cancer, diabète, etc. (Pincemail et Defraigne, 2003) causant aussi la dégradation des cellules et des tissus (Bonnet *et al*, 2010). Au niveau de l'ADN, les radicaux libres peuvent induire des effets oxydatifs et mutagènes ou un arrêt des réplications. Ils agissent en provoquant des altérations de bases, des pontages ADN-protéines ou des ruptures de brins (Shimizu, 2004). Les lipides sont une cible privilégiée des radicaux libres. Ceux-ci provoquent en effet l'oxydation des acides gras polyinsaturés (AGPI) des phospholipides membranaires (principaux constituants des membranes des cellules), mais aussi des organites cellulaires et des noyaux. Ce phénomène

est appelé peroxydation lipidique ou lipopéroxydation aboutissant à la formation de lipoprotéines de faible densité (LDL) oxydées qui sont captées par des macrophages, au dépôt lipidique de la plaque d'athérome des maladies cardiovasculaires, à l'attaque des phospholipides membranaires modifiant ainsi la fluidité de la membrane et donc le fonctionnement de nombreux récepteurs et transporteurs et la transduction des signaux (Favier, 2003). Les radicaux libres peuvent aussi agir sur les macromolécules en provoquant des inactivations enzymatiques, des fragmentations de ces molécules (collagène, protéoglycannes, acide hyaluronique) et la formation de dimères ou d'agrégats protéiniques dans les membranes cytoplasmiques (Shimizu, 2004).

3.4.3. Composés phénoliques

- ✓ **Définition des composés phénoliques**

Les composés phénoliques ou les polyphénols (PP), constituent une famille de molécules organiques largement présentes dans le règne végétal, Ils sont des métabolites d'intérêt caractérisés par la présence d'un cycle aromatique portant des groupements hydroxyles libres ou engagés avec des glucides. On les retrouve dans les plantes, depuis les racines jusqu'aux fruits, et ils font donc partie intégrante de l'alimentation. Ce sont des métabolites produits par les plantes pour interagir avec les autres végétaux et les animaux. Le terme phénolique est utilisé pour définir des substances qui possèdent au moins un groupement hydroxyle (OH) substitué sur un cycle aromatique. Ce nom provient du composé parent le plus simple : le phénol. Les polyphénols naturels peuvent donc être des molécules simples comme les acides phénoliques, mais aussi des composés hautement polymérisés comme les tanins. Plusieurs milliers de composés phénoliques ont été caractérisés jusqu'à ce jour dans le règne végétal, On compte, à l'heure actuelle, pas moins de 8000 composés. Ils ont tous en commun la présence d'un ou plusieurs cycles benzéniques portant une ou plusieurs fonctions hydroxyles (Bravo, 1998). Les principales classes des composés phénoliques sont les acides phénoliques (acide caféique, acide hydroxycinnamique, acide ferulique, acide chlorogenique, etc.), les flavonoïdes, les tanins et les coumarines.

Les substances phénoliques sont des molécules biologiquement actives, ils sont largement utilisés en thérapeutique comme vasoconstricteurs, anti-inflammatoires, inhibiteurs enzymatiques, antioxydants et anti-radicalaires, antimicrobiens. Les composés phénoliques ou les polyphénols font partie intégrante de l'alimentation humaine et animale (Martin et Andriantsitohaina, 2002). Ces corps jouent un rôle fondamental car ce sont des éléments importants de qualité sensorielle (couleur et caractères organoleptiques) et nutritionnelle des

végétaux, tels que les légumes, les fruits, les céréales ou les fruits secs, ainsi que dans les boissons, le café, le cacao ou le thé, que consomme l'homme.

Cette consommation est d'environ un gramme de polyphénols chaque jour, soit dix fois plus que de vitamine C et 100 fois plus que de caroténoïdes ou vitamine E (Scalbert *et al,* 2005). L'activité anti-oxydante des polyphénols est reconnue et pourrait expliquer leur rôle potentiel dans la prévention de plusieurs maladies associées au stress oxydatif.

- ✓ **Rôle et intérêt des composés phénoliques**

Les composés polyphénoliques sont d'ailleurs de plus en plus utilisés en thérapeutique (Crozier *et al,* 2010). De nombreux travaux suggèrent que les polyphénols participent à la prévention des maladies cardio-vasculaires (Manach *et al,* 2005). Leur consommation se traduit par une augmentation transitoire de la capacité anti-oxydante du plasma dans les heures qui suivent le repas. Parvenus au niveau des artères, ils préviennent l'oxydation des LDL, qui est l'un des facteurs clé du processus physiopathologique de l'athérosclérose. En inhibant l'oxydation des LDLs, ils limitent leur incrustation dans les parois des artères qui contribuent à l'épaississement des parois et à réduire le flux de sang qui parvient au niveau des tissus. Les polyphénols agiraient aussi en inhibant l'agrégation plaquettaire impliquée dans le phénomène de thrombose qui peut conduire à l'occlusion des artères (Manach *et al,* 2005). Ils sont regroupés dans la catégorie de veinotoniques et des vasculo-protecteurs (Ghosh *et al,* 2009). Un certain nombre de molécules polyphénoliques sont également en étude clinique comme des antiagrégants plaquettaires ou hypotenseurs sans résultats probants (Martin et Andriantsitohaina, 2002). Les polyphénols sont associés à de nombreux processus physiologiques dans la qualité alimentaire, impliqués lorsque la plante est soumise à des blessures mécaniques. La capacité d'une espèce végétale à résister à l'attaque des insectes et des microorganismes est souvent corrélée avec la teneur en composés phénoliques (Bahorun, 1996). La large variété de polyphénols peut être divisée en une dizaine de classes dont la structure chimique peut être répartie en deux grands groupes dont les plus importants sont les flavonoïdes. Ces derniers, qui représentent la classe la plus abondante et la plus étudiée de cette classification, comptent plus de 4000 composés découverts à ce jour. Les composés de chaque sous-classe des flavonoïdes se distinguent par le nombre, la position et la nature des substituants (groupements hydroxyles, méthoxyles ou autres) sur les deux cycles aromatiques A et B et en position 3 sur l'hétérocycle central, C'est d'abord la structure de ce dernier et son degré d'oxydation qui permettent de distinguer les différentes classes de flavonoïdes (El Gharras, 2009).

3.4.4. Flavonoïdes

Les flavonoïdes désignent une très large gamme de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols. Ces molécules sont considérées comme des pigments quasiment universels des végétaux ; ils sont responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles. Ils existent le plus souvent à l'état naturel sous forme d'hétérosides. Les flavonoïdes sont des dérivés benzo-γ-pyran. Leur structure de base est celle d'un diphénylpropane à 15 atomes de carbone (C6-C3 -C6), constitué de deux noyaux aromatiques (ou anneaux) que désignent les lettres A et B, reliés par un hétérocycle oxygénés, qui désigne la lettre C. La classe des flavonoïdes comporte à elle seule plus de 4000 substances qui ont été isolées et identifiées à partir de milliers des plantes (Forkmann et Martens, 2001), qu'on divise en plusieurs catégories : Les flavones, les flavonols et les dihydroflavonols, les isoflavonoïdes, les biflavonoides, les flavanones, les flavanediols (leucocyanidines), les anthocyanidines, les chalcones et les dihydrochalcones, les aurones. L'expression flavonoïde a été introduite en 1952 par Geissman et Hinreiner pour désigner les pigments ayant un squelette (C6-C3-C6), provenant du mot latin flavus qui signifie jaune (Bouakaz, 2006). Occupant une place prépondérante dans le groupe des phénols, les flavonoïdes sont des métabolites secondaires ubiquistes des plantes. On estime que 2 % environ du carbone organique photo-synthétisé par les plantes, soit quelques centaines de tonnes par an, est converti en flavonoïdes (Lhuillier, 2007). Les plus couramment vendus ou utilisés en tant que compléments alimentaires, sont la vanilline et l'acide vanillique, le resveratrol, l'acide ellagique, les curcumine, stilbène, epigallocatechine gallate et la quercitine (Ferguson, 2001). L'intérêt nutritionnel pour les flavonoïdes date de la découverte de la vitamine C, à la suite des travaux de Szent Gyorgyi en 1938. Le scorbut expérimental cède à l'ingestion de jus d'agrumes mais résiste à la seule administration d'acide ascorbique. Plus pratiquement, les symptômes hémorragiques du scorbut liés à la fragilité des vaisseaux sont guéris par des extraits de Paprika et du jus de citron alors que l'acide ascorbique seul est inefficace. Les analyses chimiques ont montré que la fraction active était de nature flavonoïque. Cette action des flavonoïdes sur la perméabilité vasculaire a été appelée propriété vitaminique P (P étant la première lettre du mot perméabilité). Cette notion de vitamine P n'existe plus à l'heure actuelle puisqu'elle ne correspond pas à la définition classique des vitamines. Ils sont considérés comme des micronutriments importants puisqu'ils peuvent jouer des rôles antioxydants ou posséder des propriétés biologiques diverses (Milane, 2004).

4 Les facteurs influençant la composition du lait

La production laitière et sa composition ainsi que ses caractéristiques technologiques subissent des fluctuations importantes sous l'effet de nombreux facteurs d'ordre génétique (race, espèce), physiologique (âge, nombre de mise bas, stade de lactation, état sanitaire, activité de l'animal), zootechnique (alimentation,) et climatique (saison). Ces facteurs sont liés soit à l'animal soit au milieu où il vit (Idamokoro *et al*, 2017). Certains de ces facteurs peuvent être contrôlés afin d'améliorer la rentabilité laitière d'un animal, tandis qu'on ne peut pas agir sur d'autres.

4.1 Variabilité génétique

Il existe indéniablement des variabilités importantes de la composition du lait non seulement entre les races mais aussi à l'intérieur de la même race. D'après Pougheon (2001), les études de comparaison ne sont pas faciles à mener car les écarts obtenus lors des contrôles laitiers sont dus à la combinaison des différences génétiques et des conditions d'élevage. Généralement, les races les plus laitières donnent un lait plus pauvre en matière grasse et de protéines, or le choix d'une race repose sur un bilan économique global, Ainsi, il existe de grandes différences au niveau mondiale mais pour les deux races françaises les plus utilisées Alpine et Saanen, les richesses des laits sont voisines à niveau de production équivalente avec toutefois des taux de matière grasse et taux protéique légèrement plus faible pour la race Saanen. Par contre la race poitevine a un lait légèrement plus riche en liaison avec sa plus faible production quantitative (Magali, 2007).

4.2 Stade de lactation

Le stade de lactation est aussi prépondérant. En effet, une fluctuation de la production laitière est observée entre le début et la fin de la lactation. La plus grande partie du lait est produite durant les premiers mois de lactation. Selon Haenlein (2002), il existe une relation négative entre le rendement laitier et la composition chimique du lait, en particulier la teneur en matière grasse et en protéine. Elles sont maximales en début de lactation (période colostrale), minimales en mi lactation, et s'accroissent ensuite jusqu'à la fin de la lactation, tandis que le taux de lactose diminue alors que la concentration minérale augmente légèrement au cours de la même période. Entre autre, le stade de lactation affecte tous les paramètres du lait analysés par Pavic *et al.* (2002) et Kuchtik *et al.* (2008).

4.3 Âge et rang de mise bas

L'âge de l'animal affecte beaucoup plus la composition du lait à l'exception du lactose et le point de congélation. Le taux de matière grasse et l'extrait sec dégraissé (ESD) sont les plus influencés. Les teneurs les plus élevées ont été enregistrée à l'âge de 4 ans pour le taux de matière grasse et de plus de 6 ans pour l'ESD. Celles les plus basses sont observées respectivement à l'âge de 3 ans et à l'âge de 2 ans. Entre autre, plus l'animal est âgé (> 6ans), plus son lait est riche en protéines, dense et moins il est acide contrairement aux jeunes animaux (moins de 3 ans).

Pour ce qui est du rang de lactation, aucun effet significatif n'a été trouvé pour l'ensemble des paramètres étudiés. Cette constatation se retrouve soit en accord soit en désaccord, en fonction du paramètre considéré, avec l'ensemble des travaux de recherche menés ultérieurement. Ainsi, Beldjilali (2015) rapportent que le taux de matière grasse décroît lentement mais régulièrement dès la deuxième lactation pour se stabiliser à partir de la cinquième, alors que le taux protéique reste assez stable au cours des lactations successives. Entre autre, ces variations de la production avec le numéro de lactation s'expliquent à la fois par la variation corporelle, par l'augmentation du tissu mammaire durant les premières gestations et ensuite par le vieillissement normal du tissu.

4.4 Etat sanitaire

Les mammites sont les infections les plus fréquentes dans les élevages laitiers. Elles sont à l'origine d'une baisse de la production laitière et une modification des composants du lait avec pour conséquence, une altération de l'aptitude à la coagulation des laits et du rendement fromager.

4.5 Alimentation

La production et la composition du lait de chèvre sont directement influencées par la quantité et la qualité de l'alimentation. Une réduction courte et brutale du niveau de l'alimentation se traduit par une réduction importante de la quantité de lait produite et une baisse variable du taux protéique mais la mobilisation des graisses corporelles entraine une augmentation très importante du taux butyreux associée à une modification de la composition en matière grasse avec augmentation leur composition en acides gras à chaines longues. Cependant, Bocquier et Caja (2001), rapportent que les effets de l'alimentation sont souvent masqués par d'autres facteurs d'élevage comme le stade de lactation.

Dans les conditions pratiques l'ensilage de mais permet de produire un lait plus riche en matières grasses (de 3 à 4g par kg) et en protéines (de 1 à 2g par kg) (Jarige, 1999).

4.6 Saison et climat

La saison a une influence importante qui se rajoute aux autres facteurs (alimentation, stade de lactation, âge, etc.). De façon immuable, elle agit essentiellement par l'intermédiaire de la durée du jour. La plupart des travaux ont montré qu'une durée d'éclairement longue (15 à 16 h par jour) augmente la production laitière et diminue parfois la richesse du lait en matières utiles. Par ailleurs, les pourcentages de gras et de protéines dans le lait sont plus élevés pendant l'hiver que pendant l'été. Le composant du lait qui varie le moins dû aux saisons est le lactose et celui qui varie le plus est la matière grasse, avec la protéine qui représente un résultat mitoyen. Cette variation est due aux changements dans la ration et aux conditions climatiques (Pacheco, 2016).

5 Variabilité du rendement laitier

Plusieurs travaux ont montré la possibilité d'exploiter dans l'alimentation animale des sous-produits de l'agriculture et de l'agro-industrie comme aliments alternatifs, sans pour autant affecter les performances de production (Makkar, 2003 ; Ben Salem et Smith, 2008). Les ressources alimentaires alternatives sont moins utilisées dans les élevages laitiers à cause de leur faible ou moyenne valeur nutritive. Certains sous-produits peuvent contenir des éléments secondaires, tel que les saponines, qui lorsqu' ils sont présents en quantités élevées peuvent affecter négativement la productivité et la qualité des produits animaux qui les consomment (Makkar, 2003). En effet, certaines études ont démontré que l'utilisation des ressources alimentaires avec de faibles teneurs en saponines augmente le rendement laitier, le pourcentage des protéines, dues probablement à la disponibilité élevée des acides aminés, en raison d'une diminution du processus de la biodégradation de la matière protéique au niveau du rumen. Avec des concentrations élevées de saponines dans la ration alimentaire des ruminants, l'activité microbienne et la digestion des acides aminés au niveau de l'intestin diminuent d'une manière importante (Chiofalo *et al,* 2004). Les travaux réalisés par Cabiddu *et al.* (2004) ont montré, au contraire, que l'incorporation des sous-produits de l'agriculture à teneur élevée en saponines dans des rations des brebis laitières n'a pas d'effet significatif ni sur le rendement laitier ni sur la composition chimique du lait. Cependant, Hadjipanayiotou (1999) a rapporté que l'incorporation de ces ressources augmente la concentration des lipides du lait chez les brebis et les chèvres laitières.

6 Valorisation et transformation du lait de chèvre

Le lait est l'aliment du nouveau-né. Sa composition est propre à chaque mammifère et satisfait aux premiers besoins alimentaires. Cependant, des substitutions sont possibles et en particulier des laits d'espèces animales ont été adaptés aux besoins de l'enfant. Très vite, l'homme a compris que le lait produit par les animaux pouvait constituer une partie de son alimentation. Lorsqu'il a voulu le conserver il s'est heurté à sa fragilité. En effet, de par sa composition favorable au développement de nombreux micro-organismes qui peuvent l'altérer et le déstabiliser, il change d'aspect. Il se transforme en gel qui laisse s'échapper un liquide clair de couleur jaunâtre. En ce faisant, les éléments les plus nutritifs se retrouvent sous certaines conditions en une masse acide de plus longue conservation que le lait. Celle-ci peut évoluer vers des produits possédant des goûts différents et variés. La maîtrise de ces transformations va conduire à ce qu'on appelle aujourd'hui fromage et yaourt.

Cette transformation est obtenue après une fermentation lactique qui correspond à la conversion du lactose du lait en acide lactique, sous l'action de micro-organismes spécifiques appelés bactéries lactiques. Elle s'accompagne de modifications biochimiques, physico-chimiques et organoleptiques du produit.

A noter que l'objectif de la fermentation lactique est tout d'abord d'augmenter la stabilité du produit, par inhibition des altérations microbiennes et enzymatiques éventuelles et, par conséquent, d'allonger sa durée de conservation. Elle permet également d'obtenir des produits sains, c'est-à-dire exempts de micro-organismes pathogènes. Enfin, elle confère aux produits obtenus des propriétés nutritionnelles et organoleptiques particulières qui jouent un rôle important en matière de qualité (texture, arômes, saveur).

6.1 Technologie fromagère

Le fromage, est défini selon la norme FAO/OMS n° A-6 (1978, modifiée en 1990) comme étant : un produit laitier frais ou affiné, solide ou semi-solide, dans lequel le rapport protéines de lactosérum/caséine n'excède pas celui du lait. Il est obtenu par coagulation complète ou partielle du lait frais, lait écrémé, lait partiellement écrémé, crème de lactosérum ou babeurre, seul ou en combinaisons, grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés et par égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation. On peut aussi faire appel à des techniques de fabrication entrainant la coagulation du lait de manière à obtenir un produit fini ayant des caractéristiques physicochimiques et sensorielles similaires à celles du produit défini (St-Gelais et Tirard, 2002).

La fabrication fromagère peut être considérée comme un phénomène d'agglomération, correspondant à une synérèse, associée à un phénomène d'écoulement. Il s'agit de l'agglomération des éléments protéiques du lait, de la caséine principalement, plus ou moins modifiées, qui emprisonnent les autres constituants et, ensuite, de l'agglomération de morceaux de caillé moulés. Ce phénomène d'agglomération est associé à celui d'un écoulement de la phase liquide, composée de l'eau du lait et des éléments solubles emprisonnée dans des pores, puis libérée. Habituellement la fabrication du fromage comprend trois étapes : la formation d'un gel de caséines ; c'est la coagulation du lait, la déshydratation partielle du gel, c'est l'égouttage qui aboutit à un caillé et le salage. Ces étapes concernent les fromages frais. Le reste des fromages subissent en plus une étape d'affinage, ce sont les fromages affinés (Camembert, Roquefort, Gouda, Tulum,…).

La transformation fromagère constitue la forme principale de valorisation du lait de chèvre et d'ailleurs le fromage de chèvre est le plus ancien de tous les fromages. A la coagulation, le lait de chèvre donne un caillé moins ferme avec certaines spécificités d'aspect et de goût. La pâte de ces fromages est en général plus blanche avec absence de goûts amers. Certains auteurs ont mentionné une corrélation très significative de la composition physico-chimique du lait sur les paramètres rhéologiques des fromages (temps de gélification, vitesse de raffermissement et fermeté des gels).

Au Maroc, pour des raisons d'ordre socio-économique, les responsables nationaux ont pris conscience de développer la production laitière caprine, et de lui assurer un débouché par la transformation fromagère qui constitue la meilleure valorisation du lait de chèvre.

En matière de valorisation du lait de chèvre, la région Tanger-Tétouan dispose d'une unité fromagère semi-industrielle de capacité de 360 t/an et 4 fromageries fermières de capacité totale de 35 Tonnes/an. Grâce au Plan Maroc Vert, le secteur connaitra une évolution à l'horizon de l'année 2020. Parmi les principaux objectifs de développement de la filière caprine laitière sont :

- ✓ L'augmentation du nombre de chèvres femelles reproductrices en cadrées de 3.000 à 15.000 ;
- ✓ L'augmentation du volume total du lait produit par les élevages encadrés de 360 t actuellement à 5.273 t;
- ✓ Le développement de l'infrastructure de valorisation du lait de chèvre dont la capacité de transformation passera de 360 tonnes actuellement à 3.365 t.

6.2 Application des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques sont employées empiriquement depuis des siècles dans la fabrication de nombreux aliments fermentés comme les produits laitiers (fromages et yaourts). Les dites bactéries présentent des activités métaboliques assez diversifiées et une capacité d'adaptation à différents environnements. Cette diversité est responsable de leur large gamme d'applications à l'échelle industrielle. Dans l'industrie alimentaire, ces microorganismes permettent la conversion d'une grande variété de matières premières, conduisant ainsi à de nombreux produits et d'assurer la qualité sensorielle des produits finaux et de maîtriser, au mieux, le processus de fermentation (Casaburi *et al,* 2007). Parmi ces applications, l'industrie laitière est, sans doute, le plus grand consommateur de ferments lactiques commerciaux, pour la production de laits fermentés, fromages, crèmes et beurres (Hugenholtz *et al,* 2002). La fermentation du lait par des bactéries lactiques est à l'origine de plus de mille produits différents, chacun avec ses caractéristiques spécifiques d'arôme, de texture et de qualité. Les bactéries lactiques sont également utilisées dans l'industrie chimique (production d'acide lactique), dans le domaine médical (notamment pour le traitement de dysfonctionnements intestinaux) et dans l'industrie des additifs alimentaires (production d'exo-polysaccharides et de mannitol) (Ruas-Madiedo *et al,* 2002 ; Wisselink *et al,* 2002). Elles sont aussi utilisées pour la production de bactériocines (Rodriguez *et al,* 2003) et pourraient être impliquées dans la production de protéines thérapeutiques ou comme vecteurs de vaccins (Langella *et al,* 2001).

6.3 Pouvoir antioxydant des dérivés laitiers

Selon Fardet (2017), aucune étude n'a évalué le potentiel antioxydant des produits laitiers comparé à celui d'autres aliments. Pourtant la littérature scientifique montre clairement que les produits laitiers sont une source significative d'antioxydants, notamment du fait de leur fraction protéique. Ainsi les résultats de deux études utilisant le même test antioxydant montrent que les produits laitiers ont une capacité anti-oxydante du même ordre de grandeur que celle des céréales, des légumineuses et des jus de fruits (Wu *et al,* 2004 ; Cloetens *et al,* 2013).

Tous les produits laitiers contiennent des composés antioxydants dans des proportions variées dépendant des matrices et des procédés technologiques appliqués. Ces composés incluent la fraction protéique (plus spécifiquement la caséine), des enzymes anti-oxydantes (le superoxyde dismutase, la catalase et la glutathion peroxydase), la lactoferrine (Ranjan et Kanti Ghatak, 2014), les vitamines C, E, A et D3 ; l'acide linoléïque conjougué ; la coenzyme

Q ; l'équol* (Tsen *et al*, 2014), l'acide urique (Ostdal *et al*, 2000) et certains caroténoïdes (Lindmark et Åkesson, 2000).

Par ailleurs, il faut souligner que le potentiel antioxydant des produits laitiers dépend aussi de l'origine de l'animal (Oner *et al*, 2011), de son type génétique (Perna *et al*, 2015), de son alimentation (composition, quantité et complémentation) (Aguiar *et al*, 2014) et des conditions de pâturage (variations saisonnières, etc.) (Kusche *et al*, 2015).

Les produits fermentés à base de lait de chèvre ont une capacité anti-oxydante plus élevée que ceux fabriqués à partir de lait de vache (Balakrishnan et Agrawal, 2015). Cependant, les données sont moins nombreuses avec les fromages qu'avec le lait, les yaourts et autres laits fermentés, les résultats doivent donc être considérés avec prudence. Dans une étude réalisée sur 224 fromages, la capacité anti-oxydante totale est significativement corrélée avec la saisonnalité (pâturage d'été versus hiver) de la fabrication et le temps de maturation. Des corrélations significatives avec le contenu en rétinol, le pourcentage de matières grasses et le pourcentage de protéines sont également rapportées (Revilla *et al*, 2016). Globalement les fromages présentent une très grande diversité de composition et de structure, pouvant moduler leur potentiel antioxydant. Dans l'ensemble, le potentiel antioxydant des produits laitiers est donc proche de celui de différents groupes d'aliments d'origine végétale. Parmi tous les produits laitiers, les fromages pourraient présenter le plus haut potentiel antioxydant, en particulier en raison de la teneur en protéines plus élevée. Chez l'homme, les résultats ont montré qu'une prise adéquate de produits laitiers pouvait atténuer de manière significative le stress oxydatif dans le syndrome métabolique et chez les sujets obèses (Fardet, 2017).

Chapitre II : Matériels et méthodes

I Caractéristiques générales et choix de la zone d'étude

Le choix de la province d'Essaouira est un choix raisonné et conditionné par différents facteurs qui refléteraient au mieux la problématique traitée et qui soit en harmonie avec les objectifs du travail.

La région d'Essaouira situé au sud-ouest marocain (Figure 12), est caractérisée par un climat aride et semi-aride avec une pluviométrie annuelle d'en moyenne 300mm. En outre, la vie de la population locale de cette région se base principalement sur l'arganier et l'élevage caprins. Au niveau de la province d'Essaouira l'arganier couvre environ une superficie de 136.430 ha soit prés de 20% par rapport à l'arganeraie Nationale. Il représente la première essence forestière suivie du thuya dans cette province. Ainsi, le troupeau caprin de la province d'Essaouira compte environ 420.000 têtes, soit 8% du cheptel caprin national.

Ainsi le choix de cette région pour la réalisation des enquêtes, la collecte des tourteaux de l'arganier et de l'essai d'alimentation peut être justifié par les raisons suivantes :

❖ L'abondance des forêts d'arganier.

❖ La place importante qu'occupe l'élevage caprin dans la zone, tant par son effectif que par sa contribution dans le revenu des éleveurs.

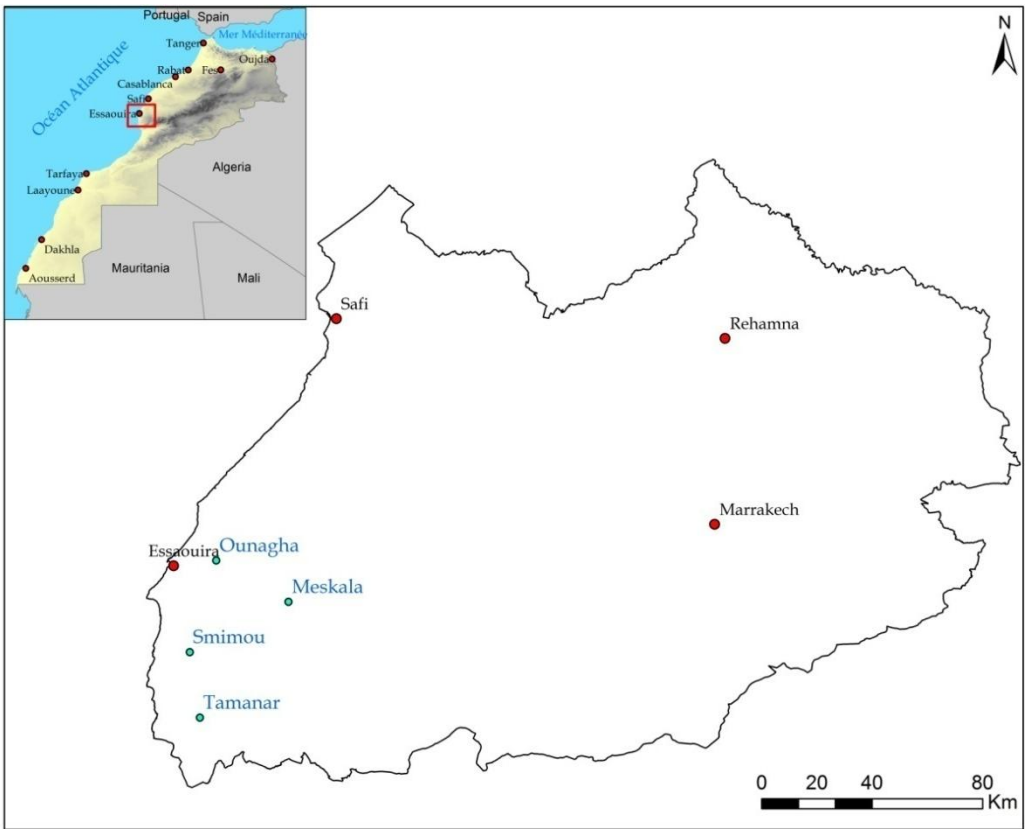


Figure 12: ***Carte géographique de la région d'Essaouira***

II Enquête préliminaire

Il s'agissait de se rapprocher des savoirs locaux des éleveurs sur l'utilisation traditionnels des sous-produits de l'arganier notamment le tourteau dans l'alimentation traditionnelle de leurs troupeaux, d'observer et d'étudier les conduites et pratiques alimentaires animales de leurs élevages ainsi que l'effet de l'incorporation du tourteau de l'arganier sur la qualité du lait. De ce fait, une fiche d'enquête (questionnaire) a été réalisée (Annexe 1) de manière individuelle et a concerné la grande partie des personnes en charge de ces élevages : éleveurs, ingénieurs agronomes, coopératives féminines d'huile d'argane et cadres des services agricoles et vétérinaires de la province d'Essaouira (DPA, ANOC, ONSSA).

Notre questionnaire était réparti en deux volets : un volet contenant des questions précises nécessitant des réponses précises, et un volet contenant des questions ouvertes, laissant ainsi à la personne enquêtée une certaine liberté de s'exprimer sur ce qu'il fait et d'affirmer son point de vue. L'objectif étant de déclencher une dynamique de conversation plus riche que la simple réponse aux questions, tout en restant dans le thème. L'idée est d'avoir une vision globale et assez précise des différentes situations rencontrées.

III Optimisation de la détoxification du tourteau de l'arganier

1 Optimisation classique

Le choix des différents paramètres opératoires est fait par l'analyse de plusieurs travaux et études antérieurs sur les saponines afin de déterminer l'effet de ces paramètres sur leur réduction et/ou leur élimination.

- ✓ **Solution de détoxification**

A partir des travaux antérieurs ; les auteurs ont adopté plusieurs solutions pour l'élimination des saponines :

Herrera *et al.* (2006), Shimelis et Rakshit (2007) et Abou-Arab et Abu-Salem (2010) ont confirmé que le bicarbonate de sodium (0,05, 0,07 et 1%) ($NaHCO_3$) est la plus fiable solution pour l'élimination des saponines ; autrement d'autres auteurs comme Shi *et al.* (2009) et Ndouyang *et al.* (2015) ont été d'accord que la solubilisation des saponines est plus élevée dans l'eau. Par contre Ndouyang *et al.* (2009a) ont confirmé que l'élimination des saponines est accentuée dans un milieu acide.

C'est pourquoi les 3 solutions (bicarbonate de sodium, acide citrique et l'eau distillé) ont été sélectionnées afin d'optimiser celle qui peut éliminer et/ou réduire la teneur du tourteau en saponines.

- ✓ **Volume de la solution**

Le rapport solide/liquide peut aussi agir sur le taux de réduction vue que chaque auteur travail avec des volumes de solution différent ; citons par exemple :

Herrera *et al.* (2006) et Abou-Arab et Abu-Salem (2010) ont utilisé un rapport de 5mL pour 1g d'échantillon broyé du tourteau de jatropha. Alors que Shi *et al.* (2009) ont choisi 1g pour 3mL et pour 7mL.

Pour déterminer l'effet de ce paramètre, des rapports de 1:5 à 1:20 ont été sélectionnés.

- ✓ **Durée de traitement**

Afin d'estimer l'impact possible de la durée d'extraction. Les essais effectués permettent de suivre l'évolution du rendement en saponines au cours de temps.

Par macération Herrera *et al.* (2006), Shimelis et Rakshit (2007) et Abou-Arab et Abu-Salem (2010) ont réalisé un traitement de détoxification des saponines durant 12h ainsi le temps de traitement adopté par Ndouyang *et al.* (2009a) a été plus long que le premier avec une durée de 18 h, par contre le traitement fait par Arbouche *et al.* (2014) n'a duré que 30min. Cependant par ébullition Tarade *et al.* (2006) ont réalisé un traitement de 0 à 60 min.

Donc pour montrer l'effet du temps sur l'élimination des saponines des expériences ont été réalisé dans un intervalle de temps compris entre (10 min à 24h).

- ✓ **Température du traitement**

Dans un système de détoxification la température est un facteur qui agit de façon significative sur le taux de réduction et/ou d'élimination.

L'impact de la température sur le système est non négligeable et l'optimisation de ce paramètre demeure nécessaire.

Pour visualisé l'effet de ce paramètre, des extractions ont été réalisées avec des différentes températures 40 °C, 80°C et 120°C.

2 Optimisation par plan d'expérience

Il existe différentes méthodes d'optimisation parmi lesquelles on peut citer les plans d'expériences pour l'étude des surfaces de réponses. Cette méthode permet la recherche des niveaux optimaux des facteurs pour atteindre un niveau de réponse souhaité. Les plans d'expériences pour l'étude des surfaces de réponses constituent souvent une deuxième étape, après un plan de criblage destiné à identifier les facteurs les plus influents.

La méthodologie de surface de réponse a été employée pour l'optimisation de l'élimination des saponines à partir d'échantillon de tourteau d'arganier. Les 3 facteurs utilisés

ont été déterminés par le plan de criblage : Le rapport solution/eau (concentration), le rapport solide/ liquide (volume) et la température.

IV Animaux et alimentation

Dans cette étude on a utilisé Dix-huit chèvres de race Alpine en lactation (4ème jour de lactation), dont le poids corporel était de 40 à 45 kg, ont été traitées avant le démarrage de l'essai contre les parasitoses internes aussi que externes et vaccinées contre les clostridioses animales et les principales maladies des petits ruminants conformément au programme national de vaccination. L'essai a duré 90 jours, dont 1 semaine après la naissance en tant que période d'adaptation. Les animaux ont été répartie aléatoirement en 3 lots, de 6 chèvres chacun. Chaque groupe a été affecté au hasard à un régime. Le lot témoin (T) a reçu une alimentation conventionnelle utilisée par les éleveurs de la région. Les lots tests nommés TND et TD ; dont le premier TND reçoit une alimentation à base du tourteau d'argane brut, alors que le deuxième TD reçoit une alimentation à base du tourteau d'argane détoxifié. Les régimes alimentaires TND et TD contenant le tourteau d'argane détoxifié et/ ou brut, comprenait l'ensilage de maïs, le tourteau de caroube, l'orge, le foin de luzerne, le son de blé, la paille et un complément minéraux / vitamines. Le régime alimentaire traditionnel (T) contenait l'ensilage de maïs, le foin de luzerne et un aliment de commerce (Tableau 7).

Les rations ont été distribuées deux fois par jour sur la base de 1,5kg de matière sèche par chèvre par jour et l'eau était disponible à volonté.

Tableau 7: ***Composition des rations distribuées***

	Ration TD	**Ration TND**	**Ration T**
Ingrédients (g/100g matière fraiche)			
Tourteau d'argane détoxifié	20	0	0
Tourteau d'argane non detoxified	0	20	0
Ensilage de Maiis	16	16	50
Foin de luzerne	17	17	35
Son de blé	15	15	0
Tourteau de caroube	16	16	0
Orge	14	14	0
Aliment de commerce	0	0	15
Complement minéral vitaminé	2	2	0

1 Analyse réalisée sur les ingrédients et les rations alimentaires

La composition chimique du tourteau d'arganier brut et détoxifié ainsi que les ingrédients (son de blé, orge, tourteau de caroube, paille, ensilage de maïs, foin de luzerne et aliment de commerce) incorporés dans les rations alimentaires, formulées suivant le système INRA selon les besoins énergétiques et protéiques des chèvres en phase de lactation, a été déterminée selon les méthodes de l'AOAC 2000 (Association of Official Analytical Chemists) avec une triple répétition de la prise d'échantillon. Les analyses ont porté sur la matière sèche, la matière azotée totale, la cellulose brute, la matière grasse, la matière minérale et les minéraux.

1.1 Détermination des saponines

L'extraction de saponine a été effectuée selon la méthode de Charrouf (1991). Essentiellement, 1g de tourteau d'argane broyé a été extrait avec 20mL d'éthanol aqueux à 80% et agité sur un culbuteur pendant 24 heures à température ambiante, puis centrifugé à 3000 tr/min pendant 10minutes. En outre, le surnageant a été recueilli et filtré. Ensuite, l'éthanol a été évaporé à sec. Le résidu a été dissous dans un minimum d'eau distillée. Il a ensuite été transféré dans une ampoule à décanter de 250mL pour la décantation après addition de 20mL d'éther diéthylique, il a été agité vigoureusement. La couche aqueuse a été récupérée, tandis que la couche d'éther a été jetée (deux fois). L'échantillon a été ré-extrait avec 15mL de n-butanol (deux fois). Ensuite, le solvant a été éliminé par évaporation rotative à 40 ° C. Enfin, le résidu sec constituant un mélange de saponines a été récupéré dans un mélange méthanol-eau (80/20, v / v).

La teneur en saponines totales du tourteau d'arganier a été estimée par la méthode de Hiai *et al.* (1976), exprimés en équivalents diosgénine.

On prélève 50µL de l'extrait des saponines on le met dans des tubes à essais en ajoutant 0,25mL de la vanilline (1,6g de vanilline dissoudre à 20mL d'éthanol absolu) ensuite les tubes à essais placés dans un bain glacé et 2,5mL de l'acide sulfurique à 72% (72mL de H_2SO_4 dissoudre à 28mL d'eau distillé) ajouté légèrement. Après de mélanger le contenu des tubes laissés les reposer pendant 3min ensuite placé les tubes dans un bain-marie à 60°C pendant 10min puis les refroidir et on mesure l'absorbance à 544 nm. Le test a été réalisé en triple.

1.2 Matière sèche

Dans une capsule séchée et tarée on introduit 1g de l'échantillon broyé, on refait la pesée, puis on place la capsule à l'étuve à une température de 103°C ± 2°C pendant 5 à 6 heures,

ensuite on la met dans le dessiccateur et on la laisse refroidir jusque atteindre la température ambiante pour repeser la capsule.

La matière sèche sera exprimée en grammes par 100 grammes d'échantillon et la formule de calcul est la suivante :

$$\textbf{Matière sèche (\%)} = \frac{[(\mathbf{T}+\mathbf{P_s})-\mathbf{T}]}{[(\mathbf{T}+\mathbf{P_f})-\mathbf{T}]} \times \mathbf{100}$$

Où :

P_f : poids de l'échantillon frais ;

P_s : poids de l'échantillon sec ;

T : la tare.

1.3 Cellulose brute

La cellulose brute est le résidu de 1g d'échantillon obtenu après deux hydrolyses successives : acide puis basique. Le résidu après séchage à l'étuve à 105°C est calciné ; la perte de poids résultant de la calcination est la cellulose brute de l'échantillon.

$$\textbf{Cellulose brute (\%)} = \frac{[(\mathbf{T}+\mathbf{P_s})-(\mathbf{T}+\mathbf{P_c})]}{[((\mathbf{T}+\mathbf{P_f})-\mathbf{T})\times\mathbf{MS}]} \times \mathbf{100}$$

Où :

P_s : poids du résidu après étuvage ;

P_c : poids du résidu après incinération ;

P_f : poids frais de l'échantillon ;

MS : matière sèche de l'échantillon ;

T : la tare.

1.4 Matière azotée totale

Le dosage de l'azote total par la méthode de Kjeldahl s'effectue en trois étapes, soit la minéralisation, la distillation et le titrage. La minéralisation de l'échantillon par chauffage en présence de l'acide sulfurique concentré (H_2SO_4), et d'un catalyseur approprié, vise à convertir la totalité de l'azote organique en ions d'ammonium (NH_4^+). Un excès d'hydroxyde de sodium 40% (NaOH) est ajouté au digestat refroidi pour permettre la transformation de l'azote, sous forme d'ammonium, en ammoniac (NH_3). L'ammoniac est distillé dans un excédent d'acide borique et déterminé par titrage avec une solution d'acide chlorhydrique (HCl) 0,1N.

La teneur en azote, exprimée en pourcentage par unité de masse, et déterminée de la façon suivante :

$$\mathbf{NT\ (\%) = \frac{[(V_0 - V_1) \times 14 \times 6{,}38 \times N_{HCl}]}{P_f \times MS} \times 100}$$

Où :

V_0 : volume de HCl nécessaire pour titrer l'essai à blanc (mL) ;

V_1 : volume de HCl nécessaire pour titrer la solution de l'échantillon (mL) ;

N : normalité de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée lors du titrage ;

P_f : poids frais de l'échantillon ;

MS : matière sèche de l'échantillon ;

14 : masse moléculaire de l'azote (g d'azote / mol).

Par convention on utilise le coefficient de 6,38 pour exprimer les résultats en matières azotées à partir du dosage de l'azote. Ainsi on détermine la teneur en matière azotée totale :

$$\mathbf{MAT = NT \times 6{,}38}$$

1.5 Matière grasse

Il s'agit de déterminer le pourcentage de matière grasse par la méthode de SOXHLET utilisant l'éther de pétrole comme solvant d'extraction.

On prend 5 g d'échantillon on le met dans une cartouche à extraction pendant 6 heures. On recueille l'extrait éthéré dans un ballon sec préalablement taré. L'élimination de l'éther est obtenue par distillation au rotavapeur. On sèche les résidus de l'évaporation pendant 90 minutes dans l'étuve à 80 °C. On pèse le ballon après dessiccation pendant 30 minutes jusqu'à poids constant.

$$\mathbf{Matière\ grasse\ (\%) = \left(\frac{P - P_0}{MS}\right) \times 100}$$

Où :

P : poids du ballon avec matière grasse (g) ;

P_o : poids du ballon vide sans matière grasse (g) ;

MS : matière sèche de l'échantillon (%).

1.6 Matière minérale

La détermination de la teneur en cendres se fait par une prise d'essai de 5g d'échantillon dans un creuset à incinération préalablement calciné et taré. Le creuset est introduit par la suite dans le four à moufle à 550°C pendant 5 à 6h. Il est retiré du four, et laissé refroidir au

dessiccateur et pesé rapidement. On calcule le pourcentage de la matière minérale selon la formule suivante :

$$\textbf{Matière minérale (\%)} = \frac{[(\mathbf{T}+\mathbf{P_c})-\mathbf{T}]}{[((\mathbf{T}+\mathbf{P_s})-\mathbf{T})]} \times \mathbf{100}$$

Où :

Ps : poids sec ;

Pc : poids des cendres ;

T : la tare.

1.7 Dosage des minéraux

Après détermination de la teneur en cendres, 1g des cendres est solubilisé avec 2mL d'HCl puis le tout est filtré dans une fiole de 100mL jaugée par l'eau distillée. Ainsi, la solution est prête pour l'analyse des éléments minéraux.

- ✓ **Dosage du phosphore total**

Le principe de dosage du phosphore total consiste en présence de molybdate d'ammonium, l'acide phosphorique donne en milieu acide un complexe phosphorique, qu'on appelle le phospho-molybdate dont la réduction par l'acide ascorbique donne une coloration bleue proportionnelle à la quantité de phosphore présente dans l'échantillon considéré. Le dosage a été fait selon (IDF, 1990). Dans une fiole de 50mL, on prélève 2mL de la solution mère déjà préparée, on y rajoute 2,5mL de la solution sulfo-molybdique, après agitation des deux solutions et dégazage. Ensuit, 2,5mL de l'acide ascorbique (1%) a été ajouté puis on complète avec de l'eau distillée jusqu'à 25mL. On place la fiole jaugée au bain marie à 80°C, pendant 15min puis on la laisse à une température ambiante jusqu'à refroidissement, à peu près pendant 30min, et finalement on fait le dosage au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 825nm. L'analyse se mène en présence d'un essai à blanc préparé dans les mêmes conditions. La formule de calcul du phosphore en % est la suivante :

$$\mathbf{P(\%)} = \frac{(\mathbf{A}\times\mathbf{2,7}\times\mathbf{0,43})}{\mathbf{m}}$$

Où :

A : absorbance ;

m : masse de l'échantillon ;

2,7 : pente de la courbe d'étalonnage ;

0,43 : facteur de conversion de P_2O_5 en P.

- ✓ **Dosage du sodium et du potassium**

Le potassium K^+ et le sodium Na^+ ont été déterminés au moyen d'un photomètre à flamme. Le photomètre à flamme consiste à exciter un métal par pulvérisation dans une flamme. Cette excitation produit un rayonnement qui se situe dans un spectre caractéristique pour chaque métal. Les éléments alcalins comme le sodium et le potassium sont excités facilement et il suffit d'une flamme de combustion gaz et air (1100, 1300°C).

Le calcul des deux éléments se fait par la formule suivante :

$$\mathbf{Na^+/K^+}\ (\%) = \frac{(\mathbf{a \times p \times D})}{\mathbf{m}}$$

Où :

a : lecture donnée par la courbe d'étalonnage ;

p : pente de la courbe d'étalonnage ;

D : facteur de dilution ;

m : masse de l'échantillon en g.

- ✓ **Dosage des oligoéléments par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme (SAAF)**

Le fer (Fe), le cuivre (Cu), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le zinc (Zn) sont dissous après minéralisation sèche de l'échantillon. Les éléments contenus dans la solution mère qui était déjà extraite sont ensuite atomisés dans une flamme d'air – acétylène. L'absorbance mesurée à une longueur d'onde spécifique de 248,3 nm permet de mesurer la concentration en Fe, Cu, Ca, Mg et Zn de la solution analysée. L'appareil utilisé lors de cette analyse est le spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme (SAAF). Le gaz d'air-acétylène a été utilisé pour évaporer les solutions d'échantillon et pour dissocier l'échantillon en ses atomes constitutifs.

Il est à noter que chaque élément dispose de sa propre longueur d'onde d'absorption caractéristique. Les variations de l'intensité de la lumière à cette longueur d'onde spécifique a été mesurée par un détecteur et utilisés pour déterminer la concentration de cet élément dans l'échantillon initial. Différentes concentrations de solutions standards ont été diluées à partir des solutions de 1000 ppm de Fe, Zn, Cu, Ca et Mg dans des fioles jaugées de 100 mL.

Il est à préciser ici, qu'en fonction de la prise d'essai (1g/100mL) le taux de (Cu, Fe, Ca, et Zn) est exprimé en ppm d'échantillon, de la façon suivante :

$$\textbf{(Fe, Cu, Zn, Ca, Mg) ppm} = \mathbf{a} \times \left(\frac{\mathbf{100}}{\mathbf{1000}}\right) \times \left(\frac{\mathbf{100}}{\mathbf{P}}\right)$$

Où :

a : lecture donnée par le spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme ;

P : prise d'essai de l'échantillon en (g).

1.8 Profil des acides gars des rations alimentaires

Dans le but du dosage par chromatographie en phase gazeuse, la formation des esters méthyliques d'acides gras constitue une phase préalable indispensable à la chromatographie. Le principe consiste en une méthylation basique suivie par une méthylation acide (Duckett *et al,* 2002). Les esters méthyliques formés sont extraits par un solvant apolaire puis injectés dans le chromatographe.

- ✓ **Extraction lipidique**

L'huile des échantillons finement broyés a été extraite par une modification du mode opératoire décrit précédemment par Ryan *et al*, (2007). En bref, 2g d'échantillon sont ajouté à 6mL d'hexane/isopropanol (3:2, v/v) à température ambiante sous agitation vigoureuse pendant 1 heure. Les préparations ont été filtrées sous vide, les résidus ont été lavés deux fois avec 4mL de solvant hexane / isopropanol. Ensuite, 7mL de sulfate de sodium à 6,7% (poids / volume) ont été ajoutés et les échantillons ont été homogénéisés pendant 30s au vortex puis centrifugés à 2.000 tr /min pendant 10min. le surnageant est récupéré minutieusement.

- ✓ **Préparation des esters méthyliques d'acides gras**

Les esters méthyliques d'acides gras (FAME) ont été préparés à partir de l'huile extraite. Selon El-Hamdani *et al.* (2017), environ 40mg d'huile extraite ont été traités avec 2mL de NaOH méthanolique à 0,5N (20g de NaOH dans 1000mL de méthanol) puis l'ensemble a été bien homogénéisée au vortex pendant 1min à une lente vitesse, on a chauffe le tout au bain-marie à une température de 90°C pendant 10min. Les tubes ont été refroidis rapidement sous un courant d'eau froide, puis 2mL de trifluorure de bore (BF3) à 14% ont été ajoutés sous agitation de nouveau pendant 1min au vortex et les tubes ont été réchauffés pendant 10min supplémentaires. Les tubes ont été laissés se refroidir sur la paillasse à température ambiante. Finalement 2mL d'hexane et 4 mL d'eau distillée y sont ajoutés et sont mis à un shaker à une vitesse moyenne (300 rpm) pour avoir une meilleure homogénéisation. Après 5min, le tout est centrifugé à 2880g pendant 10min et la couche d'hexane supérieure contenant le FAME a été récupéré minutieusement. Le résultat pour chaque acide gras a été exprimé en pourcentage de la somme des acides gras totaux.

✓ **Injection en chromatographie en phase gazeuse (CPG)**

Les esters méthyliques d'acide gras (FAME) récupérés, ont été identifiés par chromatographie en phase gazeuse. Pour ce faire, l'injection a été faite dans un appareil de type Varian CP- 3380 Séries système GC avec un détecteur à ionisation de flamme, équipé d'une colonne capillaire garnie d'une phase stationnaire : CP Select CB (la longueur : 30m, le diamètre interne : 0,25mm, le diamètre externe : 0,25mm), dont les conditions chromatographiques fixées sont les suivantes :

T° du four isocratique : 190°C ;

T° Détecteur : 290°C ;

T° Injecteur : 250°C ;

Le gaz vecteur : Hélium.

1.9 Pouvoir antioxydant des rations alimentaires

✓ **Préparation des extraits**

L'extraction des composés concernés à partir des échantillons (rations alimentaires) a été faite selon Zhao *et al,* (2014). Un 1g d'échantillon broyé est mis à macérer dans 20mL d'une solution aqueuse d'éthanol 80%, puis le mélange est agité à l'aide d'un agitateur (300rpm) pendant 3h à température ambiante et à l'obscurité. Par la suite on centrifuge le tout pendant 10min à 3000rpm. Le surnageant aussi récupéré sera conservé en obscurité à -20°C, pour le dosage ultérieure des polyphénols totaux et des flavonoïdes totaux ainsi que la mesure du pouvoir de piégeage du radical libre (DPPH).

✓ **Dosage des polyphénols totaux**

Le dosage des polyphénols totaux a été fait en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu, cette méthode a été décrite en 1965 par Singleton et Rossi. Depuis, son utilisation s'est largement répandue pour caractériser les extraits végétaux d'origines plus diverses. Le réactif de Folin Ciocalteu est un acide de couleur jaune constitué par un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique (Galili et Hovav, 2014). Il est réduit lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (Galili et Hovav, 2014). La coloration produite, dont l'absorption maximum à 765nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux.

Les polyphénols (PP) ont été déterminés par spectrophotométrie, suivant le protocole appliqué en 2007 par Li et ses collaborateurs. 200µL d'extrait végétal dilué est mélangé avec 1mL de réactif de Folin Ciocalteu dilué 10 fois dans de l'eau distillée. Après une minute, 800µL de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à concentration de 7,5g/L sont ajoutés.

Après une incubation du mélange réactionnel pendant 2 heures à température ambiante à l'obscurité, l'absorbance est mesurée à 765nm.

La courbe d'étalonnage est effectuée par l'acide gallique à différentes concentrations (0-500µg/ml), dans les mêmes conditions et les mêmes étapes du dosage. Les résultats sont ainsi exprimés en mg d'équivalent d'acide gallique par 1g poids sec des échantillons (mg EAG/g MS) ; en appliquant la formule suivante :

$$\mathbf{C= \frac{c \times V}{MS}}$$

Où :

C : teneur en phénols totaux (mg d'acide gallique/g de matière sèche) ;

c : concentration de l'acide Gallique établie à partir de la courbe d'étalonnage (mg/mL) ;

V : volume de l'extrait ;

MS : matière sèche de l'échantillon (g).

- ✓ **Dosage des flavonoïdes totaux**

Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO, un complexe coloré si on l'additionne au chlorure d'aluminium. Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux fer (Fe) et aluminium (Al). Ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir à deux atomes d'oxygène de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons (Kim *et al*, 2003).

Pour le protocole qu'on suit pour cette analyse, est celui de Bahorun et ses collaborateurs (1996), en y apportant quelques modifications, en utilisant la méthode colorimétrique au trichlorure d'aluminium. Une quantité de 1mL de l'extrait a été mélangée avec 1mL de la solution d'$AlCl_3$. L'ensemble est agité à l'aide d'un vortex puis incuber pendant 10min. L'absorbance a été mesurée à 430nm.

La concentration des flavonoïdes contenue dans les extraits est déduite à partir d'une gamme d'étalonnage établie avec la Quercetine (0–500µg/mL), et est exprimée en milligramme d'équivalent de Quercetine par 1g d'échantillon.

- ✓ **Le test de piégeage du radical DPPH**

L'activité anti-oxydante a été évaluée par la mesure du pouvoir de piégeage d'un radical libre, DPPH*(1,1-Diphenyl-2-picryhydrazyl), ce dernier a une couleur violette en raison d'un l'électron non apparié d'azote. La capacité de donation des électrons par les extraits testés est mise en évidence par une méthode spectrophotométrique en suivant la disparition de cette couleur violette en une couleur jaune (Bruits et Bucar, 2000). Cela démontre qu'il y a eu une

réaction de réduction avec l'atome d'oxygène d'un piégeur de radicaux libre, et donc le DPPH-H (2,2- diphényl-1- picrylhydrazin) est formé (Villano, *et al*, 2007), de cette façon le potentiel antioxydant d'une substance ou d'un extrait de plante peut être déterminée.

Le protocole suivi lors de cette analyse était celui d'Alyaqoubi *et al.* (2014). Dans un premier temps on prépare la solution mère de DPPH ; on met 40mg de DPPH dans 100mL méthanol, après la stabilisation de cette solution, on prend 1,8mL qu'on ajoute à 200µL de l'extrait déjà préparé, et on mélange à l'aide d'un vortex, après 30min d'incubation en obscurité et à une température ambiante, la lecture de la densité optique (DO) est réalisé à 517nm, en présence d'un contrôle qui est la solution DPPH. Une gamme de concentration d'acide ascorbique (un antioxydant de référence) a été préparée pour faire la comparaison lors de l'analyse des résultats. Tous les essais ont été effectués en triplicata. Le pourcentage de réduction du radical libre DPPH est exprimé par la formule suivante :

$$\textbf{\% d'inhibition} = \left[\frac{\mathbf{A_c - A_e}}{\mathbf{A_c}}\right] \times \mathbf{100}$$

Où :

A_c : absorbance du contrôle ;

A_e : absorbance de l'échantillon testé.

2 Production laitière

Pour estimer la production laitière, un contrôle se fait une fois par semaine en appliquant la méthode d'El Khettabi et ses collaborateurs (2012). Cette méthode consiste à séparer les chevreaux de leurs mères la veille du contrôle à partir de 16:00 avec en même temps une vidange des mamelles. En outre, la première traite se fait le lendemain à 8h du matin ainsi la deuxième traite se fait l'après-midi du même jour à 16h. De ce fait, la quantité de lait récupérée au cours de ces deux traites représente la production laitière produite durant 24h.

La traite se faisait manuellement et les échantillons du lait obtenus ont été recueillis dans des flacons en verre stériles sans conservateur, transportés au laboratoire dans une glacière et conservés à 4°C pour des fins des analyses. La durée entre la traite et les analyses ne dépassait pas 24 heures.

3 Analyses réalisées sur le lait

3.1 Analyses microbiologiques

Le lait cru est un produit hautement nutritif sur le plan de la nutrition. Sa production doit être sévèrement contrôlée en raison des risques éventuels que ledit lait peut présenter pour la santé humaine. En effet les échantillons prélevés ont été analysés pour déterminer la flore de contamination ainsi que la flore pathogène. L'isolement et le dénombrement de la flore mésophile aérobie totale, les coliformes totaux et fécaux, les bactéries lactiques, les levures et les moisissures, la *Salmonella* sp, *Listeria monocytogenes*, et les *staphylocoques aureus* ont été dénombrées conformément aux normes internationales (ISO, 2006).

- ✓ **Préparation des dilutions**

Les dilutions ont été réalisées selon Jamaly *et al.* (2011), à l'aide d'une micropipette, on introduit aseptiquement 1mL de la solution mère dans un tube à vis stérile contenant au préalable 9mL d'eau peptonée. Cette dilution constitue alors la dilution au 1/10 (10^{-1}), puis l'ensemble est homogénéisé durant 30 secondes au vortex. Ensuite, une série de dilutions décimales (jusqu'à 10^{-6}) est réalisée.

- ✓ **Méthode d'ensemencement et de dénombrement**

L'ensemencement et le dénombrement des bactéries ont été effectués selon la norme française (Norme NF EN V 08-010-5). De façon aseptique, 1mL des dilutions décimales est porté dans des boites de pétri stériles préparées et numérotées à cet usage. Ensuite, avec environ 15mL de gélose fondue puis refroidie à 37±2°C dans un bain Marie. Le contenu est homogénéisé en effectuant des mouvements circulaires et des "va-et-vient" sur une surface fraîche et horizontale pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose. Ces analyses sont effectuées dans des conditions aseptiques sous une hotte à flux laminaire. Pour l'incubation, toujours les boites sont étuvées couvercles en bas.

- **Flore mésophile aérobie totale (FMAT)**

La flore bactérienne mésophile totale renseigne sur la charge globale du produit à analyser en microorganismes viables. Ces flores sont isolées et dénombrées sur milieu de culture gélosé, Plate Count Agar (PCA) ainsi incubé à 37°C pendant 24h. Les bactéries de la FMAT se présentent sous forme de colonies blanches brillantes ; le dénombrement est effectué par comptage de ces colonies et le résultat est rapporté au ml du produit (Norme NF V 08-51).

- **Dénombrement des coliformes fécaux et totaux**

La présence des coliformes dans le lait permet la mise en évidence d'une pollution fécale et donc la possibilité d'une contamination par des Entérobactéries pathogènes. Le dénombrement est réalisé sur le milieu Violet Red Bile Lactose Agar (VRBL). L'incubation est conduite en aérobie pendant 24h à 30°C pour les coliformes totaux et à 44°C pour les coliformes fécaux.

Les bactéries coliformes se présentent sous forme de colonies rouges foncées ; le dénombrement est effectué par comptage de ces colonies et le résultat est rapporté au mL du produit (NF ISO V08-015).

- **Dénombrement des bactéries lactiques**

Les bactéries lactiques sont des bactéries à Gram positif, anaérobies facultatives, on peut les trouver sous formes de coques ou de bâtonnets et elles sont capables de fermenter les sucres en acide lactique. Elles peuvent se développer électivement sur le milieu MRS agar (de Man, Rogosa et Sharpe), en ensemençant en profondeur 1mL des dilutions, et l'incubation faite à 30°C pendant 48 heures dans des conditions anaérobies (jar anaérobie compact GasPak TM EZ) (Jamaly *et al,* 2011).

- **Dénombrement des levures et moisissures**

Les levures sont des champignons unicellulaires de forme généralement ovale capable de provoquer la fermentation des matières organiques, et se multiplient par bourgeonnement ou scissiparité. Elles sont capables d'accomplir une sporulation dans le but de dormance en milieu défavorable ou pour dispersion. Les colonies sont de grandes tailles. Elles ont une couleur blanche et une forme lenticulaire, circulaire ou en étoile.

Les moisissures quant à elles, sont des champignons microscopiques, composés de milliers de variétés différentes, et se regroupant en grappes. Certaines moisissures servent à la production de médicaments (pénicilline), mais la plupart sont toxiques pour l'homme. Les colonies des moisissures ont un aspect filamenteux de petite ou grande taille.

Souvent les milieux de culture utilisés pour dénombrer la flore fongique est le Sabouraud Dextrose Agar additionné au chloramphenicol. Pour les tests de la flore fongique on faisait l'ensemencement en profondeur, puis on transmet les boites de pétri à l'étuve à une température de 30°C pendant 48h (El-Hamdani *et al,* 2016).

- **Dénombrement des *staphylococcus aureus***

Les *Staphylococcus* sont des coques à Gram positif, catalase positive, immobiles, isolées ou groupés en amas irrégulier, asporulés, aérobies ou anaérobies facultatives. Ils peuvent être

divisés en souches pathogènes et en souches relativement non pathogènes sur la base de la synthèse de coagulase. Les souches coagulases positives sont identifiées comme *Staphylococcus aureus* produisant souvent un pigment caroténoïde jaune d'où l'appellation commune staphylocoque doré. Les bactéries *Staphylococcus aureus* sont mises en évidence par culture sur le milieu, Baird Parker Agar auquel on rajoute un complément qui est le jaune d'œuf au tellurite et sulfamthazine. Les boites de pétri sont incubées à 37°C pendant 48h. Le genre *Staphylococcus aureus* se présente sous forme de colonies noires, brillantes, rondes, et entourées du milieu d'un halo d'éclaircissement plus ou moins prononcé (NF EN V08-014-1).

3.2 Analyses physico-chimique

- ✓ **Mesure de pH**

Le pH des échantillons de lait de chèvre a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre numérique (CyberScan pH 1500, Eutech Instruments).

- ✓ **Matière sèche**

La détermination de la teneur en extrait sec a été déterminée après dessiccation par évaporation d'une quantité précise de lait (5mL), jusqu'à stabilisation du poids et faire la pesée du résidu par la suite (AOAC, 2000).

- ✓ **Matière minérale**

La matière minérale du lait a été déterminée après l'incinération de l'échantillon (1mL du lait) selon les normes AOAC (2000) précédemment décrit. Ainsi la détermination de la teneur en minéraux du lait (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Na^{+}, K^{+} et P) a été effectuée selon le protocole pré-décrit.

Après l'arrivée des échantillons du lait au laboratoire, on procède à l'analyse des composants physico-chimiques par " lactoscan milk analyzer ", son point d'importance c'est de faciliter l'analyse et la rendre plus rapide, grâce à cette machine, on peut avoir la teneur en lactose, en matière grasse (FAT), les solides non gras (SNF), les protéines, le point de congélation, les sels, ainsi que la densité.

3.3 Profil des acides gras du lait

L'extraction de la matière grasse du lait a été faite comme décrite par Akraim *et al.* (2005) avec quelques modifications, les échantillons du lait ont été décongelés et ensuite centrifugés à 10 000 × g pendant 1h à une température de 5°C afin de récupérer que la matière grasse. Environ 50mg de cette matière a été utilisé pour la préparation des esters méthyliques d'acides gras (FAME), suivant le protocole d'El-Hamdani *et al.* (2017) préalablement décrit au niveau du profil des acides gras des rations

3.4 Potentiel antioxydant du lait

L'extraction des composés antioxydants à partir d'échantillons de lait a suivi la méthode décrite par Alyaqoubi *et al.* (2014). Le solvant d'extraction été de l'HCl (1N) et de l'éthanol 95%. Ensuite, 10mL du solvant (V HCl/ V éthanol, 15/85) ont été ajoutés à 1mL d'échantillon de lait. Le mélange est agité à l'aide d'un agitateur (300rpm) placé dans un bain marie réglé à une température de 30°C et ce pendant 1h. Par la suite on centrifuge le tout pendant 15min à une température de 5°C à 7800g. Finalement, Le surnageant a été recueilli, filtré et maintenu à -20°C dans l'obscurité jusqu'à une analyse ultérieurs des polyphénols totaux, des flavonoïdes totaux et du pouvoir d'inhibition du radical DPPH selon les protocoles pré-décrits.

4 Valorisation technologique

La fermentation des échantillons du lait a été entreprise par des bactéries lactiques autochtones isolées et purifiées au niveau du laboratoire, de technologie alimentaire au sein de l'INRA Rabat, et identifiées par séquençage au niveau du Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST).

Ces bactéries lactiques ont été isolées à partir du lait collecté des deux groupes alimenté par les rations à base du tourteau d'argane (brut et détoxifié). Elles ont été sélectionnées de par leur activité acidifiante significative et ont été identifiées en utilisant le séquençage du gène 16S rRNA. L'analyse génétique a révélé que toutes les souches ont été identifiées comme *Lactococcus lactis* et *Streptococcus thermophilus*, ces souches sont les plus appropriées pour cette valorisation grâce à leurs caractères technologiques.

- ✓ **Agent coagulant**

L'agent coagulant utilisé est la présure d'origine pharmaceutique contient de la chymosine non animale dont l'action coagulante est équivalente à 70mg de chymosine par Litre.

- ✓ **Préparation du levain**

Le levain utilisé était préparée dans un flacon contenant 100mL de lait écrémé stérile, ensemencé avec des cultures jeunes de souches pures à un taux de 2% (à des volumes égaux), ensuite incubé à 37°C pendant 18h (Jamaly *et al*, 2011).

- ✓ **Fabrication du Fromage frais "Jben''**

Dans le but de valoriser le lait collecté durant l'essai de l'alimentation ; à l'échelle de laboratoire trois fromages sont préparés :

F1 : un fromage fabriqué à partir du lait collecté du groupe de chèvre nourries par la ration à base du tourteau détoxifié, agent coagulant et le ferment,

F2 : un fromage obtenu à partir du lait collecté du groupe de chèvres alimentées par la ration à base du tourteau brut agent coagulant et le ferment

F3 : un fromage fabriqué seulement par l'agent coagulant utilisant le lait du groupe témoin.

Les différentes étapes de la fabrication du fromage durant l'expérimentation sont :

❖Filtration du lait à travers une membrane poreuse, pour éliminer les particules indésirables (poils, débris des aliments,…) ;

❖Pasteurisation du lait à une température de 72°C pendant 15s, ce lait pasteurisé a été maintenu à 30°C et mis dans un récipient afin d'être ensemencé ;

❖Ensemencement du lait par addition de 2% du levain (bactéries autochtones) et emprésurage par addition de 1g de la présure pour 5L de lait ;

❖Caillage après une maturation pendant 16 à 18h à 37°C ;

❖Moulage et égouttage pendant 24h.

✓ **Les analysés réalisés sur les fromages**

Suite au conditionnement du fromage frais, on a procédé aux analyses des produits fabriqués. Tout d'abord on a conservé tous les échantillons à 4°C (les fromages frais), puis des prélèvements ont été effectués pour des fins d'analyses. Le suivi des analyses a été mené le premier jour (J0), le septième (J7) et après 14 jours de la fabrication.

Pour ce faire, une analyse microbiologique a été effectuée par le dénombrement de la flore mésophile totale (FMAT) mais aussi pour évaluer le niveau de contamination des produits fabriqués par les bactéries indésirables suivants : les coliformes fécaux et totaux, *Staphylococcus aureus*. Ainsi, le dosage du pH, puis l'analyse des minéraux (Fe, Ca, Mg, P, Na et K), le dosage des protéines totaux par la méthode de Kjeldahl, ainsi le dosage des polyphénols totaux et l'analyse de l'activité anti-oxydante par DPPH pour les fromages fabriqués au laboratoire ont été déterminés.

Chapitre III : Résultats et discussion

I. Article 1: Use of *Argania spinosa* by-products as livestock feed in Morocco: A survey in Essaouira province

Utilisation des sous-produits d'*Argania spinosa* en l'alimentation animale : Une enquête dans la province d'Essaouira

Etat actuel de l'article : Cet article a été soumis pour publication au journal "Moroccan Journal of Agricultural Sciences"

1 Synthèse de l'article

Une enquête préliminaire a été réalisée dans la région d'Essaouira et avait pour objectif l'évaluation de l'utilisation des sous-produits de l'arganier (tourteau et pulpe) dans l'alimentation animale. Différentes tranches de la population, susceptibles d'être impliquées par la réalisation du projet ont été soumises à cette enquête. Dans cette enquête 126 personnes ont été concernées. Cependant des duplications ont été opérées car une personne peut avoir une ou deux qualités tel un consommateur qui peut à la fois un éleveur et un membre de la coopérative.

Cette enquête a révélé que la structure du troupeau de la région d'Essaouira variait largement selon les ménages et que la majorité des éleveurs possédaient un troupeau de petite à moyenne taille. Cependant, le troupeau est principalement représenté par la race ovine avec 53,4%, suivis par les caprins avec 40% et enfin les bovins avec 6,4%. La fonction du troupeau est principalement orientée vers la production de la viande et du lait. Cela montre l'importance de l'élevage dans la vie socio-économique des ménages de cette région.

La majorité des éleveurs enquêtés (90%) ont déclaré que les aliments à base des sous-produits de l'arganier seraient économiquement importants pour la production animale dans la région étudiée. Environs 86% des agriculteurs incorporent les sous-produits de l'arganier (tourteau et pulpe) dans l'alimentation de leurs troupeaux. Quant au mode d'utilisation ; 48,2% des agriculteurs distribuent le tourteau de l'arganier en l'état tandis que les autres le broie avant de le mélanger à la ration alimentaire pour une meilleure valorisation. Par ailleurs, la disponibilité de ces sous-produits coïncide avec des périodes de pénurie alimentaire (périodes de sécheresse) (Moutik *et al,* 2019). Selon les éleveurs, le tourteau d'argane est désagréable pour les petits ruminants (caprin et ovin) en raison de sa saveur amère. Cependant, le tourteau est réservé uniquement aux bovins soumis à l'engraissement (Charrouf et Guillaume, 1999) car il altère la qualité du lait en transmettant un goût désagréable ce qui est conforme aux travaux cités précédemment par El Hadi (2012). Pourtant, la pulpe est

principalement utilisée comme intrant dans le régime alimentaire du bétail et qui est généralement consommée par tous les animaux du troupeau, quel que soit le stade physiologique.

D'après cette enquête, la qualité gustative des laits issus de ces sous-produits est moins savoureuse par rapport aux autres laits (21% contre 79%). En outre, l'effet de l'utilisation des sous-produits de l'arganier en alimentation animale est plus significatif sur la production de viande (90%) que sur la production de lait (10%).

Toutes les coopératives enquêtées préfèrent vendre leurs sous-produits aux unités de valorisation et 73% d'entre elles souhaitent élargir leur activité dans la vente de ces sous-produits dans la région au lieu de les commercialiser aux autres régions du Maroc. Elles préfèrent aussi dans 91% des cas être rémunérées en espèce afin de pouvoir payer les femmes de la coopérative qui décortiquent les fruits de l'arganier manuellement. Les coopératives enquêtées avancent que leur prix de vente du tourteau serait au prix de vente en faveur des unités de valorisation de 2dh/kg dans 74% des cas et que pour la pulpe, ce prix serait de 1dh/kg dans 57% des cas. En termes de quantités, 47% des coopératives sont capables de vendre environ 5 tonne/an de tourteau d'argane aux unités de valorisation et 40% sont prêts à vendre entre 5 et 10 tonnes à ces unités et les quantités de pulpe seraient de moindre mesure.

L'incorporation de sous-produits d'arganier dans l'alimentation des ruminants réduirait sans aucun doute la pression sur les ressources sylvopastorales et les coûts de production. Cependant, afin d'améliorer la qualité du tourteau d'arganier qui est riche en nutriment alimentaire en particulier protéines et de le rendre plus appétissant pour le bétail, sa détoxification est obligatoire pour compléter les résultats de cette enquête.

Article 1: Use of *Argania spinosa* by-products as livestock feed in Morocco: A survey in Essaouira province

Nazha Lakram[1,2*], Ikram Mercha[2,3], Mohammed Bendaou[2], Rachid Kabbour [2], El Haj El Maadoudi [2] and Mariam Naciri[1]

1 Research Center Biotechnology Vegetal and Microbial, Biodiversity and Environment, Laboratory of Biodiversity, Ecology, and Genome, Faculty of Sciences, University Mohammed V of Rabat, Avenue Ibn Batouta P.O. Box 1014 Rabat, Morocco.

2 National Institute of Agronomic Research (INRA), RCAR-Rabat, P.O. Box 6570, Institutes, 10101, Rabat Morocco.

3 Laboratory of Virology, Microbiology & Quality / Eco-toxicology & Biodiversity University Hassan II, Faculty of Science and Techniques of Mohammedia, P.O. Box 146 Mohammedia 20650 Morocco.

Abstract

Argania spinosa by-products (press cake and pulp) are classically used as a complementary feeding source for livestock by local farmers. However, limited findings were reported on traditional practices and methods for a local improvement of using these local forage resources. In this project we aimed to establish a balanced animal feed based on argane tree byproducts and start marketing the diet shortly by two upgrading units which have already been set up in Essaouira region. The results of the survey showed that 90% of breeders are convinced of the economic aspect of meat production from argane by-products and its remarkable low-fat content and better taste. On the other hand, all survey participants are declaring negative effect on milk quality taste. All argane cooperatives aiming the valorization of argane fruit (100%) prefer to sell their by-products to the new units at a range price of 2 Dh/ kg and 1 Dh/ kg respectively for the press cake and the pulp. The majority of consumers (90%) say that milk from rations based on argane by-products is not tasty, while meats from these rations are tastier.

Keywords: Argane by-products, feed, Essaouira, Survey.

Introduction

Ruminants in Morocco face a number of mainly dietary constraints, which considerably reduce their production performance (Bendaou *et al,* 2011). Moreover, the high cost of conventional foods and the lack of knowledge of alternative food resources make farming activity less competitive in the intensive farming system (Bendaou and Ait Omar, 2013). This situation has led to excessive use of pastoral areas, and consequently to deterioration and decrease in forage availability on rangelands (Mouhaddach *et al,* 2016), which poses a real challenge to the experts for establishing balanced and sustainable diets. An assessment of the nutritional value of relatively cheaper unconventional food resources, including agricultural and agro-industrial by-products, is therefore of paramount importance for livestock production in Morocco. Among these alternative resources, the argane (*Argania spinosa*) tree by-products (press cake and pulp) can reduce the dietary constraints of livestock in the arid and semi-arid zones of Morocco and make farmers less dependent on fluctuations in prices of conventional rations.

The argane tree covers an area of about 830.000 ha (Charrouf and Guillaume, 2009) with an annual production of 350.000 tons of fruit, generating large quantities of by-products during the argane oil production process, about 43% of pulp, 52.6% of shells and 2% of press cake; which are very important sources of nutrients for ruminants. Indeed, the pulp of the fruit of the argane tree, a very energetic source (1.07 UF / kg of DM), is used as a supplement for goats in southern Morocco. Argane press cake, which also has good energy value (1.20 UF / kg of DM), is often viewed as a cheap protein-rich source (40 to 49%) and contains more than 25% fat, can compete with soybean press cake in terms of nutritional value and cost. However, little scientific work has been done on the nutritional value and use of these byproducts in ruminants. The few publications concerning the use of the argane tree in animal feed are limited to pastoral work on goats in southern Morocco (El Aich et *al,*2007) and the effect of this grazing of these animals in the argane forest on the content of their meat in polyunsaturated fatty acids (Bas *et al,* 2005). Other authors have pointed out the importance of the chemical composition of argane by-products and their food potential for ruminants (Charrouf and Pioch, 2009).

In this study, we carried out a survey in Essaouira province in order to estimate the production rate of argane tree by-products and to document the traditional utilization of these by-products in livestock production. The final objective was to plan a research project oriented toward better utilization of argane by-products for the benefit of local farmers.

Materials and Methods

Study area

The study was carried out in the Essaouira region in southwestern Morocco (Figure 1) characterized by an arid and semi-arid climate with an average annual rainfall of 300 mm. In addition, the life of the local population of this region is mainly based on argane production and goat farming. At the level of the province of Essaouira the argane tree covers an area of 136.430 ha or nearly 20% compared to the national argane tree (Chriqi *et al*, 2003). It represents the first forest species followed by cedar in this province. Thus, the goat herd of the province of Essaouira has about 420.000 head or 8% of the national goat herd (Boudra, 2012).

Figure 1: Map showing Essaouira province

Survey

An explorative survey was realized out on 126 surveyed (Breeders, Consumer, Agronomists, Cooperative member of argane oil, veterinary and agricultural services executives) in the Essaouira province owning livestock in order to characterize the place of argane by-products in the alimentary systems of the region and to show the interests and limits of these forage resources perceived by local farmers.

This survey aimed to evaluate:

- ✓ The use of the argane by-products in livestock feeding;
- ✓ Modalities of distribution (types and number of animals, periods of distribution, quantities, palatability, etc.);
- ✓ Production rate of the argane by-products by the Cooperative.

Analysis of variance was used to calculate the means and to determine the influence of the qualitative variables on the quantitative variables. Data treatment was carried out using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) software version 1.1.

Results and discussion

The survey realized in Essaouira region revealed that the herd structure largely varied among households but the great majority of livestock owners possessed small to medium herd. However, it is mainly represented by Sheep (53.49%), followed by Goat (40%), and Bovine (6.41%) (Figure2). The function of the herd is primarily oriented to provide milk and meat for. This showed the importance of livestock production in the socio-economic life of households in this region.

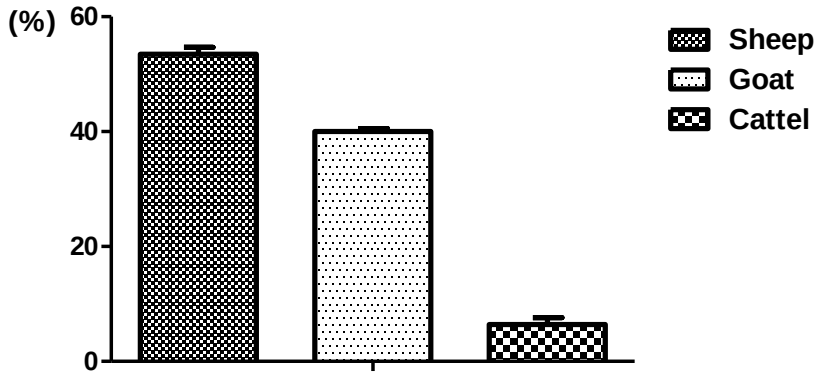


Figure 2: Type and size of herds found in Essaouira region

Most of livestock owners use the argane tree by-products for feeding livestock in the Essaouira region. Indeed, the effect of the use of argane by-products is more significant on meat production (90%) than milk production (10%) (Table1). According to the breeders, the press cake of argane is unpalatable by small ruminants (goat and sheep) because of its bitter flavor but reserved only for fattening cattle as reported by Charrouf and Guillaume (1999) since it alters the quality of milk by transmitting an unpleasant taste which was in accordance with previously cited work by El Hadi (2012). However, the pulp is mainly used as an input

in the diet of livestock and is usually eaten by all animals of the flock, whatever physiological stage there at. In another side, the majority of the surveyed breeders (90%) stated that argane tree by-product foods would be economical for livestock production in the region.

Table 1: Question for breeders

Are you a milk producer?	**Yes**	34.1%
	No	65.%
Are you a fattener ?	**Yes**	89.4%
	No	10.6%
Have you ever used by-products ofArgane tree to feed your animals?	**Yes**	85.9%
	No	14.1%
If yes, how is it presented to animals?	**In a state**	48.2%
	Crushed	51.7%
For which species?	**Goat**	5.7%
	Sheep	29.7.7%
	Catlle	64.6%
What is the quantity distributed per animal?	**1-4kg**	38.9%
	4-8kg	61.2%
Are the results of dairy production encouraging?	**Yes**	21.3%
	No	78.7%
Are the fattening results encouraging?	**Yes**	85.9%
	No	14.1%
From palatability point of view, what have you noticed concerning ingested press cake quantities?	**Good**	27.1%
	Bad	72.9%

Argane tree by-products are distributed essentially during winter and summer as supplement to several components of the diet they give to livestock. In addition, the availability of these by-products coincides with periods of food shortage (periods of drought).

All the consumers surveyed believe that the milk and meat produced after animals consuming the by-products of the argane tree are organic (Table 2). However, the milk of these by-products is less tasty compared to other milks (21% against 79%). In contrast to meat, it was reported to be tastier than that of other conventional foods.

Table 2: Question for consumer

Have you ever tasted the milk of animals consuming by-products of Argane tree?	**Yes**	56.4%
	No	43.6%
If yes, from which species?	**Goat**	49%
	Sheep	9.5%
	Catlle	40.4%
Have you ever tasted the meat of animals consuming argan tree by-products?	**Yes**	85.1%
	No	14.9%
If yes, from which species?	**Goat**	27.5%
	Sheep	10.7%
	Catlle	58.6%
Can you distinguish milk of animals consuming Argane diet from other types of milk?	**Yes**	53.2%
	No	46.8%
Can you distinguish meat of animals consuming Argane diet from other types of meat?	**Yes**	80.9%
	No	19.1%
Is the milk from this food tastier?	**Yes**	20%
	No	80%
Is the meat from this food tastier?	**Yes**	78.7%
	No	21.3%
Do you think its organic milk?	**Yes**	70%
	No	30%
Do you think it's an organic meat?	**Yes**	90.4%
	No	9.6%

According to this survey, all the cooperatives surveyed prefer to sell their by-products to the upgrading units and 73% of them want to expand their activity in the sale of these by-products in the region instead of marketing them to other regions of Morocco (Table 3). The cooperatives surveyed claimed that their selling price of argane by-products would be equivalent of the one proposed by the upgrading units (2 Dh/kg for press cake and 1 Dh/kg for pulp). In terms of quantity, 47% of cooperatives are able to sell about 5 tones/year of argane press cake to the upgrading units and 40% are willing to sell between 5 and 10 tons of these units and the quantities of pulp would be less extent.

Table 3: Question for Argane cooperatives

Do you prefer to sell your by-products to the region's upgrading units?	**Yes**	100%
	No	0%
If yes, what price are you suggesting? Press cake (DH/kg)	**0.5Dh**	0%
	1Dh	8.7%
	2Dh	73.9%
	3Dh	17.4%
If yes, what price are you suggesting? Pulp (DH/kg)	**0.5Dh**	39.1%
	1Dh	56.5%
	2Dh	34%
	3Dh	0%
What estimated annual tonnage can you sell to these upgrading?press cake (t)	**0-5T**	47.8%
	5-10T	39.1%
	10-20T	13.1%
	> 20T	0%
What estimated annual tonnage can you sell to these upgrading? Pulp (t)	**0-5T**	43.5%
	5-10T	34.8%
	10-20T	13.0%
	> 20T	8.7%
How will these products be available for each season?	**winter**	0%
	Autumn	0%
	Spring	17.4%
	Summer	13%
	All the years	69%

Despite deterioration of the quality of the animals' milk, the data point out the multiple interests of argane by-products can offer: they can constitute a "structural" complementation of the daily diet or be reserved for special event such as periods of high nutritional requirement levels (lambing/kidding), periods that require a high energetic forage source for combating cold, or as substitutive forage in case of scarcity.

Socio-economic benefits

This work is part of a pilot project, led by the Moroccan Ministry of Agriculture and the National Institute of Agronomic Research, which includes the production and large-scale marketing of the studied food diet in the region of Essaouira, in order to valorize the by-products of the argane tree in these region and to improve the quality of life of the concerned farmers. Two upgrading units have already been set up in Essaouira. They will start marketing the diet shortly.

Conclusion

Incorporating argane tree by-products into the diet of ruminants would undoubtedly reduce the pressure on silvopastoral resources and production costs. Hens, improve the income of livestock farmers of Essaouira region. In this study, we aimed to primarily learn more about farmer's knowledge on these original local forage resources, to be able to target innovations better adapted to real farming situations. However, in order to improve the quality of argane press cake which is rich in protein, and to make it more appetizing by livestock, its detoxification is mandatory to supplement the results of this survey.

II. Article 2: The Impact of Optimizing the Detoxification of Argane (*Argania spinosa*) Press Cake on Nutritional Quality and Saponin Levels

L'impact de l'optimisation de la détoxification du tourteau de l'arganier (*Argania spinosa*) sur sa qualité nutritionnelle et sa teneur en saponine

Etat actuel de l'article : Cet article a été publié dans Iranian Journal of Applied Animal Science

1 Synthèse de l'article

L'utilisation de la méthode de surface de réponse (RSM) a permis la modélisation des conditions de détoxification du tourteau de l'arganier à l'aide d'un plan composite à face centrée. L'exploitation des résultats de la RSM est réalisée par des outils graphiques d'iso-réponse (2D) et de surface de réponse (3D). Ces outils permettent la détermination des conditions optimales pour chacun des traitements avec la réduction maximale prévue.

Dans la présente étude, la teneur initiale du tourteau de l'arganier non-détoxifié en saponine était de 4,56mg/g de matière sèche (MS). En fait, les saponines sont inoffensives à 1% et irritantes à 5%, à 1,5%, ceux-ci peuvent également endommager la muqueuse du tube digestif (Ndouyang *et al,* 2009b). De plus, les saponines peuvent réduire la digestibilité des protéines en formant des complexes saponine-protéine peu digestibles (Das *et al,* 2012).

Les résultats d'exploitation de la méthode de surface de réponse pour la macération du tourteau dans l'eau à température ambiante, présente un optimum de réduction des saponines de 2,90mg/g de MS, au bout de 1h avec un rapport liquide/solide de 1:5 à 1:10 (g/mL) en comparant avec le tourteau non-détoxifié (taux de saponine de 4,56mg/g de MS). La diminution de la teneur en saponine avec un volume d'eau croissant pourrait s'expliquer par le fait que les saponines sont solubles dans l'eau (Shi *et al,* 2009) et que ces derniers sont des molécules amphiphiles. De plus, la diminution des taux de saponine pendant le trempage peut être attribué à la dégradation des oligosaccharides, par un simple mécanisme de diffusion dans le milieu de trempage (Shimelis et Rakshit, 2007). Cependant, l'augmentation du temps de macération à 48 heures ne semble pas influencer la solubilisation des saponines. Ces résultats concordent avec ceux rapportés pour les graines de *Jatropha curcas* (Abou-Arab et Abu-Salem, 2010) et celles de *Tacca leontopetaloides* (Ndouyang *et al,* 2015).

La réduction du taux de saponine par macération dans une solution de bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$) était de 0,80mg/g de MS avec une concentration allant de 0,02% à 1,10%, pendant 24h dans un rapport de 1:20g/mL. Ce résultat est proche de celle obtenue par macération dans une solution d'acide citrique ($C_6H_8O_7$) qui est de l'ordre 0,50mg/g de MS à concentration de 2% pendant 24h dans un rapport de 1:20g/mL.

L'étude d'optimisation a montré une forte solubilisation des saponines dans le milieu acide (89%) et basique (82%) par rapport à l'eau (36%).Ces résultats s'accordent avec ceux publiés par Ndouyang *et al.*(2009a) qui a démontré que le pH de la solution a un effet significatif sur l'élimination des saponines à partir la plante *Tacca leontopetaloides*. Concernant l'ébullition du tourteau de l'arganier dans l'eau distillée les conditions suivantes : ratio de 1:12,5g/mL, température de 80°C et durée de 25min ont permis une réduction significative ($p < 0,01$) de saponine de 4,5mg/g à 0,4mg/g de MS. La présente étude a révélé l'effet positif de la température impliquant une diminution en saponine. Pour l'ébullition du tourteau dans la solution de $NaHCO_3$, un optimum de réduction de saponine (0,6mg/g de MS) a été obtenu à une concentration de 1,01% de $NaHCO_3$ avec un ratio allant de 1:6 à 1:20g/mL avec une température d'ébullition de 60°C pendant 25min. En outre, la réduction du taux de saponine du tourteau de l'arganier par ébullition dans le $NaHCO_3$ a été de 86% plus élevé que celui des graines de *Jatroph acurcas* (72,19%) détoxifiées par autoclave à 121°C avec 0,07% de $NaHCO_3$ pendant 25min (Abou-Arab et Abu-Salem, 2010). L'exploitation des outils de la RSM présente une réduction importante en saponine du tourteau à 0.2 mg/g de MS par ébullition dans l'acide citrique, dans les conditions suivantes : une proportion de 1 :12,5g/mL à concentration de 1,05%, pendant 25min à 100°C.

Cette étude, utilisant la méthodologie de la surface de réponse pour optimiser l'élimination des saponines du tourteau de l'arganier, a montré que les traitements thermiques avaient des effets plus prononcés sur la dégradation des saponines que ceux traités par macération. Les conditions optimales de chaque traitement de détoxification induisant la réduction maximale des saponines ont été choisies pour étudier leur impact sur la qualité nutritionnelle du tourteau de l'arganier.

Selon l'analyse de la composition chimique du tourteau brut (non-détoxifié) par les méthodes de l'AOAC (Association of Official Analytical Chemists) le taux de matière sèche est de 93% se rapproche des résultats publié par Charrouf et Pioch (2009) (91%) et par Mouhaddach *et al.* (2016) (90.4%). Concernant les tourteaux détoxifiés par trempage et par traitement thermique dans l'eau distillée, la solution de bicarbonate de sodium et d'acide citrique, le taux de matière sèche est de 89, 90 et 92% respectivement. Ces valeurs ne sont pas

significativement différentes de celle obtenue pour le tourteau non-détoxifié. Ces pourcentages en matière sèche élevés, faciliterait la conservation des tourteaux détoxifiés.

Les teneurs en protéines des différents tourteaux détoxifiés ne sont pas différentes et fluctuent entre 40 et 47% de MS. Par ailleurs, la teneur en protéine du tourteau non-détoxifié est de l'ordre de 48% de MS. Ces résultats sont identiques à ceux trouvés par Moutik *et al.* (2019) (47,1%), Mercha *et al.(*2019a) (43,1%) et par Charrouf et Pioch(2009) (48,4%). Cependant sont plus élevé que ceux rapporté par Maallah *et al.* (1995)(19 à 23%). De ce fait, le tourteau de l'arganier constitue une ressource protéique stratégique pour combler le déficit caractérisant les rations alimentaires du cheptel national.

Le taux de fibre des tourteaux détoxifiés par trempage dans l'eau distillée, la solution de bicarbonate de sodium et d'acide citrique a été respectivement de 16,6, 16,3 et 16,6% de MS, à l'instar du tourteau non-détoxifié qui a une teneure de 16,7% de MS proche de celle rapporté par Charrouf et Pioch (2009) (17,6%), par contre elle est faible en comparant avec celle publié par Mercha (2019a) (21,3%). Cependant, la détoxification du tourteau par le traitement thermique a diminué la teneur en fibres d'une manière significative ($p<0,05$) soit respectivement pour l'eau distillé, le bicarbonate de sodium et l'acide citrique, 13,6%, 12% et 12,2%. Quant à la teneur en matière grasse du tourteau de l'arganier non-détoxifié est de 23,4%. Cette teneur est plus élevée que ceux rapporté par Charrouf et Pioch (2009) et Moutik *el al*. (2019) 18,9% et 15,5% respectivement, par contre ces valeurs ont été faible que ceux trouvés par Mercha *et al.* (2019a) et Mouhaddach *et al.* (2016), 25,5 et 25,2%, respectivement. Cependant, le taux de matière grasse des tourteaux détoxifiés est différant du tourteau non-détoxifié (16,7 à 20,4%) dû au procédé technologique qui induirait une élimination des acides gras hydrosolubles.

Concernant la teneur en matière minérale du tourteau de l'arganier non-détoxifié, celle-ci a été de 4.7%, ce taux rejoint celui énoncé par Charrouf et Pioch (2009) (5,3%) mais pour les tourteaux détoxifiés ce taux est autre (2,8 à 3,5%). Cette teneur variable est une fonction qui est directement liée à la nature du procédé technologique employé.

Selon les résultats de cette étude, le tourteau de l'arganier offre des avantages agronomiques et nutritionnels importante. Toutefois, il est sous-exploité en raison de la présence des substances anti-nutritionnelles en particulier les saponines qui lui donnent un goût très amer. Le tourteau de l'arganier est prometteur sur le plan nutritionnel et sa détoxification par trempage et/ou par ébullition réduisant sa teneur en saponine et par conséquent devient plus appétissant par le cheptel. De ce fait, le tourteau constitue un choix stratégique pour pallier les handicaps nutritionnels et économiques des ruminants au Maroc.

Pour cela l'étude de l'effet l'incorporation des deux variétés du tourteau de l'arganier (amer et détoxifié) dans des rations alimentaires des chèvres sur la production laitière, la qualité compositionnel du lait et du fromage produit est indispensable.

IJAS Iranian Journal of Applied Animal Science

The Impact of Optimizing the Detoxification of Argane (*Argania spinosa*) Press Cake on Nutritional Quality and Saponin Levels

Research Article

N. Lakram[1,2*], Y. En-Nahli[2,3], F.Z. Zouhair[2,4], S. Moutik[2,3], R. Kabbour[2], E.H. El Maadoudi[2], M. Bendaou[2], A. El Housni[2] and M. Naciri[1]

[1] Research Center Biotechnology Vegetal and Microbial, Biodiversity and Environment, Laboratory of Biodiversity, Ecology and Genome, Faculty of Science, University Mohammed V of Rabat, Rabat, Morocco
[2] National Institute of Agronomic Research, Rabat, Morocco
[3] Physico Chemistry Laboratory for Inorganic and Organic Materials, Superior Normal School, University Mohammed V, Rabat, Morocco
[4] Laboratory of Agroresources and Process Engineering, Faculty of Science, University Ibn Tofail, Kenitra, Morocco

Received on: 1 Oct 2018
Revised on: 26 Nov 2018
Accepted on: 15 Dec 2018
Online Published on: Jun 2019

*Correspondence E-mail: nazha.lakram@gmail.com
© 2010 Copyright by Islamic Azad University, Rasht Branch, Rasht, Iran
Online version is available on: www.ijas.ir

Abstract

The use of *Argania spinosa* press cake for livestock feed is limited due to the presence of saponins, which give it a very bitter flavor and make it unpalatable to livestock. The present study aims to evaluate whether a detoxification method reduces saponin levels of press cake and how that affects its nutrient contents. The response surface methodology was used in this study involved grinding the Argane press cake and subjecting it to soaking and boiling in three media: distilled water, sodium bicarbonate solution at different concentrations (0.02, 1.01, and 2%), and citric acid solution at various concentration (0.10, 1.05, and 2%); the respective ratios of Argane press cake to the soaking and boiling media were fixed at 1:5, 1:12.5 and 1:20 (w/v, g/ml); the respective soaking times chosen were 1, 24, and 48h; the boiling temperatures selected were 40, 80, and 120°C, respectively; and the boiling times were, respectively, 10, 25, and 40 min. Experiments showed that soaking in acidic and alkaline media more effectively reduced saponin with averages 93% and 86% respectively, than soaking in distilled water (36%), while we observed significant average reductions amongst boiling solutions. The nutritional contents of Argane press cake treated by different treatments decreased slightly than untreated; the crude protein of Argane press cake non-detoxified was 48% compared to the detoxified that ranged between 40 to 47%. Therefore, decreasing the levels of saponins will make Argane press cake more appetizing for livestock and might ameliorate protein malnutrition, a major animal feed problem in Morocco.

Keywords: Argane press cake; detoxification method; distilled water; citric acid; saponins; sodium bicarbonate.

Introduction

In Morocco, ruminant livestock is considered a major socioeconomic sector, mostly in rural economic activities (Purser, 1981; Nardone *et al,* 2004). However, due to irregular climatic conditions, ruminants in Morocco's arid and semi arid areas suffer from acute feed problems (Bendaou and Ait Omar, 2013). The major feed problems of ruminant livestock include unbalanced animal feeds as well as the high cost and unavailability of the conventional protein resources (El Maadoudi and El Housni, 2013a; Mouhaddach *et al,* 2016). For these reasons, there is great interest in finding and improving alternative feed resources to ensure the economic viability of livestock production. Moreover, Morocco has available a wide range of agricultural and agro-industrial by-products in considerable quantities, but they are underexploited (Susmel, 2001). Among unconventional feed resources, the Argane tree (*Argania spinosa*) offers important by-products and is one of the few alternative resources for animal feed (Bendaou *et al,* 2011), its leaves are used as hanging forage for goats and sheep, and the pulp of its fruit is consumed fresh or after drying, and this forage is completed by using the energetic leftovers (i.e., press-cake) obtained after Argane oil preparation (Ouammou, 2012).

Argane press cake (APC), the by-product remaining after extraction of Argane oil (Charrouf and Guillaume, 2002), was exclusively recycled as livestock feed (Charrouf, 1998). The average amount of argane press cake produced during the Argane oil production process was 2% (Zouhair *et al,* 2018). Its chemical composition attests to APC as an excellent nutrient source of crude protein (41.02%) (Igmoullan, 1999), fiber (17.6%), carbohydrates (9%) and crude lipids (18.9%) (Charrouf and Guillaume, 1999). Therefore, APC could be a strategic resource to fill the gap in the feed rations of Moroccan livestock (El Maadoudi and El Housni, 2013b). However, its use has been limited, largely due to the presence of some antinutritional compounds, including saponins (4%) (Charrouf *et al,* 1992), which give it a very bitter or astringent flavor (Tarade *et al,* 2006). That makes the APC unpalatable to the livestock and impairs both their digestion of protein and uptake of vitamins and minerals during the intestinal transit **(**Francis *et al,* 2002). In addition, high doses of saponins alter the quality of the goats' milk, giving it an unpleasant taste and leading to severe diarrhea in young ruminants (El Hadi, 2012).

To improve the quality of APC, which is rich in protein, and to make it more appetizing for goat livestock, it must be detoxified to decrease or remove antinutritional factors such as saponins. The methods employed in this work were soaking and boiling in different media

(neutral, acid, basic pH) to evaluate the solubilization of the saponins in distilled water, sodium bicarbonate ($NaHCO_3$) and citric acid ($C_6H_8O_7$) to choose the optimum conditions.

Information on the nutritional quality and antinutritional factors of APC is available. However, information regarding the effect of processing methods on the antinutritional factors and development the quality of APC appears to be lacking. No work has yet been done on the effect of APC on saponin levels. Therefore, the present study use the response surface methodology to evaluate the optimal processing method for reducing saponins in APC and to assess their impact on the nutrient contents of detoxified APC.

Materials and Methods

Argane press cake

APC collected from the Essaouira region (Southwestern Morocco) were ground to pass a 1 mm sieve screen using a laboratory mill MF 10 basic IKA WERKE, stored in airtight plastic containers, and kept in a refrigerator at 4°C before applying various treatments.

Processing methods

The processing methods used to optimize the reduction or elimination of APC saponin content were soaking and boiling separately. In the soaking process, different APC samples were soaked in three separated media: distilled water, citric acid, and sodium bicarbonate solutions, using different concentrations, volumes, and soaking times. The boiling process was used different boiling media at different concentrations, volumes, and boiling times to reduce APC saponins. The initial saponin content in untreated APC was used as a control to compare with the treated samples. The experiments were studied following the central composite design (CCD) (Prakash Maran *et al*, 2016).

Soaking treatment

In the first treatment, APC were soaked in distilled water at different press cake-to-water ratios (1:5, 1:12.5 and 1:20; w/v, g/ml) with different soaking times (1, 24 and 48 hours) at room temperature. Noted that the ratios of the press cake to soaking water were chosen to cover completely the press cake by water therefore to avoid the possible problem of germination caused by the soaking water. Following CCD, 12 points were obtained within the experimental domain of soaking in distilled water (Table 1). Afterward, the water was removed completely by filtration, and the press cakes were dried at 40°C in a hot air oven.

In the second treatment, one gram of APC was treated with different concentrations of sodium bicarbonate solution (0.02, 1.01, and 2%) at different volumes (5, 12.5, and 20 ml) and for different time periods (1 to 48 hours) at room temperature (Table 2). The residuals

were then rinsed with distilled water to remove bitterness, and the samples were dried in a hot air oven at 40°C.

Table1. Central Composite design to optimize the conditions of the detoxification of argane press cake by soaking in cold distilled water

Exp N°	Volume (ml)	Time (h)
1	5.00	1
2	5.00	48
3	20.0	1
4	20.00	48
5	12.50	1
6	12.50	48
7	5.00	24
8	20.00	24
9	12.50	24
10	12.50	24
11	12.50	24
12	12.50	24

A randomized, two-factor, three-level Central Composite design was carried out with three replicates of each point.

In the third treatment, the APC were treated with different concentrations of citric acid solution (0.10, 1.05, 2%) at different ratios 1:5, 1:12.5 and 1:20 (w/v; g/ml) and over times ranging from 1 to 48 hours at room temperature (Table 2). After soaking, the residues were rinsed with distilled water to remove the saponins, which combined with citric acid, then dried by hot air oven at 40°C.

All samples were stored in airtight plastic containers at room temperature while awaiting further analyses.

Table2. Central composite design to optimize the conditions of the detoxification of argane press cake by soaking in sodium bicarbonate and citric acid solutions

Exp N°	Concentration of $NaHCO_3$(%)	Concentration of $C_6H_8O_7$ (%)	Volume (ml)	Time (h)
1	0.02	0.10	5.00	24
2	0.02	0.10	20.00	24
3	2.00	2.00	5.00	24
4	2.00	2.00	20.00	24
5	1.01	1.05	5.00	1
6	1.01	1.05	20.00	1
7	1.01	1.05	5.00	48
8	1.01	1.05	20.00	48
9	0.02	0.10	12.50	1
10	2.00	2.00	12.50	1
11	0.02	0.10	12.50	48
12	2.00	2.00	12.50	48
13	1.01	1.05	12.50	24
14	1.01	1.05	12.50	24
15	1.01	1.05	12.50	24
16	1.01	1.05	12.50	24

A randomized, three-factor, three-level Central Composite design was carried out with three replicates of each point.

Heat treatment

Three boiling media; distilled water, sodium bicarbonate solution (0.02, 1.01, and 2%), and citric acid solution (0.10, 1.05, 2%) were chosen for evaluation using reflux mounting, to determine how well different boiling media worked to eliminate the antinutrient saponin contents of APC under different boiling temperatures and for various lengths of time.

The ratios of APC to boiling media were fixed at 1:5, 1:12.5 and 1:20 (w/v); the boiling temperatures selected were (40, 80, and 120°C); and the boiling times used were 10, 25 and 40 minutes (Tables 3 and 4). The boiling media were removed by filtration, and then the residual press cakes were rinsed with distilled water and dried at 40°C in a hot air oven. The powdered samples were stored in airtight plastic containers at 25°C until further use.

Table3. Central composite design to optimize the conditions of the detoxification of argane press cake by boiling in distilled water

Exp N°	Volume (ml)	Temperature (°C)	Time (min)
1	5.00	40.00	25.00
2	20.00	40.00	25.00
3	5.00	120.00	25.00
4	20.00	120.00	25.00
5	5.00	80.00	10.00
6	20.00	80.00	10.00
7	5.00	80.00	40.00
8	20.00	80.00	40.00
9	12.50	40.00	10.00
10	12.50	120.00	10.00
11	12.50	40.00	40.00
12	12.50	120.00	40.00
13	12.50	80.00	25.00
14	12.50	80.00	25.00
15	12.50	80.00	25.00
16	12.50	80.00	25.00

A randomized, three-factor, three-level Central Composite design was carried out with three replicates of each point.

Table4. Central composite design, to optimize the conditions of the detoxification of argane press cake by boiling in sodium bicarbonate and citric acid solutions

Exp N°	Volume (ml)	Concentration of $NaHCO_3$ (%)	Concentration of $C_6H_8O_7$ (%)	Temperatures (°C)	Times (min)
1	5.00	0.02	0.10	40.00	10.00
2	20.00	0.02	2.00	40.00	10.00
3	5.00	2.00	0.10	40.00	10.00
4	20.00	2.00	2.00	40.00	10.00
5	5.00	0.02	0.10	120.00	10.00
6	20.00	0.02	2.00	120.00	10.00
7	5.00	2.00	0.10	120.00	10.00
8	20.00	2.00	2.00	120.00	10.00
9	5.00	0.02	0.10	40.00	40.00
10	20.00	0.02	2.00	40.00	40.00
11	5.00	2.00	0.10	40.00	40.00
12	20.00	2.00	2.00	40.00	40.00
13	5.00	0.02	0.10	120.00	40.00
14	20.00	0.02	2.00	120.00	40.00
15	5.00	2.00	0.10	120.00	40.00
16	20.00	2.00	2.00	120.00	40.00
17	5.00	1.01	0.10	80.00	25.00
18	20.00	1.01	2.00	80.00	25.00
19	12.50	0.02	1.05	80.00	25.00
20	12.50	2.00	1.05	80.00	25.00
21	12.50	1.01	1.05	40.00	25.00
22	12.50	1.01	1.05	120.00	25.00
23	12.50	1.01	1.05	80.00	10.00
24	12.50	1.01	1.05	80.00	40.00
25	12.50	1.01	1.05	80.00	25.00
26	12.50	1.01	1.05	80.00	25.00
27	12.50	1.01	1.05	80.00	25.00

A randomized, four-factor, three-level Central Composite design was carried out with three replicates of each point.

Determination of saponins from APC

Extraction of saponins

Saponin extraction was done according to the method of Charrouf (1991) with slight modification. Essentially, 1g of milled APC was extracted with 20 ml of 80% aqueous ethanol and shaken on a rocker arm for 24 hours at room temperature, followed by centrifugation at 3000 rpm for 10 minutes. Then the supernatant was collected and filtered. Afterwards, the ethanol was evaporated to dryness. The residual was dissolved in a minimum of distilled water. It was then transferred into a 250 ml separator funnel for decantation and, after adding 20 ml of diethyl ether, it was shaken vigorously. The aqueous layer was recovered, while the ether layer was discarded (twice). The sample was reextracted with 15 mL of n-Butanol (twice).Then the solvent was removed by rotary evaporation at 40°C. Finally, the dry residue constituting a mixture of saponins was recovered in MeOH–water (80/20, v/v).

Standard curve for saponins

The total saponin contents of APC were estimated by the method of Hiai *et al.(*1976), expressed as diosgenin equivalents. The test was performed in triplicate, and the standard curve was (Figure 1) obtained with the regression equation y= 3.389x-0.020 (R^2 = 0.99).

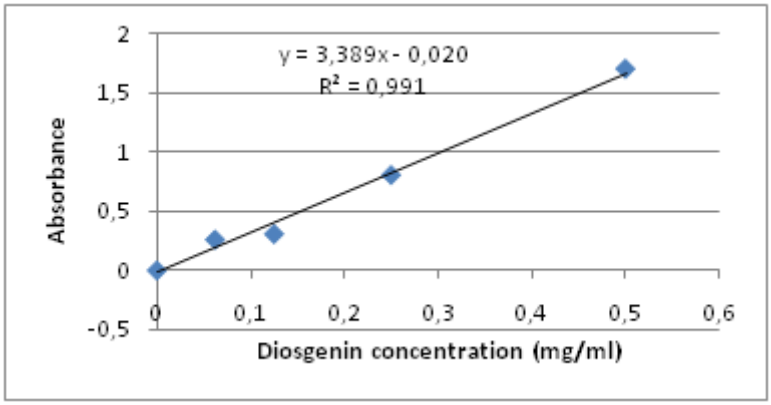


Figure 1: Calibration curve of standard diosgenin for determination of saponins content

Determination of nutritional composition of APC

The methods recommended by the Association of Official Analytical Chemicals (AOAC, 2000) were used to determine dry matter, ash, crude protein, crude fat and crude fiber.

Statistical analysis

The optimization of the detoxification of APC was carried out using the statistics of the response surface methodology, such as analysis of variance and polynomial modeling using the NEMRODW software (2006). The effect of detoxification on the nutrient composition of APC was determined by ANOVA using the Statistical Analysis System software (2006). Results are shown as mean ± standard deviation, and differences among means were evaluated using Duncan's new multiple range test. The significance level was set at below 0.05.

Results and discussion

Saponins are glycosidic compounds consisting of a steroid (C27) or triterpenoid (C30) aglycon 'sapogenin' bonded to one or more carbohydrates (Schwarz, 1993). APC is known for containing triterpenoid sapogenins(Guillaume and Charrouf, 2005). In the present study, the initial saponin contents of the untreated APC was 4.56 mg/g of DM. In fact, saponins are harmless at 1% and irritating at 5% (Fenwick and Oakenfull, 1983); at 1.5%, these may also damage the mucosa of the digestive tract (Ndouyang *et al,* 2009a). Moreover, saponins can reduce protein digestibility by forming sparingly digestible saponin-protein complexes (Potter *et al,* 1993).

Soaking treatment

The three-dimensional response surface and contour plots obtained in the composite central design (shown in Figure 2) were applied to visualize the influence of process variables

on the response. These have proven very helpful for assessing the relationship between independent variables and the response.

The optimum conditions for reducing the saponins proved to be the ratio of raw material to water ranging from 1:5 to 1:10 g/ml and soaking times ranging from 1 to 2 hours at room temperature. Under these conditions, the saponin levels in the soaked APC reduced significantly ($p < 0.01$) to 2.90 mg/g of DM as compared to untreated APC (4.56 mg/g of DM). Therefore, the decreased saponin content with an increasing volume of water could be explained by the saponins being water soluble (Shi *et al*, 2009) and being amphiphilic molecules. Furthermore, the decrease in saponin levels during soaking may be attributed to the breakdown of oligosaccharides, by a simple diffusion mechanism into the soaking medium (Shimelis and Rakshit, 2007). However, increasing soaking times to 48hours did not appear to influence saponin leaching. These results agree with those reported for Jatropha curcas seeds (Abou-Arab and Abu-Salem, 2010) and Tacca leontopetaloides (Ndouyang *et al*, 2015).

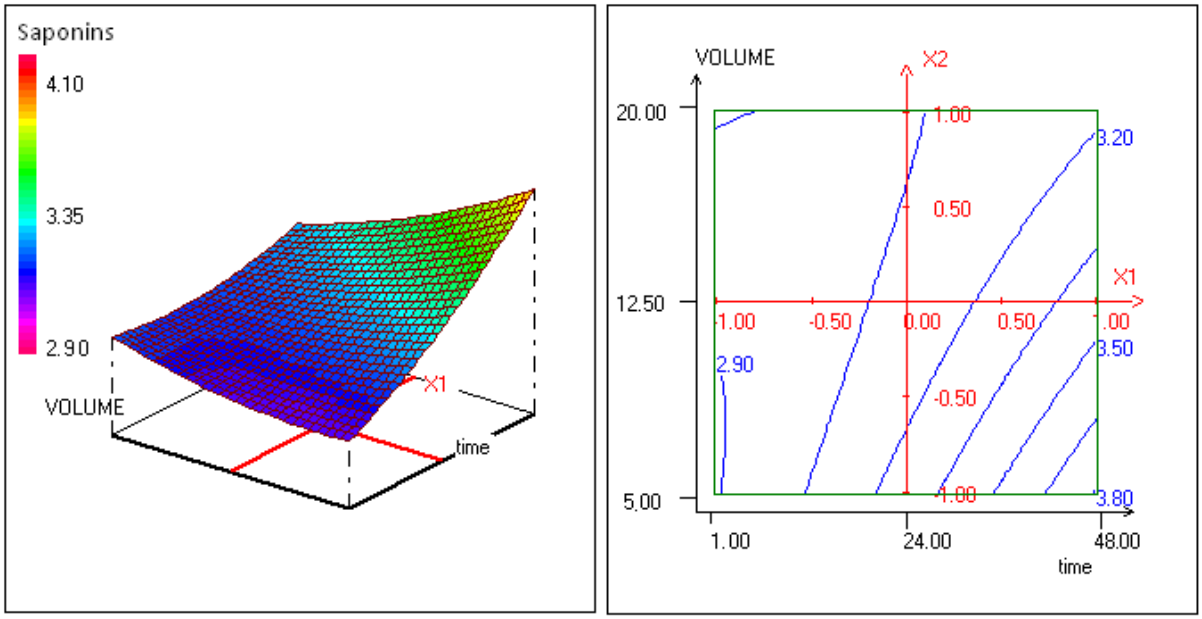


Figure 2: Response surface and contour plots showing the effect of soaking in distilled water on the levels of saponins of Argane press cake.

Optimizing the effect of soaking in sodium bicarbonate solution on APC saponin levels is shown in Figure 3. The loss of saponins increased (0.80 mg/g of DM against 4.56 mg/g of DM for the control untreated) under the influence of the concentration gradient from 0.02% to 1.10% for 12 to 24 hours at ratios 1:5 to 1:20 g/ml at room temperature. The decrease in saponin levels during soaking in sodium bicarbonate solution may be due to solubilisation of

those compounds in alkaline solution (Ndouyang *et al*, 2015). Soaking in sodium bicarbonate solution was significant ($p < 0.01$) to the elimination of APC saponins.

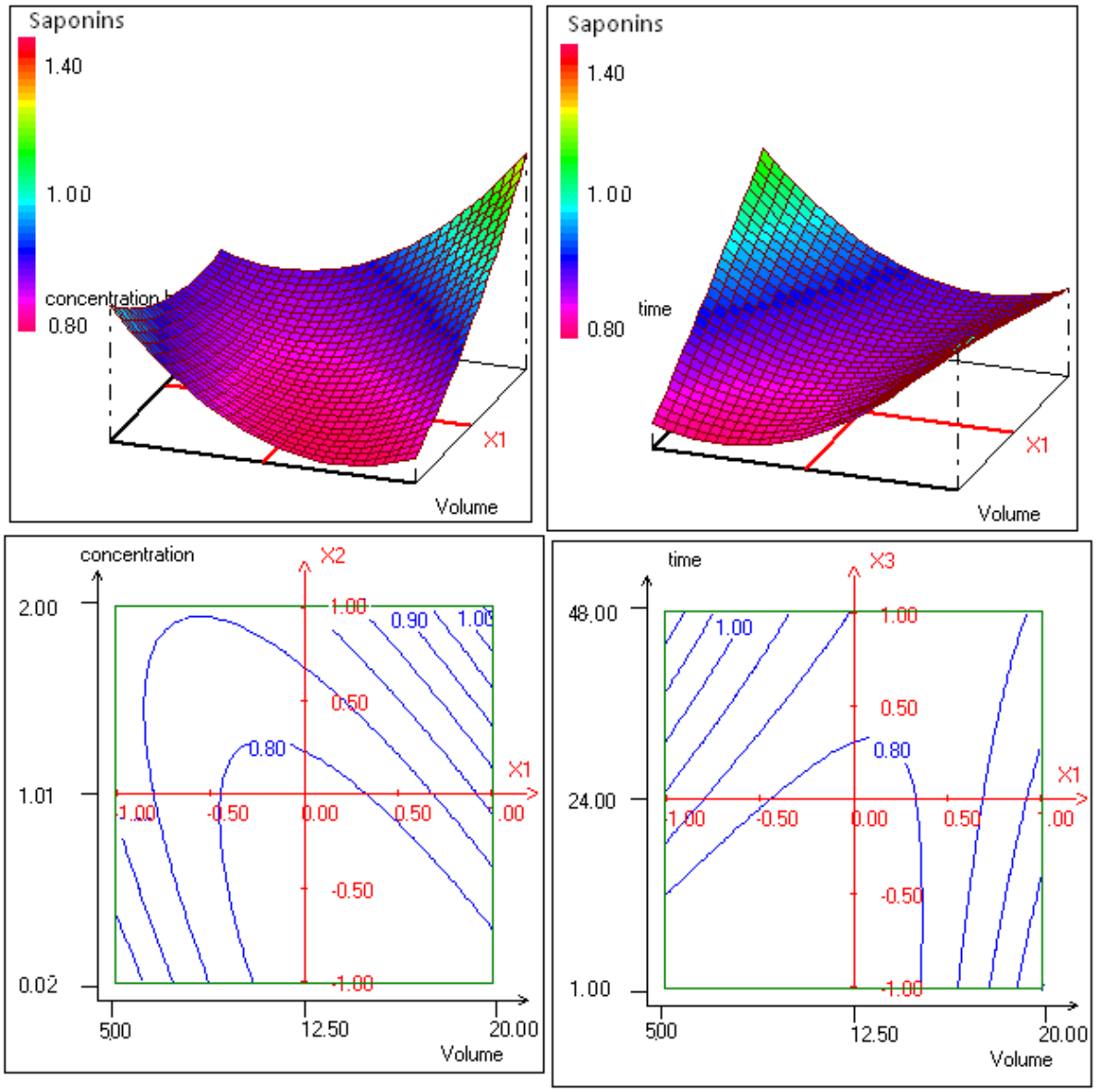


Figure 3: Response surface and contour plots showing the effect of process variables on the levels of saponins from Argane press cake.

The effects of soaking in citric acid solution on APC saponin levels are presented in Figure 4. The optimum conditions for decreasing saponin content occurred when APC were soaked in 2% citric acid for 24 hours at a ratio of 1:20 g/ml. APC saponin levels decreased significantly ($p < 0.01$) after treatment from 4.56 mg/g of DM to 0.50 mg/g of DM. Greater solubilisation of saponins occurred in acidic (89%) and basic (82%) media than in water (36%). This result is similar to the findings of Ndouyang *et al.* (2009b) using the plant *Tacca leontopetaloides*. The degradation of saponin in citric acid did follow the second order

polynomial with a correlation coefficient (R^2 = 0.920). The polynomial model derived from the data obtained using the central composite design for total saponin content is presented in equation (1):

Saponin content (mg/g of DM) = 0.697 - 0.107 * X_1 + 0.110 * X_2 + 0.112 * X_3 - 0.105 * (X_1*X_1) – 0.131 * (X_2*X_2) + 0.035 * (X_3*X_3) – 0.012* (X_1*X_2) – 0.201 * (X_1*X_3) + 0.128 * (X_2*X_3), where X_1, X_2, and X_3 are,respectively, volume, concentration, and time of soaking.

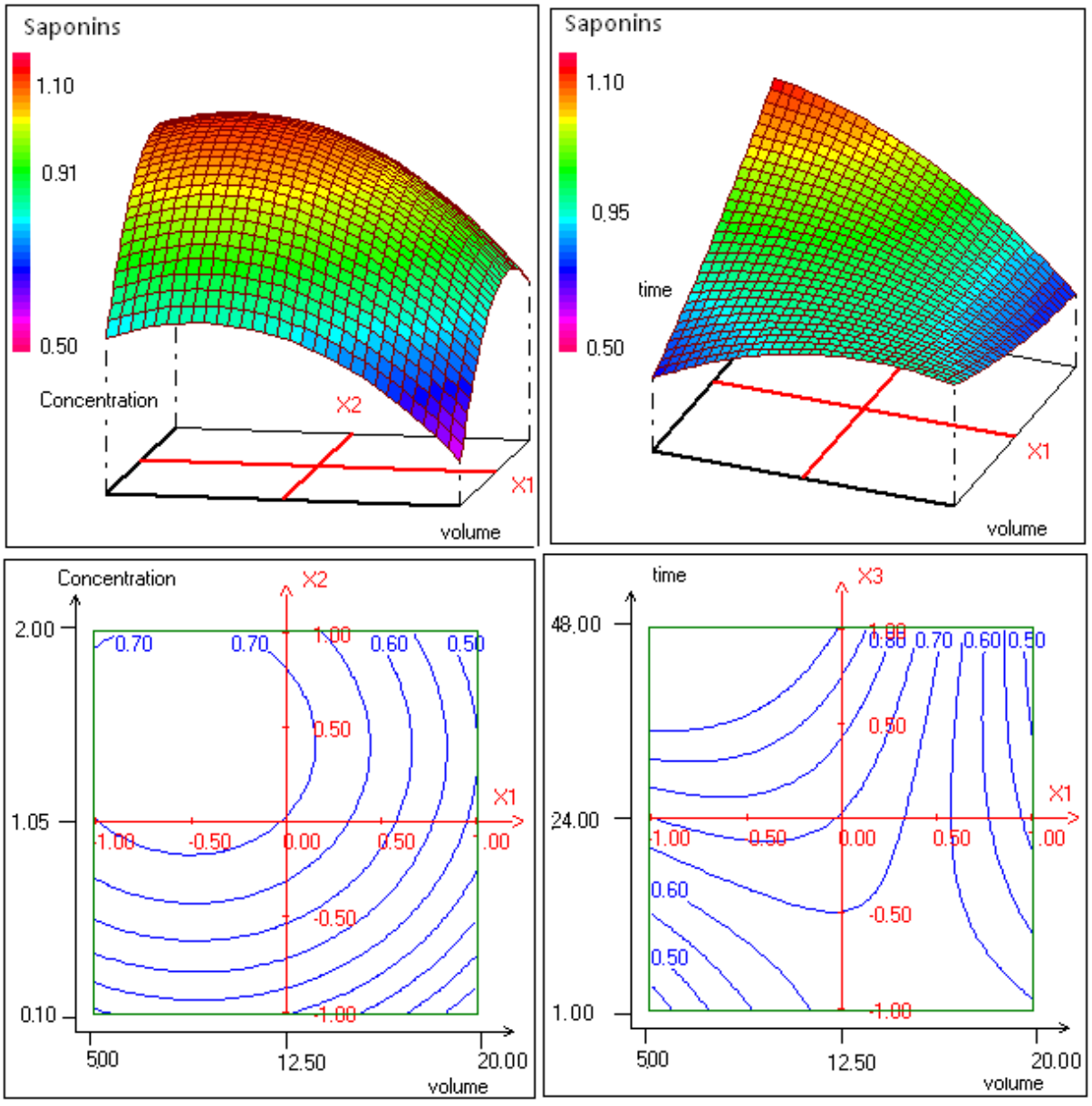


Figure 4: Response surface and contour plots showing the effect of soaking in citric acid on the levels of saponins from Argane press cake.

Heat treatment

The results showing how boiling in distilled water affects APC saponin levels are shown in Figure 5. Boiling the APC in distilled water at ratio of 1:12.5 g/ml for 25 minutes at 80°C significantly ($p < 0.01$) reduce the saponin content from 4.56 mg/g of DM to 0.4 mg/g of DM. The data from the present study revealed that boiling in distilled water is more effective (91%) than soaking in cooled water (36%) for decreasing saponin levels. These results agree with those for *Tacca leontopetaloides* (Ndouyang *et al*, 2015).

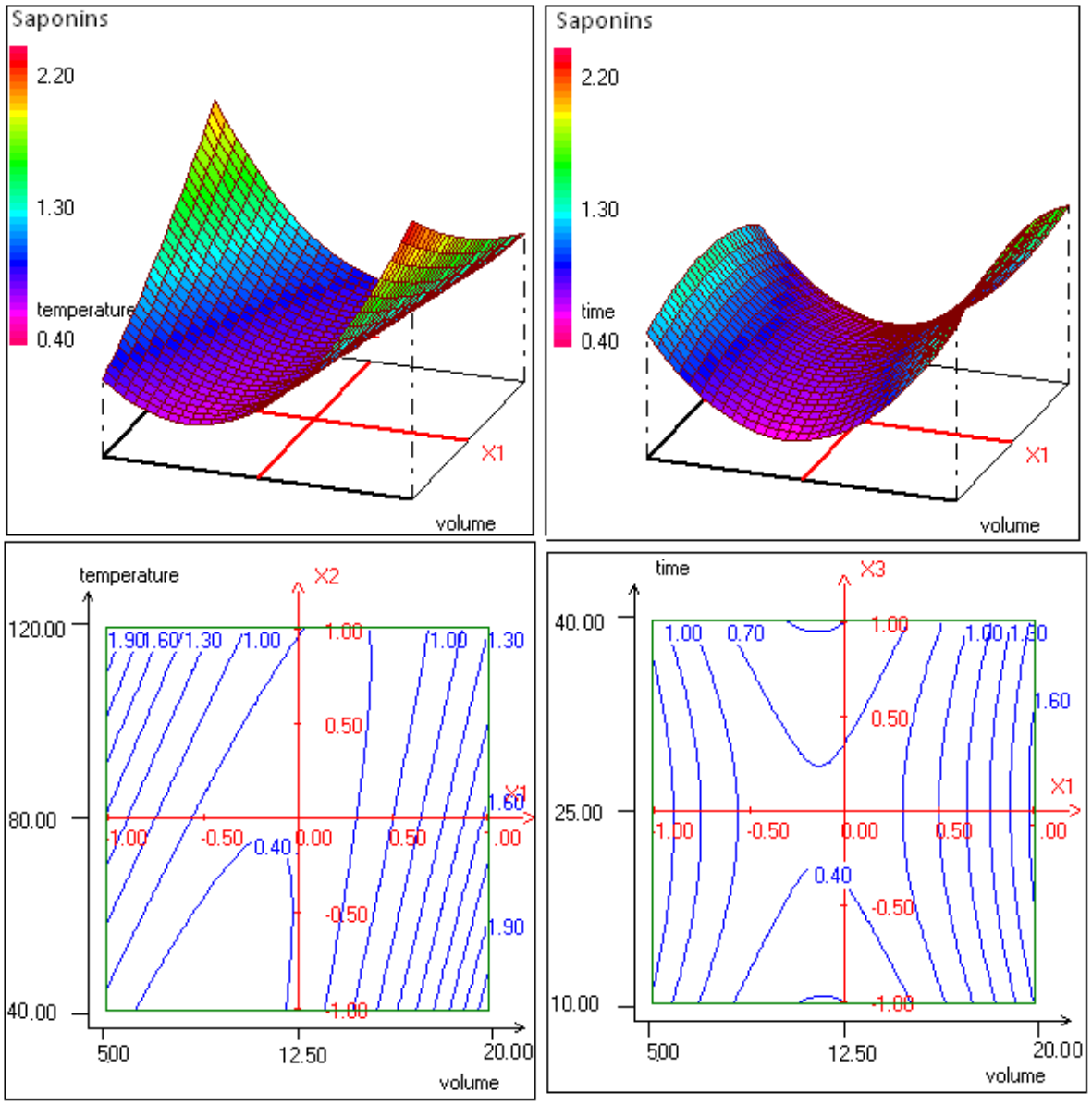


Figure 5: Response surface and contour plots showing the effect of boiling in distilled water on level of saponins from Argane press cake.

According to Figure 6, the optimal conditions for boiling APC in the sodium bicarbonate solution were as follows: a 1.01% concentration of sodium bicarbonate solution, a boiling time of 25 minutes, an APC to sodium bicarbonate solution ratio ranging from 1:6 to 1:20 g/ml, and a boiling temperature at 60°C. Under these optimum conditions, the level of saponins was reduced to 0.6mg/g of DM. The loss in APC saponins (86%) during boiling was higher than soaked whole and kernel of *Jatroph acurcas* seeds in 0.07% sodium bicarbonate (2%) followed by autoclaving at 121°C for 25 minutes (Abou-Arab and Abu-Salem, 2010). That might be due to the concentration of sodium bicarbonate solution used by Abou-Arab and Abu-Salem (2010), or to the high energy level producedd by the combination of high temperature and high pressure in the autoclave.

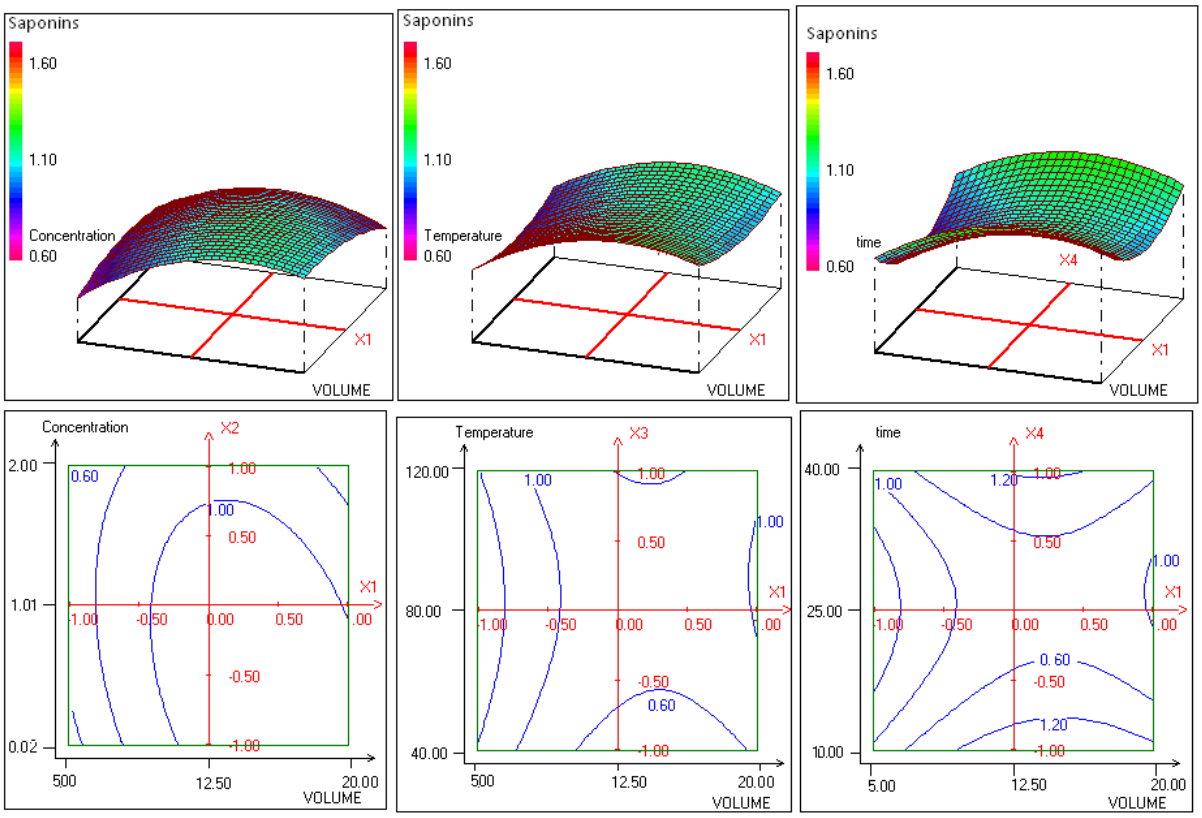


Figure 6: Response surface and contour plots showing the effect of boiling in sodium bicarbonate on level of saponins of Argane press cake.

The optimization of boiling APC in the citric acid solution (Figure 7) showed that using a 1.05% concentration of citric acid at a ratio of up to 1:12.5 g/ml and boiling for 25 minutes at 100°C significantly reduced saponin levels. The lowest saponin content during boiling in citric acid solution was 0.2 mg/g of DM. Boiling in citric acid reduced saponins by up to 95%. The polynomial model from the data obtained in the central composite design for total saponin levels is presented in equation (2):

Saponin content (mg/g of DM) = 0.654 + 0.009 * X_1- 0.061 * X_2 - 0.418* X_3 + 0.086 * X_4+ 0.272 * (X_1*X_1) + 0.167 * (X_2*X_2) + 0.057 * (X_3*X_3) + 0.187* (X_4*X_4) + 0.290 * (X_1*X_2) - 0.203 *(X_1*X_3) - 0.051* (X_2*X_3) - 0.079 * (X_1*X_4) + 0.175 * (X_2*X_4) - 0.120* (X_3*X_4), where X_1, X_2, X_3, and X_4 are, respectively,concentration, volume, temperature and time of boiling.

The degradation of saponins under different boiling conditions followed the second order polynomial with a correlation coefficient (R^2 = 0.96) for boiling in citric acid; the correlation coefficients for boiling in distilled water and sodium bicarbonate were 0.71 and 0.80, respectively.

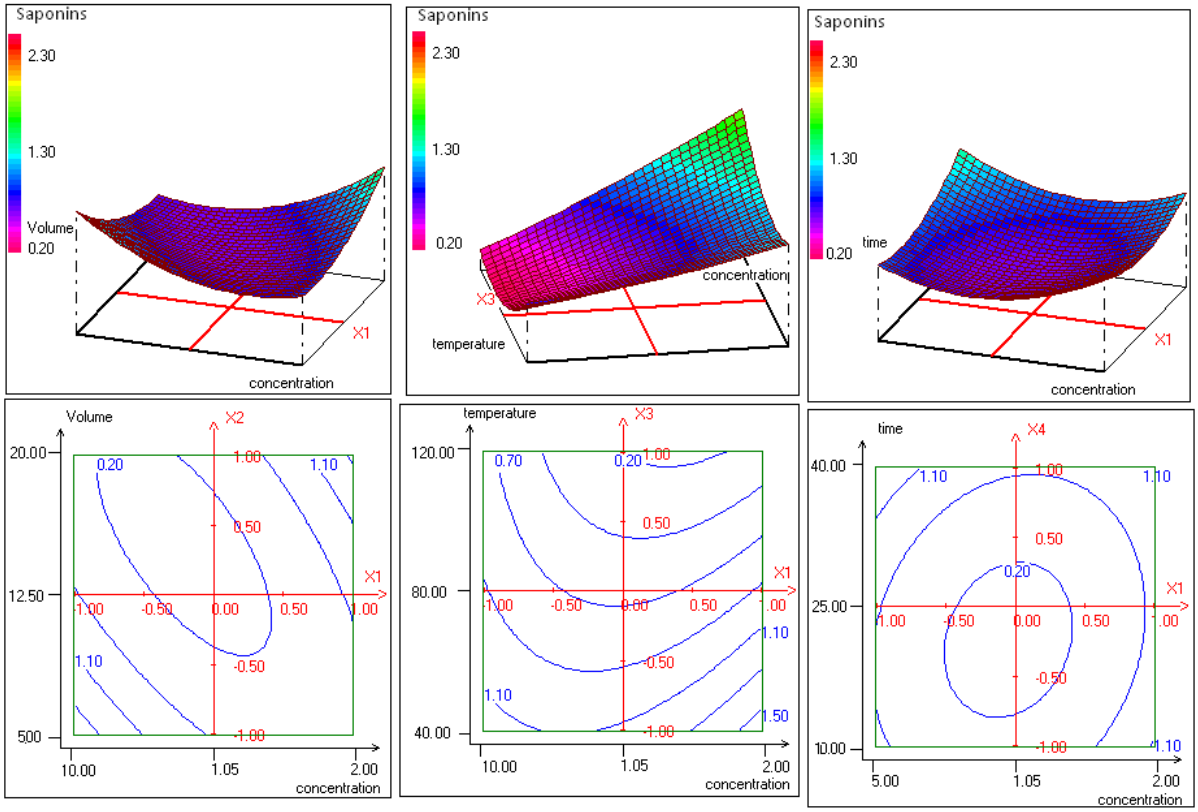


Figure 7: Response surface and contour plots showing the effect of boiling in citric acid on level of saponins of Argane press cake.

This study, using the response surface methodology to optimize the elimination of saponins from APC, showed that the thermal treatments had more pronounced effects on saponin degradation than the soaking treatments.

Effect of different treatment on nutritional composition of APC

The optimal conditions for each treatment to induce the maximum reduction of the saponin content were chosen to study their impact on APC nutritional quality. The compositions of APC, untreated and treated by soaking as well as by boiling, are presented in Table 5. The data indicate that untreated APC contains 93% dry matter, 48% protein, 4.75%

ash, 17.72% fiber, and 23.45% fat. However, Charrouf and Pioch (2009) reported that the APC contains dry matter, protein, ash, fiber and fat at levels equal to 91, 48.4, 5.3, 17.6, and 18.9%, respectively. On the other hand, Maallah *et al.*(1995) reported a lower value of protein (19 to 23%) and higher value of fat (18 to 28%).

Regarding the APC treated by soaking in distilled water, sodium bicarbonate solution, and citric acid, the data show that it contained, respectively, 89, 90, and 92% dry matter values very similar to those obtained during heat treatment (Table 5).These experimental results showed significant difference between the detoxified meal and the non detoxified meal in terms of dry matter. The method used for detoxification, i.e., soaking only, increased APC moisture content.

The protein content of APC soaked in distilled water, sodium bicarbonate, and citric acid were 47.90, 40.94, and 47.8%, respectively again, values very similar to those obtained during boiling treatment (Table 5).Compared to the protein content of untreated APC (48%), a slight reduction in protein content was observed during the soaking and boiling of the APC in distilled water and in citric acid. Larger decreases in protein were found only when the APC was detoxified by soaking or boiling in sodium bicarbonate (40.94 and 40.38%, respectively). This difference might be due to the solubility of the protein in water and/or its denaturation by temperature(Gabrial *et al*, 1981).

Soaking changed the ash content significantly from 4.75% in untreated APC to 3.02, 3.50, and 2.79% in APC soaked in distilled water, sodium bicarbonate, and in citric acid, respectively. In addition, the values obtained when APC was subjected to the thermal process (3.10, 3.23, and 2.80%) were lower than those obtained in the untreated sample (Table 5). Both processes, soaking or boiling, had almost the same effect, and both differed from the untreated sample.

The fiber content of untreated APC (16.72%) was not significantly changed by the soaking treatment in distilled water, sodium bicarbonate, and in citric acid, which reduced fiber levels to 16.66, 16.33, and 16.67%, respectively. However, boiling APC significantly ($p < 0.05$) decreased fiber content during treatment (Table 5), dropping in distilled water to 13.65%, in sodium bicarbonate to 12%,and in citric acid to 12.27% .

The fat content decreased from 23.45% in untreated APC to 20.46, 19.83, and 17.33% from soaking APC in distilled water, sodium bicarbonate, and in citric acid, respectively. Boiling decreased APC fat content further to 17.05, 17.46, and 16.73% in distilled water, sodium bicarbonate, and citric acid, respectively.

Table5. The nutritional composition of APC treated by different methods and untreated ones

Nutrients (%)	Argane press cake untreated	Argane press cake treated					
		Soaking treatment			Boiling treatment		
		Distilled water	$NaHCO_3$	$C_6H_8O_7$	Distilled water	$NaHCO_3$	$C_6H_8O_7$
Dray matter	93.02±0.01[a]	89.46±0.04[b]	90.42±0.02[b]	92.39±0.09[a]	89.14±0.32[b]	90.98±0.08[b]	93.77±0.13[a]
Crude Protein	48±0.28[a]	47.90±0.02[a]	40.94±0.08[c]	47.80±0.16[a]	47.43±0.11[b]	40.38±0.09[c]	47±0.09[b]
Ash	4.75±0.03[a]	3.02±0.02[b]	3.50±0.02[b]	2.79±0.06[b]	3.10±0.02[b]	3.23±0.01[b]	2.80±0.02[b]
Crude Fiber	16.72±0.00[a]	16.66±0.02[a]	16.33±0.02[a]	16.67±0.03[a]	13.65±0.05[b]	12±0.06[c]	12.27±0.06[c]
Fat	23.45±0.06[a]	20.46±0.09[b]	19.83±0.05[b]	17.33±0.02[c]	17.05±0.01[c]	17.46±0.04[c]	16.73±0.04[c]

[abc] Different letters for the Argane press cake (treated and untreated) in the same parameter indicate significant difference($p < 0.05$). Each reading is mean± SD (standard deviation) of triplicate analysis.

Conclusion

APC are an interesting source of protein and fiber and contains appreciable amounts of antinutrients, especially saponins. Though currently underutilized, APC are nutritionally promising and detoxifying it by soaking and/or by boiling in solution reduces their saponin levels to more than half. Despite the slight reduction of protein level due to the detoxification method; this process improves protein digestibility of argane press cake by making APC more appetizing for livestock, valorize it as livestock feed, and ameliorate protein malnutrition, which is a major animal feed problem in Morocco.

III. Article 3: Effects of the inclusion of the detoxified argane press cake in the diet of dairy goats on milk production and milk quality

Effets de l'inclusion du tourteau de l'arganier détoxifié dans l'alimentation des chèvres Alpines sur la production et la qualité du lait

Etat de l'article : Cet article a été publié dans Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences

1 Synthèse de l'article

Au Maroc, le système d'élevage traditionnel basé essentiellement sur l'apport des parcours a été changé vers un système basé sur la supplémentation en concentrés (les grains de céréales), à cause de l'usage excessif des espaces pastoraux ainsi que les conditions climatiques irrégulières (succession des années de sécheresse). L'une des solutions pour cette situation est l'inclusion des sous-produits agricoles et agro-industriels dans l'alimentation animale comme aliments alternatifs, sans affecter les performances de production. Cependant, ces ressources alimentaires sont moins utilisées dans les élevages en raison de leurs teneurs en substances antinutritionnels en particulier les saponines. Par ailleurs, plusieurs travaux de recherche rapportent que les saponines affaiblissent la productivité des animaux quand ils sont présents en grande quantité dans l'alimentation. En revanche, Wang *et al.* (2017) ont rapporté que l'inclusion des saponines dans les rations des vaches laitières, améliorant le profil des acides gras, par l'augmentation des acides gras insaturés et la diminution des acides gras saturés. Toutefois, les études montrant l'effet des saponines sur la productivité et la qualité du lait de chèvre sont indisponibles. De ce fait, le présent travail se propose de comparer l'effet de l'incorporation du tourteau de l'arganier avec et sans saponine dans les rations sur les performances de production et la qualité nutritionnelle du lait de chèvre.

La lactation est un processus physiologique nécessitant une augmentation de l'apport en protéines, en énergie et en eau pour satisfaire les besoins de la production de lait. La production laitière moyenne durant les six semaines de lactation était de 177kg pour le lot TD, 126kg pour le lot TND et de 143kg pour le lot témoin (T), soit une amélioration de la production laitière de 24%. L'incorporation du tourteau de l'arganier détoxifié dans l'alimentation des chèvres influence de manière significative la production laitière ($p<0,05$). Les moyennes de la production laitière journalière sont de 4,22, 3,02 et 3,41 kg/j respectivement pour le lot TD, TND et T. Pour la production laitière de la race Alpine,

Lefrileux *et al.* (2009) avancent une moyenne de 3,51kg/j qui rejoint celle énoncé par Kouniba *et al.* (2007) (4kg/j), moyennes qui se rapprochent de nos résultats.

Au cours des six semaines de lactation, la production laitière moyenne obtenue par des chèvres recevant une alimentation incorporant le tourteau de l'arganier non-détoxifié (TND) est nettement inférieure à celle produite avec la ration contenant le tourteau de l'arganier détoxifié (TD) et celle de la ration témoin. Ce résultat est en accord avec Lovett *et al.* (2006) et Herbillon (2015) qui ont indiqué que les saponines affectent négativement la productivité des animaux. Les résultats de Wang *et al.* (2017) rapportent que l'augmentation du taux de saponine dans les rations des vaches laitières a été associée à un effet négatif sur la production de lait (de 36,9 à 31,5kg/j). Toutefois, ce résultat contraste avec celui d'Anantasook *et al.* (2015), qui ont signalé que la production de lait de vache laitière a été augmentée avec l'augmentation de l'apport de saponines contenues dans le fourrage *Lotus corniculatus*. Cette différence dans la qualité du lait dépend de l'espèce et de la race des animaux (Papanastasis *et al,* 2008). Alors que, Nasri *et al.* (2011) ont montré que la présence des saponines dans les régimes alimentaires des brebis laitières n'a pas d'effet significatif sur la production de lait.

La différence de l'effet des saponines sur la production laitière peut être liée à la différence de structure chimique des saponines (triterpénee et stéroïde).

En général, la qualité microbienne est importante pour la conservation et/ou la transformation du lait. Les résultats obtenu durant les six semaines de lactation ont montré que les laits crus collectés des groupes TD, TND et T contiennent une charge variable de la flore aérobie mésophile totale (FMAT), avec une moyenne respectivement de $6{,}1\times10^4$, 1×10^4, 1.1×10^5 UFC/mL. Ces valeurs étaient inférieures à la norme fixé par la réglementation marocaine ($<3\times10^6$ UFC/mL). Selon Farris (2009) un lait de chèvre est considéré de très bonne qualité microbiologique contient moins de 10^5 UFC/mL. Dans l'ensemble, les résultats obtenus pour les FTAM des trois laits reste toujours inférieur aux limites publier dans la littérature, de ce fait la valeur de la contamination des laits sont négligeables, cela est due probablement aux précautions prise au moment de la traite à savoir le nettoyage des mains, de la mamelle et l'utilisation des bouteilles stériles.

La recherche de microorganismes indicateurs de la contamination d'origine fécale renseigne sur l'état hygiénique d'un produit. Même à des niveaux faibles, la présence des coliformes témoigneraient d'un non-respect des bonnes pratiques d'hygiènes lors de la traite ou au cours du transport. Les teneurs moyennes en coliformes fécaux trouvées respectivement dans les échantillons du lait des groupes TD, TND et T sont $6{,}5\times10^3$, $2{,}5\times10^3$ et $4{,}5\times10^3$ UFC/mL. Ces résultats ne dépassent pas la norme marocaine ainsi sont inférieurs aux

dénombrements retrouvés par Araba *et al.* (2001) (de $3,4\times10^4$ à $2,4\times10^6$ UFC/mL). D'autre part, les taux des coliformes totaux enregistrés sont de $3,1\times10^3$ UFC/ml pour le lait issu des chèvres du lot TND et de 1×10^5 UFC/ml pour les laits issus des chèvres des lots TD et T. La réglementation marocaine ne définit pas une norme pour cette flore, pour cette raison, nous essayerons de comparer nos résultats à d'autres études similaires. Les résultats obtenus sont inférieurs à ceux rapporté par Picoli *et al.* (2006) avec $1,5\times10^7$ UFC/mL.

La recherche de staphylocoque dans les laits des trois groupes a révélé des charges moyennes faibles soit de $3,6\times10^2$, $3,8\times10^1$ et $5,7\times10^2$ UFC/mL pour le groupe TD, TND et T respectivement. Des taux de contamination comparables ont été rapportés dans le lait cru de chèvre des races Alpines et Saanen ($3,02\times10^2$ UFC/mL) par Morgan *et al.* (2003). En effet, Asperger et Zangerl (2003) rapportent que le taux de staphylocoque dans le lait présente une grande fluctuation, variant de 0 à 10^8 UFC/mL. La présence des staphylocoques dans le lait peut être due à la contamination par les infections mammaires qui représentent la principale source de contamination du lait, la contamination à la laiterie ou peut être due au manque d'hygiène lors de la traite (Thieulin, 2005).

Les bactéries lactiques sont présentes dans tous les échantillons examinés avec des valeurs considérables et normales de $6,8\times10^5$, $1,2\times10^5$ et $5,5\times10^5$ UFC/mL pour les groupes TD, TND et T respectivement. Ces germes se trouvent naturellement dans le lait, et peuvent se multiplier lorsque la température est favorable.

La charge moyenne des levures et moisissures dans les échantillons du lait provenant des groupes TD, TND et T respectivement est de 1×10^4, $3,8\times10^2$ et $1,4\times10^4$ UFC/mL. La présence des levures et moisissures dans tous les échantillons de lait analysés est normale, et permettra la fermentation nécessaire à la production de dérivés laitiers.

Les résultats des dénombrements montrent que les échantillons du lait issus des chèvres nourri avec la ration à base du tourteau non-détoxifié sont moins chargé en microorganismes par rapport à ceux provenant des groupes TD et T. Cela probablement due à la présence des saponines qui ont un effet inhibiteur sur la croissance des microorganismes comme a été rapporté par plusieurs auteurs (Wallace, 2004 ; Patra et Saxena, 2009 ; Wang *et al*, 2000 ; Mercha *et al,* 2019b). Dans l'ensemble, les laits crus analysés étaient conformes en regard de la réglementation marocaine ainsi sont acceptables du point de vue hygiénique.

Les variabilités du rendement et la composition du lait de chèvre sont liées au climat, au stade de lactation, à la race, aux disponibilités alimentaires et à l'état de santé des chèvres. Dans notre étude, les résultats montrent que la qualité et la quantité de lait ont été affectées par l'alimentation.

Les valeurs moyennes obtenues du pH durant les six semaines de lactation du lait produit par les rations TD, TND et T ont été respectivement de 6,71, 6,68 et 6,62. Nous pouvons constater que les résultats de pH obtenus sont voisins du pH normal du lait de chèvre, ainsi se rapproche du pH trouvé par Noutfia *et al.* (2012) chez la race Alpine au Maroc (6.58 et 6.89). En outre, Le pH est un bon indicateur sur l'état de la fraicheur du lait, donc les laits collectés des 3 rations sont stockés dans des bonnes conditions.

La densité moyenne des laits étudiés TD, TND et T (1,03, 1,02 et 1,02g/cm^3, respectivement) est conforme à celle rapportées par Costa *et al.* (2010) pour la race Alpine (1,03g/cm^3) ainsi à celle rapporté par Noutfia *et al.* (2012) pour la même race au Maroc (1,02g/cm^3). La densité du lait est liée à sa richesse en matière sèche, un lait pauvre aura une densité faible. Concernant les moyennes des points de congélation des laits provenant des régimes alimentaires TD, TND et T respectivement sont –0,45, –0,43 et –0,44 °C. Ces valeurs sont inférieures à celle trouvé par Mayer et Fiechter (2012) (–0.54 ° C). Les résultats obtenus pour la densité et le point de congélation n'ont montré aucune différence significative ($p > 0,05$) entre les laits des trois régimes.

L'utilisation de la ration TD offre un lait avec plus de protéines (4,38% vs 3,08% et 2,61%, $P < 0,001$), de matières grasses (4,23% vs 3,27% et 2,97%, $p < 0,001$) et d'extrait sec dégraissé (8,03%, 7,35% et 7,64%, $P < 0.01$), respectivement, pour TD, TND et T. Ces données se rapprochent généralement de ceux évoqués par d'autres chercheurs (Costa *et al.* (2010), Zantar *et al.* (2016), Park *et al.* (2007)). Cela probablement dû à l'utilisation de rations alimentaires équilibrées, puisque les éléments qui composent le lait proviennent de l'alimentation. Par ailleurs, la teneur en protéines et en matière grasse est une caractéristique importante du lait pour la technologie fromagère. Aguiar *et al.* (2014) ont rapporté une réduction de la graisse du lait lors de l'inclusion des plantes contenant les saponines dans l'alimentation animale. En outre, les saponines ont un effet hypocholestérolémiant ce qui réduit l'absorption intestinale du cholestérol et abaissent le cholestérol plasmatique chez les animaux (Aazami *et al,* 2013). Cependant, Anantasook *et al.* (2015) ont signalé une augmentation de protéines, de matières grasses et de l'extrait sec dégraissé du lait quand les vaches laitières reçoivent quotidiennement 141g/kg de saponines. Par contre Benchaar *et al.* (2008) et Holtshausen *et al.* (2009) n'ont observé aucune différence dans la composition du lait lors de l'incorporation des plantes riche en saponines.

Le lactose est le principal glucide du lait de chèvre et constitue le substrat de la fermentation utilisé par les bactéries lactiques, ainsi étant l'un des composants laitiers les plus stables. Dans cette étude, le taux de lactose dans le lait des trois régimes étaient similaire

(4,15%, 4,19% et 4,08% pour les régimes TD, TND et T, respectivement). Ainsi, il semble que le lactose soit le composant le moins sensible du lait aux changements alimentaires, comme l'ont conclu Walstra *et al.* (2006). Les résultats obtenus sont en accord avec ceux publié par Mayer et Fiechter (2012) (4,06% –4,88%).

La composition minérale des trois laits (Na, K, Ca et Mg) était similaire de point de vue statistique. En fonction des semaines de lactation la concentration de Mg et de K était non significative, alors que la différence était hautement significative ($p<0,01$) pour Na et Ca et très significative pour P. Les teneurs moyennes en oligo-éléments (Cu, Zn et Fe) pendant les semaines de lactation ont maintenu les mêmes concentrations pour les trois laits.

Enfin, la production et la composition de lait pendant la période de lactation sont négativement corrélées ; ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que lorsque la production de lait augmente la concentration des composés laitier diminuent ce qui était conformes aux études précédentes (Zantar *et al*, 2016).

Les données bibliographiques sur l'effet des saponines sur la production et la composition du lait sont moins nombreuses. Aussi, paradoxal que cela puisse apparaitre, aucune approche scientifique n'a évalué la teneur du lait en saponine. Ceci fait appel à notre étude première du genre. Les résultats obtenu dans ce travail ont mis en évidence que les saponines peuvent traverser différentes barrières physiques et métaboliques après l'ingestion et peuvent se retrouver dans les produits animaux. La teneur en saponine a été augmentée au cours des semaines de lactation dans le lait produit par les chèvres nourri à base du tourteau non-détoxifié. En revanche, le lait prélevé des chèvres du lot TD ne contenait que des traces de saponine pendant les 3 premières semaines de lactation, mais il y avait une absence totale de ce composé dans le lait produit par le régime témoin. Le goût amer provoqué par les saponines du tourteau était le principal facteur limitant affectant l'acceptabilité du lait par les jeunes ruminants, entraînant une diarrhée sévère pour eux (El Hadi, 2012). De ce fait, le tourteau détoxifié peut être utile pour maintenir la qualité du lait.

TÜBİTAK

Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences

http://journals.tubitak.gov.tr/veterinary/

Research Article

Turk J Vet Anim Sci
(2019) 43: 323-333
© TÜBİTAK
doi:10.3906/vet-1809-50

Effects of the inclusion of detoxified argan press cake in the diet of dairy goats on milk production and milk quality

Nazha LAKRAM[1,2], Sana MOUTIK[2,3], Ikram MERCHA[2,4], El Haj El MAADOUDI[2], Rachid KABBOUR[2], Ahmed DOUAIK[2], Abdelmjid ZOUAHRI[2], Abdellah El HOUSNI[2], Mariam NACIRI[1,*]

[1]Research Center of Vegetal and Microbial Biotechnology, Biodiversity, and Environment, Laboratory of Biodiversity, Ecology, and Genome, Faculty of Sciences, Mohammed V University, Rabat, Morocco

[2]National Institute of Agronomic Research (INRA), Rabat, Morocco

[3]Physico-chemistry Laboratory for Inorganic and Organic Materials, Superior Normal School, Mohammed V University, Rabat, Morocco

[4]Laboratory of Virology, Microbiology, and Quality/Eco-toxicology and Biodiversity, Faculty of Science and Techniques, Hassan II University, Casablanca, Morocco

Received: 17.09.2018 • **Accepted/Published Online:** 04.05.2019 • **Final Version:** 11.06.2019

Abstract

The study was carried out to assess the effect of the incorporation of the detoxified argane press cake on milk yield, physicochemical composition, and microbial quality of raw Alpine goat milk produced in the Meskala-Essaouira region (southwestern of Morocco). The detoxification method, adopted for the removal of saponin present in the argane press cake, has succeeded in reducing these anti-nutrients from 4.56 to 0.4 mg/g, allowing it to be used as livestock feed. The average of the milk production increased with 24% for detoxified argane press cake (DAPC) group compared to argane press cake (APC) and local diet (LD) groups. The diets and lactation stage had a significant effect ($P < 0.05$) on fat, protein, total solids and salt in milk. The lactation stage and animals diet had a significant effect ($P < 0.001$) on saponin concentration in goat milk. Microbiological analysis showed microbial flora of raw goat milk samples decreased along lactation stage. In terms of performance, DAPC could replace a conventional diet for goats without substantial detrimental effects.

Keywords: Argane press cake, detoxified, goat, milk content.

Introduction

Goat farming in Morocco is considered an important socio-economic sector. Goat population occupies the 2nd place in Moroccan farming after sheep population. The workforce is estimated around 5.3 million heads (Zaaraoui *et al,* 2016). Its milk production represents only 34 tons annually (Zaaraoui *et al,* 2016). This breeding represents an important source of income for breeders. However, ruminants in Morocco's arid and semi-arid areas suffer from lack of forage production and water availability due to low precipitation (Bendaou and Ait Omar, 2013). Therefore, animal performance is usually limited by forage availability. For these reasons, it was necessary to contribute to the development of native forage resources adapted to local climate and soil conditions as an alternative resource (Costa *et al,* 2010). Among such native resources, argane tree (*Argania spinosa*) is endemic in Southwestern of Morocco, which provides important by-products (press cake and pulp) and is one of the few alternative forage resources for livestock in dry areas (Bendaou *et al,* 2011).

The Argane press cake (APC) left as a by-product after oil extraction from Argane seed has traditionally been used for livestock feeding in the arid and semi-arid regions of Morocco, it constitutes a potential nutrient source for animals, especially during the dry season, and may reduce the negative effects of drought on livestock performance. Unlike other forages, the argane press cake has high levels of dry matter (91%), crude protein (48.4%), crude fiber (17.6%), and fat (18.9%). In addition, it contains significant levels of calcium (6.9 g/kg), phosphorus (6.4 g/kg), and potassium (10.4 g/kg) (Charrouf and Pioch, 2009). On the other hand, it contains low levels of ash (3.6%) (Charrouf, 1998) and magnesium (3.3 g/kg) (Charrouf and Pioch, 2009).

The high protein level in argane press cake represents an important alternative to supply protein requirements of Moroccan livestock, where the protein is a limiting factor for animal production (El Maadoudi and El Housni, 2013a). The argane press cake contains not only proteins but also anti-nutritional factors such as saponins (4%) (Charrouf *et al,* 1992), which give it a bitter taste. The astringent and irritating flavor of saponins reduced feed intake (Das *et al,* 2012). Animals feeding with high levels of argane press cake may present weight loss digestive problems owing to the presence of saponin components; which prevents the permeability, and reduces the motility of the intestinal, as well as inhibit active nutrient transport. Moreover, the saponins affect various digestive enzymes, including trypsin and chymotrypsin, and are also reported to reduce protein degradation by forming sparingly digestible saponin-protein complexes (Gogoi *et al,* 2015).

The saponins appear to alter the quality of the milk by transmitting an unpleasant taste and leading to severe diarrhea in young ruminants (El Hadi, 2012), eventually reducing animal performance. Detoxification of argane press cake can be an effective strategy to reduce the incidence of saponins compound.

Detoxified argane press cake, developed at the National Institute of Agronomic Research (INRA) in Rabat (Morocco), is characterized by richness in nutrients compared to conventional diets, and it is a valuable method for untapped proteins. It is a strategic protein resource in filling the gap in feed rations in Moroccan livestock. The objective of this study was to evaluate the incorporation of the detoxified argane press cake in the diets of lactating dairy goats, and also their effect on milk quality and quantity.

Material and methods

Experimental design, animals, and diets

The use of the animals and the experimental procedures were approved by the Animal Care Committee; Sheep and Goat Association (ANOC), Provincial Directorate of Agriculture Essaouira (DPAR), and National Institute of Agronomic Research, Rabat, Morocco.

The experiment lasted for 90 days in the Meskala area (Latitude 31 ° 30' N and Longitude 9 ° 30' W), located 50 km from Essaouira (Southwestern Morocco). The climate is the typical Mediterranean with dry summers and humid winters, and the average annual rainfall is around 300 mm. The mean temperature for the hottest month is 33 – 35°C and 6 – 7°C for the coldest one.

Feeding trials were conducted on a farm using 18 goats of the Alpine breed, with average body weights ranging from 40 to 45 kg with same lactation stage. The animals were allocated to three experimental groups receiving three nutritional diets which were distributed twice daily (morning and evening) and had free access to water. The first group was given a total ration consisting of detoxified argane press cake, corn silage, lucerne, wheat bran, ground carob, barley, and minerals/vitamins complement. The second group was fed with argane press cake with no detoxification, corn silage, lucerne, wheat bran, ground carob, barley, and minerals/vitamins complement. The last one was given a diet containing concentrate, corn silage, and lucerne. The percentage and chemical composition of each ingredient in all diets are shown in Tables 1 and 2. The milk samples were collected after 15 days to allow the animal to adapt to the new diets.

Table 1. Chemical composition of various ingredients used in the diets

Ingredients	DM (%)	CF (%DM)	CP (%DM)	Ash (%DM)	EE (%DM)	Saponin (mg/g DM)
Detoxified argane press cake	89.14	13.65	47.43	3.10	17.05	0.4
Non-detoxified argane press cake	93.02	16.72	48	4.75	23.45	4.56
Corn silage	85.81	17	8	7.30	3.02	-
Lucerne	98.6	14.6	19.6	8.8	3.7	-
Wheat bran	88.2	12.3	15.4	7.1	1.7	-
Ground carob	91.3	7.4	6.4	4.9	2.4	-
Barley	85.57	7.67	10.90	1.80	1.86	-
Concentrate	87.77	12.06	19.18	6.80	3.17	-

DM: Dry Matter; CF: Crude fiber; CP: Crude protein; EE: Ether extract.

Table 2. Ingredients and chemical composition of the diets

	DAPC	APC	LD
Ingredients (g/100g of fresh matter)			
Detoxified argane press cake	20%	0	0
Non-detoxified argane press cake	0%	20%	0
Corn silage	16%	16%	50%
Lucerne	17%	17%	35%
Wheat bran	15%	15%	0
Ground carob	16%	16%	0
Barley	14%	14%	0
Concentrate	0	0	15%
Minerals and vitamins	2%	2%	0
Composition :			
Dry matter (%)	89.59	88.12	88.14
Crude protein (%)	17.95	18.05	15.6
Ash (%)	7.58	8.23	10.01
Crude fiber (%)	18.15	15.27	17.10
Ether extract (%)	3.22	4.53	1.78
FU/kg DM	0.86	0.86	0.79
Feed intake (kg DM/ day)	1.75	0.90	1.25
P (%)	6.69	5.91	4.46
Ca (%)	7.5	6.8	5.3
Mg (%)	5.8	5.5	5.3
Zn (%)	2.5	3.00	2.00

FU: Feed Unit; P: phosphorus; Ca: Calcium; Mg: Magnesium; Zn: Zinc.

Preparation of detoxified argane press cake

After optimization of the detoxification method, the optimum conditions consist of placing the argane press cake in distilled water boiled at 80 °C for 25 minutes followed by drying at 40 °C in a hot air oven.

Milk production study

Milk production was determined weekly before feeding goats. During the suckling phase, the kids were separated from their dams 24 hours before collecting the samples. Then, the goats were milked at both morning (08:00 am) and evening (04:00 pm) periods. The daily milk production was the sum of the two milking (El Khettabi and Benider, 2012). Milk sample's products were collected aseptically from all animals. Raw milk was obtained by hand milking directly into sterile bottles without preservative before being stored at 4°C. All samples were analyzed immediately after arrival at the laboratory to carry out microbiological and physicochemical analysis.

Milk microbiological analysis

Milk samples (1 ml) were aseptically pipetted into tubes containing 9 ml of sterile peptone water and mixed by shaking for 30 s, the milk dilutions selected ranged from 10^{-1} to 10^{-6}.

Total mesophilic aerobic flora counts were detected using plate count agar (PCA) medium incubated at 37°C for 24 h. Total and fecal coliform enumerations were carried out on violet red bile lactose (VRBL) agar after an incubation period of 24 h at 30 °C and 44 °C, respectively. Lactic acid bacteria were counted on Rogosa and Sharpe (MRS) agar media after incubation for 48 h at 30 °C. Staphylococci were determined on Baird Parker Agar followed by incubation at 37 °C for 48 h. Sabouraud Dextrose Agar with chloramphenicol was used for the yeasts and molds count and incubated at 30 °C during 48 h (El-Hamdani *et al*,2016a).

After incubation, all typical colonies were enumerated and recorded as colony forming units per milliliter of milk (CFU/ml).

Physical and chemical analyses

Lactoscan milk analyzer

The milk samples composition (fat, solids non-fat (SNF), density, proteins, lactose, salts, and freezing point), directly after collecting, was determined in triplicate using a calibrated auto-analyzer (LACTOSCAN®Milk Analyzer) for goat milk (AOAC, 2000).

pH milk analyzer

The pH of goat milk samples was measured using a digital pH meter (CyberScan pH 1500, Eutech Instruments).

Feed diets analysis

Samples of ingredients and feeds were grinded (1 mm) and stored in airtight plastic containers at room temperature until further use. Dry matter (DM), ash, ether extract (EE),

crude fiber (CF), and crude protein (CP) contents were carried out according to the methods outlined in AOAC (2000).

Mineral composition

Samples of feed and milk were analyzed by atomic absorption spectrometry in a flame air-acetylene for calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), iron (Fe^{2+}), copper (Cu^{2+}), and zinc (Zn^{2+}). The measured absorbance was performed at a specific wavelength of 248.3 nm. The sodium (Na^{+}) and potassium (K^{+}) were determined using flame photometer while phosphorus (P) content was determined by the reaction of the acidified solution of ammonium molybdate including ascorbic acid and antimony (El-Hamdani *et al*,2016b). The measured absorption was at 825 nm with a UV-visible spectrophotometer (Jenway 6405 UV /VIS spectrometer).

Extraction and determination of saponins

Extraction of saponins from samples of feed and goat milk was carried out according to the method of Charrouf (1991). Total saponins content was spectrophotometrically determined according to the procedure previously described by Hiai *et al.* (1976).

Statistical Analysis

The effect of the diet and lactation week factors as well as their interaction on milk yield, raw milk composition, and its total aerobic flora was assessed using the statistical method of analysis of variance (ANOVA). Since the week factor is a temporal one, and in order to take into account that two measurements taken at two nearer times are more likely to be similar than two others made at farther times, a repeated measurement model was considered for ANOVA to take into account temporal correlations. Also, to consider that measurements made on the same animal are likely to be similar than those made on different animals, the animal factor was included in the model and was considered as random whereas the two others (diet and lactation week) were considered as fixed factors leading thus to a mixed model. Different correlation structures were tried. The best structure was selected based on the Akaike information criterion (AIC). The results are shown as a mean ± standard deviation, and the pairwise comparison of means was evaluated using the test of the differences of the least squares means. Significant differences were considered at $p < 0.05$.

Results and discussion

Detoxification of argane press cake

The detoxification of argane press cake by heating in water at 80 °C during 25 min and at a ratio of 1:12.5 g/ml (w:v) allowed to reduce its contents of saponin to 0.4 mg/g, as compared to the initial saponins contents (4.56 mg/g), a 91% decrease of saponin contents. A combination of soaking and heating processes caused a high loss of saponin contents in the

processed argane press cake. The thermal treatments have greater effects on saponins degradation because the linkage bond between aglycone and sugar chain would be broken (Heng *et al,* 2006), and the aglycone may also be decomposed when high energy is applied, such as heating at higher temperatures. Therefore, thermolabile saponins degraded during heating (Shi *et al,* 2009).

Dietary treatments and intake

Ingredients percentage and chemical composition of the experimental diets are shown in Tables 1 and 2. The first experimental diet called detoxified argane press cake (DAPC) contained 20% of the detoxified argane press cake as protein and fatty matter source, corn silage, lucerne and wheat bran (16,15, and17% respectively) as fiber source, ground carob (16%) as carbohydrates source and (2%) of a vitamin and minerals complement. In addition, the second experimental diet argane press cake (APC) contained the same ingredient percentage, except that the detoxified argane press cake was replaced by the crude argane press cake (non-detoxified). In opposition, the third diet was based on conventional feeds used normally by local farmers containing corn silage (50%), lucerne (35%), and concentrate (15%).In this study, the DAPC and LD diets had high dry matter intake (DMI) (1.75 and 1.27 kg/day, respectively), while for APC diet the DMI was 0.90 kg/day. The animals used in this feeding trial consumed the detoxified argane press cake without any notable trouble. On the contrary, it has been noticed that the group fed by the non-detoxified argane press cake suffered from a loss of appetite and weight owing to its saponin content.

The two first experimental diets (DAPC and APC) contained more CP (17.95 and 18.05%, respectively) than local diet (LD) (15.6%). Mohaddach *et al.* (2016) reported lower values of protein that might be due to the percentage of the argane press cake (13%) in the diet they used in their research work. The DAPC contained more CF (18.15%) than APC and LD diets (15.27 and 15.93%, respectively). On the other hand, DAPC contained fewer ash (7.58%) than APC and LD diets (8.23 and 10.81%, respectively), on a DM basis (Table 2).

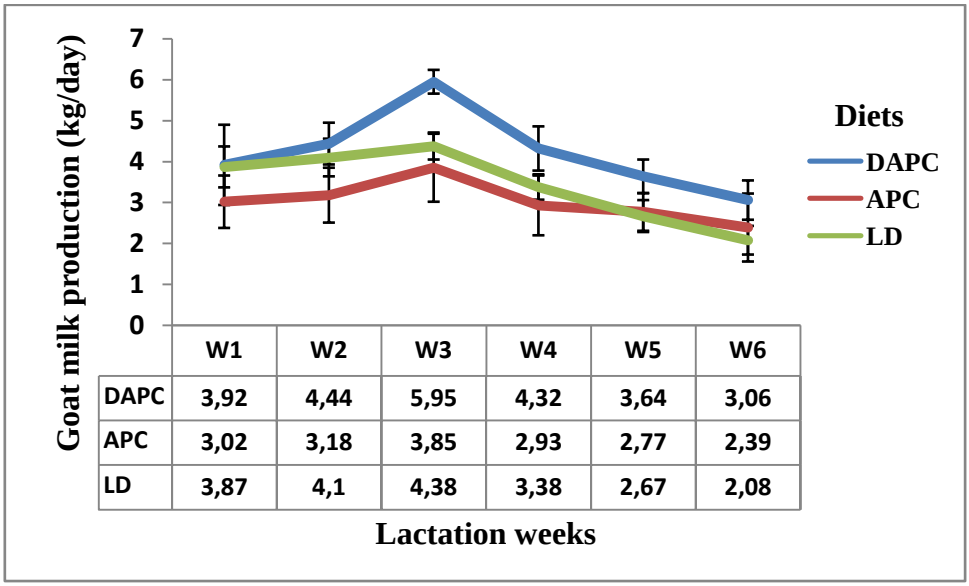
There were no differences in Mg content in the three different diets; however, contents of phosphorus (P), calcium (Ca), and zinc (Zn) were higher in DAPC diet compared to those of APC and LD diets (Table 2).

Milk production

Lactation is a physiological process requiring an increase in protein, energy, and fluid intake to satisfy the needs of milk production. The average amount of milk produced during the six weeks of lactation (daily milk yield for a period of six weeks) for the DAPC, APC and LD diets was 177, 126, and143 kg, respectively, meaning an increase of milk production of

24% (after comparing the three groups). In addition, it is known that milk quantity is affected by several factors including breed, stage of lactation, milking system and goat feeding. In our case, the results show that milk quantity was affected by feeding, which was in accordance with previously cited by Zamberlin *et al.* (2012). In other hand, it is interesting to note that during the feeding trial the voluntary feed intake of APC goats is low compared to other groups due to the bitter taste of the argane press cake, which leads to a decrease in their milk performance.

The peak of lactation is reached at the 3rd week for all diets (Figure1). Daily milk yield of dairy goat fed with DAPC was significantly ($P < 0.001$) higher than that of APC and LD with means of 4.22, 3.02, and 3.41 kg/day, respectively (Figure1). These results are nearly in accordance with those reported for the same breed by Lefrileux *et al.* (2009) (3.51 and 3.77 kg/day, respectively). Close as found by Kouniba *et al.*(2007) in the milk of alpine breed (4 kg/day) but a lower value was found in goat's milk of Moroccan local breed (2 kg/day).



	W1	W2	W3	W4	W5	W6
DAPC	3,92	4,44	5,95	4,32	3,64	3,06
APC	3,02	3,18	3,85	2,93	2,77	2,39
LD	3,87	4,1	4,38	3,38	2,67	2,08

Figure 1. Evolution of weekly milk production for the three diets

DAPC: detoxified argane press cake diet; APC: non-detoxified argane press cake diet; LD: local diet. Each reading is mean ± SD (standard deviation) of triplicate analysis.

Microbiological profile of raw goat milk

In general, the microbial quality is important for milk preservation and/or transformation. The results obtained by an enumeration of the different microbial flora of raw goat milk samples are summarized in Table 3. The results show that goat milk collected from the detoxified argane press cake and local groups has more load microbial compared to the goat milk collected from the non-detoxified argane press cake group. The total aerobic mesophilic flora number is considered as a sanitary indicator of raw milk quality. Raw milk was

contaminated for the three diets; a load of total aerobic mesophilic flora ranges during lactation weeks between 0.05×10^5 and 1.5×10^5 CFU/ml for DAPC, 0.07×10^4 and 2×10^4 CFU/ml for APC, and 0.86×10^5 and 2.1×10^5 CFU/ml for LD. These values were low compared to those reported by Picoli *et al*. (2006).

The fecal coliform levels ranged between 0.01×10^4 and 2×10^4 CFU/ml with an average of 0.65×10^4 CFU/ml for DAPC diet, and between 0.04×10^3 and 9.3×10^3 CFU/ml with an average of 2.5×10^3 CFU/ml for APC diet, whereas, it ranged between 0.11×10^3 and 1.4×10^4 CFU/ml with an average of 4.5×10^3 CFU/ml for LD diet. The presence of contaminating fecal microorganisms is indicative of poor hygienic conditions during milk production. A previous Moroccan study showed that there are generally high levels of fecal coliform in raw milk ranging from 3.4×10^4 to 2.4×10^6 CFU/ml, which is similar to the current study (Araba *et al*, 2001). Picoli *et al.* (2006) found an average of 1.5×10^7 CFU/ml of total coliforms, higher than the average levels that we found (10^5, 0.31×10^5, and 10^5 CFU/ml for DAPC, APC, and LD diets, respectively). This can be explained by the way milk is collected and handled, the stage of lactation, hygienic practices of milk production and the disparity of regions.

The average staphylococcus load in raw milk samples was higher for LD (5.7×10^2 CFU/ml) followed by DAPC (3.6×10^2 CFU/ml), and APC (0.38×10^2 CFU/ml) diets. These values are in accordance with the average level (3.02×10^2 CFU/ml) found for Alpine and Saanen breeds (Morgan *et al*, 2003).

Lactic acid bacteria (LAB) were prevalent in milk of the three diets (DAPC, APC, and LD). Higher levels of the LAB were found in DAPC diet, followed by the LD and APC diets with average values of 6.8×10^5, 5.5×10^5, and 1.2×10^5 CFU/ml respectively. Zantar *et al.* (2016) reported lower values of lactic acid bacteria for goat milk of Moroccan breed.

The average load of yeasts and molds was 10^4, 0.038×10^4, and 1.4×10^4 CFU/ml for APCD, APC, and LD diets, respectively. These values are higher than the average levels (4.9×10^3 CFU/ml) found in Moroccan raw milk by El Marnissi *et al.* (2013).

Overall, the microbiota of raw milk can be influenced by the combination of several factors including outside and inside grazing animal feeding systems, seasonal variation, geographical farm location, bedding and milking procedures. Since all the factors were stabilized, our results showed that the feeding factor had an effect on goat milk flora. Microbial counts in DAPC and LD groups were higher than those of APC, likely due to the presence of saponins.

Table 3. Microbiological analysis (Mean± SD) as function of diet type and lactation week.

Flora ($Cfu.mL^{-1}$)	Lactation weeks							
	Diet	**W1**	**W2**	**W3**	**W4**	**W5**	**W6**	**Mean±SD**
Total aerobic flora	DAPC	$1.7.10^5$±$1.5.10^5$	$1.6.10^5$±$1.4.10^5$	$1.7.10^4$±$1.5.10^4$	1.10^4±$1.1.10^4$	$8.1.10^3$±$6.8.10^3$	$5.8.10^3$±$4.6.10^3$	$6.1.10^4$±$5.4.10^4$
	APC	2.10^4±2.10^4	$1.9.10^4$±1.10^4	$1.2.10^4$±$7.1.10^3$	$6.8.10^3$±$4.8.10^3$	$3.8.10^3$±$5.3.10^3$	7.10^2±$6.4.10^2$	1.10^4±$7.9.10^3$
	LD	$2.1.10^5$±$1.6.10^5$	$1.9.10^5$±$2.3.10^5$	$9.7.10^4$±1.10^5	$6.9.10^4$±$9.2.10^4$	$5.3.10^4$±$6.3.10^4$	$8.6.10^4$±$1.2.10^5$	$1.1.10^5$±$1.2.10^5$
Lactobacilli	DAPC	$1.8.10^6$±$2.5.10^6$	$1.6.10^6$±$2.3.10^6$	$1.7.10^5$±$2.5.10^5$	$1.7.10^5$±$2.4.10^5$	$1.8.10^5$±$2.5.10^5$	$1.6.10^5$±$2.5.10^5$	$6.8.10^5$±$9.6.10^5$
	APC	$1.9.10^5$±$1.1.10^5$	$1.1.10^5$±2.10^5	$1.3.10^5$±$2.6.10^5$	$1.3.10^5$±$2.1.10^5$	$1.1.10^5$±$1.9.10^5$	$6.1.10^4$±$7.4.10^4$	$1.2.10^5$±$1.7.10^5$
	LD	$1.6.10^6$±1.10^6	$1.1.10^6$±2.10^6	$4.7.10^5$±$3.4.10^5$	1.10^5±1.10^5	$3.8.10^4$±$2.6.10^4$	$2.6.10^4$±$1.7.10^4$	$5.5.10^5$±$5.8.10^5$
Total coliform	DAPC	$2.2.10^5$±$1.6.10^5$	$1.8.10^5$±1.10^5	$2.2.10^5$±$9.2.10^5$	$1.7.10^4$±$1.3.10^4$	$1.7.10^3$±$1.1.10^3$	$1.4.10^4$±$8.8.10^3$	1.10^5±$1.3.10^6$
	APC	$1.2.10^5$±$1.3.10^5$	$4.3.10^4$±$5.1.10^4$	$2.4.10^4$±$2.4.10^4$	$3.7.10^3$±$3.6.10^3$	$6.6.10^2$±$5.7.10^2$	4.10^2±$5.1.10^2$	$3.1.10^4$±$3.4.10^5$
	LD	$1.4.10^5$±$1.3.10^5$	1.10^5±$6.3.10^4$	9.10^4±$5.6.10^4$	$1.1.10^5$±1.10^5	1.10^5±$1.1.10^5$	9.10^4±1.10^5	1.10^5±$5.1.10^4$
Fecal coliform	DAPC	2.10^4±$1.5.10^4$	$1.6.10^4$±1.10^4	$1.3.10^3$±$6.7.10^2$	$1.5.10^3$±$9.7.10^2$	$1.3.10^2$±$8.4.10^1$	$1.4.10^2$±1.10^1	$6.5.10^3$±$4.4.10^3$
	APC	$9.3.10^3$±$9.5.10^3$	$3.7.10^3$±$3.5.10^3$	$1.6.10^3$±$1.6.10^3$	$3.8.10^2$±$3.5.10^2$	$5.8.10^1$±$5.5.10^1$	$4.7.10^1$±$5.1.10^1$	$2.5.10^3$±$2.5.10^3$
	LD	$1.4.10^4$±$1.4.10^4$	1.10^4±1.10^4	$9.1.10^2$±$6.6.10^2$	$7.1.10^2$±$5.4.10^2$	$6.6.10^2$±$8.3.10^2$	$1.1.10^3$±$1.7.10^3$	$4.5.10^3$±$4.6.10^3$
Staphylococcus	DAPC	$1.5.10^3$±$1.2.10^3$	$1.7.10^2$±$1.3.10^2$	$1.4.10^2$±1.10^2	$1.4.10^1$±$1.2.10^1$	$1.6.10^2$±$9.8.10^1$	2.10^2±$1.8.10^1$	$3.6.10^2$±$2.5.10^2$
	APC	$1.2.10^2$±$2.3.10^2$	$5.8.10^1$±$9.6.10^1$	$1.9.10^1$±$3.2.10^1$	$1.2.10^1$±2.10^1	1.10^1±$1.5.10^1$	$1.2.10^1$±$1.6.10^1$	$3.8.10^1$±$6.8.10^1$
	LD	$1.5.10^3$±$1.6.10^3$	$1.6.10^3$±$1.2.10^3$	$1.7.10^2$±$1.6.10^2$	$1.3.10^2$±$1.7.10^2$	$2.2.10^1$±$8.2.10^1$	3.10^1±$6.8.10^1$	$5.7.10^2$±$5.4.10^2$
Yeasts and molds	DAPC	$2.9.10^4$±$2.1.10^4$	$2.7.10^4$±$1.8.10^4$	$2.7.10^3$±2.10^3	3.10^3±$2.3.10^3$	$2.2.10^2$±$1.8.10^2$	$2.6.10^2$±$1.7.10^2$	1.10^4±$7.2.10^3$
	APC	$1.3.10^3$±2.10^3	1.10^2±$1.6.10^2$	$1.9.10^2$±$1.9.10^2$	$1.3.10^2$±$1.4.10^2$	$7.3.10^1$±$4.8.10^1$	$5.4.10^2$±$5.3.10^2$	$3.8.10^2$±$5.1.10^2$
	LD	$1.2.10^4$±$1.7.10^4$	$1.3.10^4$±$1.9.10^4$	$1.2.10^4$±$1.6.10^4$	$1.8.10^4$±$2.7.10^4$	$2.2.10^4$±3.10^4	2.10^4±$2.3.10^4$	$1.4.10^4$±$2.2.10^4$

LW: Lactation week; DAPC: Detoxified argane press cake diet; APC: Non-detoxified argane press cake diet; LD: local diet. Each reading is mean ± SD (standard deviation) of triplicate analysis.

Physico-chemical characteristics of goat milk

The yield and composition of goats' milk vary widely, and are affected by several factors such as breed, stage of lactation, locality, age, milking system, and goat feeding. In our study, the results show that milk quality and quantity was affected by feeding. Table 4 shows the mean values of the physicochemical composition of goat milk as a function of the diet type and the lactation week.

The results showed that the pH average values of DAPC, APC, and LD diets, were respectively 6.71, 6.68, and 6.62. These values remain similar to that found in the milk of the same breed in Morocco (6.58 and 6.89) by Noutfia *et al.* (2012). The average density values of milk are 1.03, 1.02, and 1.02 g/cm^3 for DAPC, APC, and LD diets, respectively. For freezing point, the average is at - 0.45, - 0.43, and - 0.44 °C for DAPC, APC and LD diets, respectively. The results of all milk samples for density and freezing point levels showed no significant difference ($P > 0.05$) between the three diets. The results values of milk density are in line with the values reported by Costa *et al.* (2010) for the Alpine breed (1.03 g/cm^3) and also to the value 1.02 g/cm^3reported by Noutfia *et al.* (2012) for the same breed in Morocco. In fact, the variability of the density depends on the fat content, the increase in

temperature, and food availability. For freezing point, the values are lower than those found by Mayer and Fiechter (2012) (- 0.54 °C) in Austria.

The average protein content for DAPC, APC and LD diets was 4.38%, 3.08%, and 2.61%, respectively. Costa *et al.* (2010) reported that level of goat milk protein with the same breed was 3.09%, this value was in accordance with our APC diet but higher than that of LD diet. In this work, the average of milk fat was 4.23% for DAPC diet against only 3.27% and 2.97% for APC and LD diets respectively. These results showed the high significant change between all treatments ($P < 0.001$) along lactation weeks. This finding may explain why goat milk lipid synthesis is affected by dietary triglycerides. Indeed, this parameter depends on the weather conditions, lactation stage, and feeding. Those values found in this study are close to those reported by Zantar *et al.* (2016) and Costa *et al.* (2010) on goat milk from the Alpine breed. In addition, saponins have a hypocholesterolemic power, when they bind to cholesterol and bile salts, which has the effect of reducing the intestinal absorption of cholesterol because they bind to bile acids and cholesterol. Moreover, Aguiar *et al.* (2014) reported that the inclusion of plant containing saponin such as soybean led to a reduction of milk-fat synthesis. However, other studies found that milk fat of cows fed diets supplemented with Tea saponins increased (Wang *et al*, 2017). Generally, protein and fat are the most important components of goats' milk in cheese technology.

Lactose is the major carbohydrate in goats' milk and constitutes the substrate for lactic fermentation used by lactic acid bacteria, being one of the most stable milk components. In our case, the lactose levels in milk of all the three diets were of the same magnitude (4.15, 4.19, and 4.08% for DAPC, APC, and LD diets, respectively). Thus, it seems that lactose is the least sensitive component of milk to dietary changes as concluded by Walstra *et al.* (2006). Our milk lactose contents are in good accordance with the finding of Mayer and Fiechter (2012) (4.06% - 4.88%). The milk's solid non-fat content varied significantly ($P < 0.01$) between the three diets, with mean levels of 8.03, 7.35, and 7.64% for DAPC, APC, and LD diets respectively. These values are below the average values (8.9%) given by Park *et al.* (2007). Similarly, with the progress of the lactation period, fat and solid non-fat are reported to increase while lactose content decrease.

Furthermore, our data of milk yield and milk composition during lactation period are negatively correlated; these results could be explained by the fact that when the milk yield increases the concentration of milk compound decreases. These results were in accordance with previous studies (Zantar *et al*, 2016).

Table 4. Physicochemical characteristics of the goats milk as function of diet type and lactation week.

		Lactation weeks (LW)							Statistical
Parameter	**Diet**	**W1**	**W2**	**W3**	**W4**	**W5**	**W6**	**Mean±SD**	**Signficance**
D (g/cm^3)	DAPC	1.03±0.01	1.03±0.01	1.03±0.01	1.03±0.01	1.03±0.01	1.03±0.09	1.03±0.06	**0.90 (ns)**
	APC	1.03±0.01	1.03±0.01	1.03±0.01	1.03±0.01	1.02±0.07	1.02±0.05	1.02±0.05	
	LD	1.03±0.01	1.03±0.01	1.03±.0.01	1.03±0.01	1.03±0.01	1.02±0.05	1.02±0.05	
	Mean±SD	1.03±0.05	1.03±0.05	1.03±0.06	1.03±0.05	1.02±0.07	1.02±0.06	1.02±0.05	
	Significance				**0.79 (ns)**				
MF (%)	DAPC	3.66±1.16	4.22±0.61	3.26±0.07	3.50±0.81	4.92±2.59	5.84±1.66	4.23±1.61	**0.001 (***)**
	APC	2.91±0.65	3.49±0.55	2.67±0.34	2.82±1.38	3.54±0.74	4.19±1.85	3.27±1.11	
	LD	2.92±0.17	2.96±1.43	2.61±0.32	2.84±1.00	3.10±0.61	3.39±1.17	2.97±0.87	
	Mean±SD	3.16±0.81	3.56±1.04	2.85±0.55	3.06±1.07	3.85±1.69	4.47±1.82	3.49±1.34	
	Significance				**0.001 (***)**				
L (%)	DAPC	4.24±0.59	4.26±0.35	3.93±0.68	4.06±0.57	4.19±0.78	4.21±0.36	4.15± 0.55	**0.83 (ns)**
	APC	4.23±0.49	4.22±0.36	3.97±0.65	4.26±0.66	4.22±0.62	4.27±0.55	4.19±0.53	
	LD	4.27±0.62	4.11±0.90	4.04±0.71	3.92±0.79	4.08±0.85	4.04±0.26	4.08±0.68	
	Mean±SD	4.24±0.54	4.20±0.56	3.98±0.64	4.08±0.65	4.16±0.71	4.18±0.39	4.14±0.58	
	Significance				**0.79 (ns)**				
Pr(%)	DAPC	4.25±0.43	4.44±0.26	4.13±0.58	4.14±0.58	4.48±1.13	4.86±0.91	4.38±0.52	**0.001 (***)**
	APC	2.96±0.56	3.20±0.68	3.10±0.55	3.16±0.46	2.91±0.61	3.20±0.39	3.08±0.20	
	LD	2.18±0.53	2.98±0.42	2.07±0.48	2.83±0.48	2.83±0.49	2.81±0.28	2.61±0.55	
	Mean±SD	3.13± 1.00	3.54±0.80	3.10±1.00	3.38±0.75	3.41±1.08	3.62±1.07	3.36±0.95	
	Significance				**0.03 (*)**				
SNF (%)	DAPC	8.13±0.63	7.24±0.59	8.15±0.74	8.08±0.79	8.01±0.78	8.03±0.33	7.94±0.69	**0.001 (***)**
	APC	6.69±0.17	7.06±0.48	6.62±0.26	7.69±0.95	7.03±0.82	7.35±0.58	7.07±0.68	
	LD	6.93±0.27	8.08±1.14	6.22±0.14	7.32±1.10	7.43±1.00	7.64±0.78	7.27±0.97	
	Mean±SD	7.25±0.75	7.46±0.87	7.00±0.96	7.70±0.95	7.49±0.92	7.67±0.62	7.43±0.85	
	Significance				**0.009 (**)**				
FP(-°C)	DAPC	0.43±0.05	0.46±0.04	0.44±0.04	0.44±0.05	0.46±0.02	0.48±0.02	0.45±0.04	**0.79 (ns)**
	APC	0.41±0.01	0.44±0.03	0.40±0.01	0.48±0.05	0.42±0.02	0.46±0.04	0.43±0.04	
	LD	0.40±0.04	0.32±0.42	0.40±0.04	0.55±0.01	0.49±0.09	0.48±0.05	0.44±0.19	
	Mean±SD	0.41±0.03	0.40±0.24	0.41±0.03	0.49±0.10	0.45±0.06	0.47±0.07	0.44±0.11	
	Significance				**0.001 (***)**				
Salt (%)	DAPC	0.55±0.01	0.58±0.04	0.57±0.06	0.57±0.07	0.58±0.03	0.60±0.03	0.57±0.04	**0.14 (ns)**
	APC	0.55±0.008	0.57±0.03	0.53±0.01	0.62±0.07	0.54±0.02	0.59±0.04	0.57±0.04	
	LD	0.54±0.07	0.65±0.09	0.54±0.06	0.67±0.15	0.60±0.07	0.62±0.06	0.60±0.10	
	Mean±SD	0.55±0.04	0.60±0.07	0.54±0.05	0.62±0.11	0.57±0.05	0.60±0.05	0.58±0.07	
	Significance				**0.01 (**)**				
pH	DAPC	6.84±0.32	6.71±0.30	6.64±0.25	6.62±0.09	6.78±0.17	6.66±0.10	6.71±0.21	**0.08 (ns)**
	APC	6.82±0.11	6.81±0.23	6.59±0.04	6.65±0.14	6.61±0.12	6.62±0.14	6.68±0.16	
	LD	6.75±0.22	6.68±0.15	6.55±0.14	6.65±0.18	6.52±0.02	6.58±0.33	6.62±0.20	
	Mean±SD	6.81±0.22	6.73±0.23	6.59±0.11	6.64±0.13	6.64±0.15	6.62±0.20	6.67±0.19	
	Significance				**0.02 (*)**				

***: $P < 0.001$, **: $P < 0.01$, *: $P < 0.05$, ns: not significant ($P > 0.05$). D: Density; MF: Milk fat; SNF: Solid non-fat; Pr: Protein; FP: freezing point; L: Lactose; LW: Lactation week; DAPC: Detoxified argane press cake diet; APC: Non-detoxified argane press cake diet; LD: local diet. Each reading is mean ± SD (standard deviation) of triplicate analysis.

Milk mineral concentration

The mean of milk mineral contents of lactating goat as related to diet type and lactation week is summarized in Table 5. Following the previous studies, milk and dairy products supply all essential mineral elements needed for newborn development and growth.

The levels of minerals in goat milk vary depending on the breed, diet, dairy period, and performance (Park *et al,* 2007). According to this author, the mineral contents in goat milk had substantial changes in the first 7 weeks of lactation.

In this work, animal feed and lactation week did not have a significant effect on the concentration of major elements in milk (K, Ca, and Mg).They had a significant effect ($P < 0.001$) on goat milk phosphorus (P) level, as well as on Sodium (Na) level. The average contents of trace elements (Cu, Zn, and Fe) during lactation weeks kept the same values.

It is well known that phosphorus is a major element of milk with many important biological functions in the human body. The mean of phosphorus content was higher (119.45 mg/100 g) in the milk of DAPC diet compared with that of APC and LD diets (96.47 and 105.66 mg/100 g, respectively). These values are lower than those reported by Park *et al.* (2007). The average sodium content followed the same trend. Nevertheless, the concentrations of the other compounds (K, Ca, Mg, Cu and Zn) have slight variations between the three diets.

Trace elements are part of essential substances such as hemoglobin and vitamin B_{12}. Milk iron is, naturally, low. In our case, the average values of milk iron are 0.08, 0.07, and 0.05 mg/100 g for DAPC, APC, and LD diets, respectively. The iron concentrations reported in the literature for goats milk was 0.07 mg/100 g (Park *et al,* 2007).

Table 5. Milk mineral concentrations (mg/100 g) of goat as related to diet type and lactation stage

Parameter	Lactation weeks							
	Diet	**W1**	**W2**	**W3**	**W4**	**W5**	**W6**	**Mean±SD**	**Significance**
P	DAPC	127.40±25.81	146.80±23.17	149.58±37.27	117.92±45.29	90.30±46.01	84.67±7.21	119.45±40.26	**0.02 (*)**
	APC	92.56±39.30	123.13±18.31	127.53±44.07	88.46±30.98	70.39±11.28	76.73±6.22	96.47±34.51	
	LD	100.25±21.41	137.66±117.1	141.68±46.47	97.74±30.80	77.38±6.66	79.26±11.81	105.66±35.71	
	Mean±SD	106.74±31.96	135.86±22.35	139.60±41.27	101.37±36.40	79.36±27.30	80.22±8.90	107.19±37.77	
	Significance				**0.001 (***)**				
Na	DAPC	54.16±9.51	75.83±5.60	52.33±7.71	58.83±7.80	48.16±6.24	67.00±28.66	59.38±15.77	**0.002 (**)**
	APC	43.33±11.00	69.50±7.81	50.33±16.08	52.16±6.46	49.33±15.56	57.50±31.20	53.69±17.66	
	LD	40.33±10.25	72.33±178.1	48.83±16.42	50.83±14.78	43.83±7.73	37.66±17.20	48.97±16.87	
	Mean±SD	45.94±11.42	72.55±8.16	50.50±13.23	53.94±10.36	47.11±10.30	54.05±27.80	54.01±17.17	
	Significance				**0.001 (***)**				
K	DAPC	143.83±32.66	150.00±22.40	153.66±26.65	128.00±5.83	148.33±35.61	163.83±14.17	144.61±26.68	**0.31 (ns)**
	APC	135.66±23.74	143.50±37.58	143.66±19.75	125.66±18.59	131.83±18.73	137.00±37.50	136.22±26.07	
	LD	128.16±10.64	133.66±171.8	148.50±30.59	123.33±20.30	145.50 ±17.88	134.00±9.05	135.52±20.18	
	Mean±SD	135.88±23.58	142.38±27.07	148.61±24.83	125.66±15.38	141.88±25.00	138.27±22.69	138.78±23.91	
	Significance				**0.09 (ns)**				
Ca	DAPC	171.50±80.37	198.83±30.46	147.00±37.30	152.66±40.30	172.83±57.39	172.66±46.31	169.25±50.50	**0.45 (ns)**
	APC	155.66±99.80	173.83±50.06	139.50±62.40	144.33±46.98	154.50±53.19	155.16±75.97	153.83±63.17	
	LD	140.66±56.16	177.33±46.88	134.83±60.96	140.00±26.26	165.83±51.99	166.66±65.52	154.22±51.63	
	Mean±SD	155.94±76.97	183.33±42.26	140.44±51.83	145.66±36.86	164.38±51.54	164.83±60.10	159.10±55.35	
	Significance				**0.20 (ns)**				
Mg	DAPC	17.29±3.36	19.00±2.52	17.50±2.16	19.16±4.26	17.33±2.50	17.16±4.21	17.90±3.15	**0.19 (ns)**
	APC	15.33±2.50	17.50±2.88	16.33±1.86	17.16±1.60	16.66±0.81	16.33±2.58	16.55±2.11	
	LD	16.16±2.48	17.83±2.56	16.16±1.16	18.00±2.00	14.83±4.21	15.16±5.91	16.36±3.40	
	Mean±SD	16.26± 2.76	18.11±2.58	16.66±1.78	18.11±2.82	16.27±2.90	16.22±4.26	16.94±2.99	
	Significance				**0.07 (ns)**				
Cu	DAPC	0.08±0.09	0.07±0.08	0.06±0.10	0.08±0.16	0.06±0.08	0.06±0.10	0.07±0.10	**0.55 (ns)**
	APC	0.06±0.09	0.04±0.07	0.03±0.08	0.06±0.12	0.05±0.08	0.05±0.08	0.05±0.08	
	LD	0.06±0.08	0.05±0.08	0.04±0.11	0.05±0.05	0.04±0.06	0.04±0.05	0.05±0.07	
	Mean±SD	0.07±0.08	0.05±0.07	0.04±0.09	0.06±0.11	0.05±0.07	0.05±0.07	0.05±0.08	
	Significance				**0.98 (ns)**				
Zn	DAPC	0.59±0.19	0.68±0.28	0.61±0.37	0.63±0.19	0.61±0.09	0.60±0.20	0.62±0.22	**0.40 (ns)**
	APC	0.53±0.27	0.58±0.26	0.56±0.42	0.58±0.21	0.51±0.25	0.55±0.29	0.55±0.27	
	LD	0.51±0.29	0.56±0.23	0.55±0.28	0.61±0.26	0.40±0.12	0.43±0.25	0.51±0.24	
	Mean±SD	0.54±0.24	0.61±0.25	0.57±0.34	0.61±0.21	0.51±0.18	0.52±0.24	0.56±0.25	
	Significance				**0.83 (ns)**				
Fe	DAPC	0.08±0.02	0.08±0.009	0.07±0.01	0.09±0.006	0.08±0.01	0.08±0.01	0.08±0.01	**0.001 (***)**
	APC	0.07±0.01	0.07±0.01	0.05±0.03	0.07±0.01	0.07±0.01	0.07±0.01	0.07±0.01	
	LD	0.06±0.02	0.06±0.02	0.05±0.04	0.06±0.02	0.06±0.02	0.05±0.02	0.05±0.02	
	Mean±SD	0.07±0.02	0.07±0.01	0.06±0.03	0.07±0.02	0.07±0.01	0.06±0.02	0.07±0.02	
	Significance				**0.65 (ns)**				

***: P < 0.001, **: P < 0.01, *: P < 0.05, ns: not significant (P > 0.05). APCD: Detoxified argane press cake diet; APC: Non-detoxified argane press cake diet; LD: local diet; LW: Lactation weeks; P: Phosphorus; Na: Sodium; K: potassium; Ca: Calcium; Mg: Magnesium; Cu: Copper; Zn: Zinc; Fe: Iron. Each reading is mean ± SD (standard deviation) of triplicate analysis.

Milk saponn contents

The influence of saponins on dairy milk production and composition has received limited research attention. However, no previous dietary approaches have been interested in the determination of saponins in milk; our work was the first that focused in the dosage of the saponin in milk.

The results showed the increase of saponins concentration in milk (Table 6) of APC diet, during the period of lactation. On the other hand, the milk collected from the DAPC diet contains only traces of saponin during the first 3 weeks of lactations, but there was a total absence of this compound in the milk of LD diet. The bitter taste caused by saponin compounds from argane press cake was the main limiting factor affecting milk acceptability by young ruminants, leading to severe diarrhea for them (El Hadi, 2012).

El Hadi (2012) suggests that saponins from argane press cake were very toxic intravenously but less active by the digestive tract, and, in high doses, it would lead to hemolysis in animals. Therefore, the detoxified argane press cake can be used to maintain the milk quality value after its deterioration by press cake saponin.

Table 6. Milk saponin concentrations (%) of goat as related to diet type and lactation stage

		Lactation week (LW)							Statistical
	Diet	**W1**	**W 2**	**W 3**	**W 4**	**W 5**	**W 6**	**Mean±SD**	**Significance**
Saponins (%)	DAPC	3.10-5±8.10-5	1.10-5±4.10-5	3.10-5±8.10-5	0±0	0 ±0	0±0	1.10-5±4.10-5	0.001 (***)
	APC	0.20±0.23	0.58±0.45	1.13±0.73	1.56±0.63	1.73±0.46	1.84±0.54	1.17±0.78	
	LD	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0	
	Mean±SD	0.06±0.59	0.19±0.80	0.52±1.10	0.52±1.28	0.57±1.34	0.61±1.40	0.78±1.12	
	Significance	0.001 (***)							

***: P < 0.001, **: P < 0.01, *: P < 0.05, ns: not significant (P > 0.05). DAPC: Detoxified argane press cake die; APC: Non-detoxified argane press cake diet; LD: local diet; LW: Lactation weeks. Each reading is mean± SD (standard deviation) of triplicate analysis.

Conclusion

Throughout this study, the detoxification method, adopted to remove the saponin present in argane press cake, has been successful in reducing these anti-nutrients from 4.56 to 0.4 mg/g, which allowed argane press cake to be used as an animal feed.

The inclusion of the detoxified argane press cake in goat's diets affects the milk production. Daily milking of goats fed with detoxified argane press cake (DAPC) was significantly higher that of APC and LD diets. The microbiological quality of goat raw milk appears satisfactory, with lower contamination values counts APC samples compared to DAPC and LD samples while the technological flora of local goat milk remains relatively important. Our research shows that the number of germs of technological interest is very high, and this presents an economic and qualitative advantage for the industrialist. During the manufacture of cheese,

the fermentation could take place without the addition of the lactic ferment. Considering physicochemical and mineral parameters of goat milk, our results showed significant differences between diets and also, these parameters were affected by stage of lactation (weeks). The detoxification method decreased saponin in milk making it acceptable for goat kids. Finally, detoxified argane press cake appears to be a promising alternative for dry season feeding systems, thereby improving the livelihood of farmers in dry areas.

IV. Article 4: Fatty acid profile variations of Alpine goat's milk in response to detoxified *Argania spinosa* press cake supplementation

Variations du profil en acides gras du lait de chèvre Alpine en réponse à la supplémentation du tourteau détoxifiés d'*Argania spinosa*

Etat actuel de l'article : Cet article a été publié dans International Journal of Environmental Studies

1 Synthèse de l'article

La conduite alimentaire est un facteur déterminant dans la variation de la qualité du lait. La présence des saponines dans l'alimentation des caprins a des effets controversés sur la production et la qualité du lait. Les résultats obtenus dans cette étude sur l'utilisation du tourteau de l'arganier riche en saponines dans la ration alimentaire chez la chèvre en lactation, ont montré une diminution de la quantité du lait produit, suite à une importante diminution de l'activité microbienne et de la digestion des protéines au niveau de l'intestin. Toutefois, l'utilisation du tourteau de l'arganier exempte de saponines dans la ration alimentaire chez la chèvre en lactation a montré une nette amélioration significative de la production laitière et éventuellement de la composition du lait.

Certaines études ont rapportés que les saponines peuvent affecter la teneur du lait en matières grasses et par conséquent en acides gras. Ces derniers sont bien connus par leur bienfait nutritionnel et diététique pour l'homme, que l'on ne trouve dans aucune autre source de graisses alimentaires (MacRae *et al,* 2005). Malgré cela, pendant de nombreuses années, le lait a souffert d'une mauvaise réputation sur le plan des maladies cardio-vasculaires en raison de sa richesse en acides gras saturés (Wilkins *et al,* 2017). Pourtant, des études récentes ont montré que le lait ne doit pas être marginalisé. Outre, des propriétés anti-cancérigènes ont été attribuées à l'acide linoléique conjugué (CLA) C18 :2 (Hilali *et al,* 2018), ainsi l'acide linolénique (C18 :3) avait des effets protecteurs contre les maladies cardiovasculaires, et d'autres acides gras ont été aussi liés à la santé humaine en raison de leur nature mono-insaturés ou polyinsaturés. En outre, le profil en acides gras du lait peut être largement influencé par l'alimentation des chèvres laitières (Yurchenko *et al,* 2018). L'incorporation des sous-produits agricoles dans le régime alimentaire des ruminants peut donc être une solution à l'amélioration de la qualité nutritionnelle du lait. L'objectif de la présente étude était d'étudier

l'effet de l'inclusion de tourteaux d'argane détoxifiés dans l'alimentation de la chèvre Alpine sur le profil en acides gras du lait produit.

Les résultats obtenus pour la caractérisation des acides gras dans le lait de chèvre ont montré que les acides gras à courte chaine (C6 :0, C8 :0 et C10 :0) n'étaient pas affectés par le facteur alimentaire ($p>0,05$), tandis que la différence des concentrations des acides gras (C12:0, C14:0, C16:0 et C18:0) dans le lait de chèvre était significative ($p <0,05$) en faveur du lot témoin. Cependant pour les acides gras palmitoléique (C16 :1) et oléique (C18 :1) la différence était hautement significative ($p<0.001$) et significative pour l'acide gras linoléique (C18 :2), en faveur de lait des lots TD et TND.

Benchaar et Chouinard (2009), ont rapporté que les saponines de *Yucca schidigera* (60g/jour ce qui correspond à 10% de saponines) à modifier le processus de bio-hydrogénation ruminale des acides gras, en diminuant la concentration des acides gras saturés dans la matière grasse du lait de la vache C6 :0 (2,95 *Vs* 2,71 %), C8 :0 (1,89 *Vs* 1,66 %), et de plus en plus la concentration de l'acide gras C18 :1 (1,01% vs 0,92%). Autres études ont, également, rapporté que la supplémentation des vaches laitières par 40g/kg de MS de saponines du thé a un changement temporel dans la composition en acides gras du lait qui a été caractérisé par une augmentation des acides gras insaturés C16:1 et C18:1.

La proportion en acides gras saturés (AGS) renfermée dans le lait de chèvres des lots TD et TND était significativement inferieure (69,58 et 69,82%, respectivement) par rapport au lot témoin (76,62%). Toutefois, la teneur en acides gras mono-insaturés (AGMI) et polyinsaturé (AGPI) était plus élevée, dans les échantillons du lait provenant des lots TD (28,13% et 2.92%, respectivement) et TND (27,18% et 3%, respectivement) par rapport à ceux du lait témoin (22,81% et 0,57%, respectivement). D'après ces résultats on peut considérer que le lait de chèvres alimentées avec le tourteau d'argane (détoxifié ou non) évoque une typicité grâce aux faibles proportions en acides gras saturés cependant des teneurs significativement élevées en AGMI et en AGPI. L'amélioration du régime alimentaire des animaux peut augmenter la teneur en acides gras polyinsaturé et faire du lait une source plus importante d'acide α-linolénique (Alzahal *et al*, 2009).

Si on compare qualitativement la matière grasse laitière avec les "bonnes" huiles végétales qui apportent les acides gras polyinsaturés (colza, noix), mono-insaturés (olive, argane, etc.) (Caroprese *et al*, 2010), alors la matière grasse laitière constitue (en quantité raisonnable) un complément naturel à ces corps gras en apportant les acides gras qu'on ne trouve pas dans les huiles.

International Journal of Environmental Studies

Routledge
Taylor & Francis Group

ISSN: (Print) (Online) Journal homepage: https://www.tandfonline.com/loi/genv20

Fatty acid profile variations of Alpine goat's milk in response to detoxified *Argania spinosa* press cake supplementation

Nazha Lakram , Ikram Mercha , Sana Moutik , El Haj El Maadoudi , Rachid Kabbour , Ahmed Douaik & Mariam Naciri

Abstract

The present study aimed to evaluate the effect of incorporating detoxified Argane press cake in goats' diet on milk fatty acids profiles. The use of the detoxification process presents a new way to use Argane by-products. Obtained results showed that goat's milk fat of Argane diet by-product could produce a greater proportion of unsaturated fatty acid. This research work provides evidence that the inclusion of Argane feedstuff affects the milk fatty acids and therefore gives rise to potential health benefits. Furthermore, the incorporation of these alternative food resources into the diet of small ruminants would undoubtedly reduce the pressure on silvo-pastoral resources and production costs and consequently improve the income of Moroccan livestock farmers.

Keywords: Argane; goat; milk; fattyacid.

Introduction

In recent years, consumer awareness of the link between diet and health has led to a rising demand for goat's milk and its derivatives (Guo 2003; Yurchenko *et al*, 2018). These products contain compounds like fat, in particular, fatty acid profiles that provide health benefits for human beings, which cannot be found in any other sources of dietary products (MacRae *et al*, 2005). It is well known that goat's milk fat has greater digestibility owing to the lower milk fat globule size (Yurchenko *et al*, 2018). Besides, goat's milk has a lower concentration of allergenic proteins than cow's milk (Lakram *et al*, 2019a). The quality of dietary milk fats has been related to cardiovascular disease (CVD), cancer, and diabetes because of the high saturated fat content (Wilkins *et al*, 2017). Polyunsaturated fatty acid

(PUFA) has protective effects against CVD. Thus, conjugated linoleic acids (CLA) have been found to have a positive effect against cancer and obesity (Hilali *et al,* 2018). In addition, the fatty acid composition of goat's milk is influenced by several factors such as the composition of feed, weather, and stage of lactation (Yurchenko et al, 2018).

In Morocco, ruminant livestock represent an important socioeconomic sector and are between 25 and 30% of gross domestic farm product. The global population of goats', as recorded in the statistics of the Food and Agriculture Organization (FAO), is approximately 1 billion, about 5.3 million being in Morocco. In addition, the amounts of goat's milk produced in the country reached nearly 34 tonnes p.a. (Lakram *et al,* 2019b). Moroccan goat producers are usually constrained by the high feed costs owing to the lack of forage sources. Therefore, including available plant by-products in the ruminants' diet can overcome these problems, especially in the milk production period. The plant by-products are recognized as a rich and cheap source of bioactive components (Taarji *et al,* 2017). The economic use of these undervalued resources is of great interest.

Among the non-conventional food resources, the Argane tree (*Argania spinosa*) of the Sapotaceae family is an endemic species in the Southwestern of Morocco where it covers more than 17 % of Moroccan forest (Charrouf and Guillaume 2009). Annually, *A. spinosa* produces about 350.000 tonnes of fruit used for Argane oil production; which generates large quantities of by-products, about 43% of pulp, 52.6% of shells and 2% of press cake. Argane trees play an essential part in the sustainable development of this part of the world. Argane by-products are alternative protein sources for livestock in Morocco (Mercha *et al,* 2019a).

The Argane press cake (APC) is the residue obtained after Argane oil extraction; it is often viewed as a cheap protein-rich source (23 to 49%) with lipids (18 to 28%) (El Aich *et al,* 2012). Indeed, this by-product could be a strategic resource to reduce livestock feed gaps in Morocco (Mercha *et al,* 2019b). Nevertheless, the Argane press cake contains bitter saponins (4%) (Charrouf *et al,* 1992). Their astringent and irritating flavour makes the APC unpalatable for the livestock and reduces goat's feed intake. Furthermore, saponins impair both digestion of protein and uptake of vitamins and minerals during the intestinal transit (Lakram *et al,* 2019c). Besides being unpalatable, APC reduces the quality of the animals' milk, affecting the growth, and sometimes leading to severe diarrhoea in young ruminants (El Hadi 2012). In order to improve its quality and make it more appetizing to livestock, detoxification of the APC is carried out at the National Institute of Agronomic Research (INRA) in Rabat (Morocco). The objective of the present study was to investigate the effect

of the inclusion of detoxified Argane press cake in the diets of the Alpine goat on the fatty acids profile of the produced milk.

Materials and methods

Experimental design, animals, and diets

The feeding trial was conducted for 90 days on a farm at Meskala-Essaouira region Morocco, using 18 lactating Alpine goats. They were randomly allotted 3 dietary treatments: local diet (LD) and two experimental diets based on detoxified Argane press cake (DAPC) and non-detoxified Argane press cake (APC) as we described previously [4]. Following the INRA system, the nutritional balance was established according to the energy and protein requirements of goats in the lactation phase. Tables 1 and 2 show the offered feeds' percentage and chemical composition. Before the researchers collected a database, goats were adapted to the new feeding regime

Table 1. Ingredients of the diets fed to goats

	DAPC	**APC**	**LD**
Ingredients (g/100g of fresh matter)			
Argane press cake detoxified	20	0	0
Argane press cake non detoxified	0	20	0
Corn silage	16	16	50
Lucerne	17	17	35
Wheat bran	15	15	0
Ground carob	16	16	0
Barley	14	14	0
Trade food	0	0	15
Minerals and vitamins	2	2	0

DAPC: Detoxified argane press cake diet; APC: Non-detoxified argane press cake diet; LD: local diet

Table 2. Chemical composition of the diets fed to goats

	DAPC	APC	LD
Dry matter (%)	89.59	88.12	88.14
Crude protein (%)	17.95	18.05	15.6
Ash (%)	7.58	8.23	10.01
Crude fiber (%)	18.15	15.27	17.10
Lipid (%)	3.22	4.53	1.78
Fatty acids (%)			
C14 :0	0.15	0.20	1.1
C16 :0	12.57	14.9	18.2
C16 :1	0.2	0.10	0.09
C18 : 0	5.00	6.3	5.94
C18 : 1	42.77	46.4	39.2
C18 : 2	34.9	31.5	26.3
FU/kg DM	0.86	0.86	0.79
Feed intake (kg DM/ day)	1.75	0.90	1.25

DAPC: Detoxified argane press cake diet; **APC:** Non-detoxified argane press cake diet; **LD:** local diet. Fatty acids: **C14:0,** myristic acid; **C16:0**, palmitic acid; **C16:1**, palmitoleic acid; **C18:0,** stearic acid; **C18:1**, oleic acid; **C18:2**, linoleic acid; **FU**: Feed Unit.

Detoxified argane press cake

Argane press cake detoxification was carried out as described in our previous work (Lakram *et al.* 2019c).

Milk samples

The raw milk samples were obtained weekly during the suckling phase by hand-milking; the goats were milked twice daily (morning and evening). Every milk sample was the sum of the two milkings and was directly collected into sterile bottles without the addition of preservative and kept at 4 °C. On arrival at the laboratory, all milk samples were stored at -20 °C until fatty acid profiling.

Extraction of fatty acids

In order to determine the milk fatty acid profile, the extracted lipids were methylated according to the method of El-Hamdani *et al.*(2017) with slight modifications, an aliquot of liquid milk (10 mL) was centrifuged at 10.000 × g for 30 min at 5°C, and then approximately 50 mg of milk fat was taken and placed into 50 mL centrifuge tubes to which 2 mL of 0.5 N methanolic NaOH (prepared previously by dissolving 2 g of NaOH in 100 mL of methanol) was added for methanolysis. The tubes were mixed for one minute then heated at 90°C for10 min, and then cooled under a stream of cold water. Then 2 mL of 14% boron trifluoride (BF3) were added. All the components were mixed for one minute and heated at 90°C for10 min. Then the tubes were cooled at room temperature. After adding 2 mL of n-hexane, and 4 mL of distilling water, the tubes were placed in a shaker for 10min then centrifuged at 2880 ×g for

15min. The upper hexane layer containing the methyl esters was analysed by gas chromatography and mass spectrometry (GC-MS).

Gas-Chromatographic analysis

Fatty acid methyl esters (FAMEs) analyses were carried out using gas chromatography equipped with a flame ionization detector (FID) and a capillary column (dimensions 30 m × 0.25 mm × 0.25 μm).The following conditions were applied: Helium was used as a carrier gas; samples were injected (1μL) at a split ratio of 20:1, the temperature of the column was kept for 10 min at 35°C, then increased with a rate of 8°C/min to reach 250°C and held for 7 min at this temperature. The detector had the temperature of 290 °C. The FAMEs were identified by comparing their retention time against fatty acid methyl standards. Results for each fatty acid are expressed as the value of three replicates, and as a percentage of the sum of total FAs, and saturated FAs, monounsaturated FAs, and PUFAs were calculated.

Statistical analysis

The effect of the three diets and six lactation weeks as well as their interaction was evaluated using the Statistical Analysis System software (SAS 2006) mixed procedure. Results are shown as a mean ± standard deviation (SD). Repeated measures were evaluated using the test of the differences of the least squares means. Significant differences were considered at $p<0.05$.

Results

Fatty acid profile of goat's milk

The milk FA composition is affected by several factors such as genetic predisposition, stage of lactation, feeding, etc. Several studies have discussed the effects of feeding on FA composition. This effect is the main factor in proportion of unsaturated FA (UFA), and breed effect is relatively high in saturated FA (SFA). The results from Table 3 showed that the concentration of the short-chain FAs (SCFA) (6:0, 8:0 and 10:0) were not affected by the dietary factor ($p> 0.05$), whereas the difference in the medium-chain FAs (MCFA) concentrations (C12:0 and C14:0) in the milk of goats was significant ($p <0.05$) in favour of the control group (LD). Likewise, the long-chain fatty acids (LCFA) such as palmitic acid (C16:0) and stearic acid (C18:0) followed the same tendency as MCFA. The average percentage of palmitoleic acid (C16:1) was higher in milk fat from goat fed by detoxified (DAPC) and non-detoxified argane press cake (APC) diets in relation to the control diet. Similarly, oleic acid (C18:1) and linoleic acid (C18:2) were highest in a diet containing DAPC and APC compared to the control diet group.

Table 3. The percentage of the fatty acid in goat milk as function of diet and lactation weeks

		Lactation weeks (LW)							Statistical
Parameter	**Diet**	**W1**	**W2**	**W3**	**W4**	**W5**	**W6**	**Mean±SD**	**Signficance**
C6:0 (%)	DAPC	2.40±1.97	3.00±1.36	2.00±2.07	2.42±1.19	2.99±0.83	2.39±0.38	2.53±1.30	0.09 (ns)
	APC	2.46±1.23	2.32±0.65	2.00±2.02	1.72±0.92	2.69±0.13	2.31±0.77	2.25±0.95	
	LD	2.90±1.89	3.11±1.36	3.69±2.28	2.42±1.82	2.81±0.83	2.66±0.35	2.93±1.42	
	Mean± SD	2.58±1.69	2.81±1.12	2.56±2.12	2.18±1.31	2.83±0.59	2.45±0.50	2.57±1.22	
C8:0 (%)	DAPC	3.30±1.76	3.51±0.40	3.00±1.42	2.59±0.55	3.60±1.19	2.84±1.25	3.14±1.09	0.06 (ns)
	APC	2.65±1.48	2.71±1.53	2.43±1.18	3.18±0.24	3.64±0.95	3.44±1.23	3.00±1.10	
	LD	3.85±1.18	4.10±0.55	4.12±1.10	4.20±0.33	4.28±0.49	3.36±0.59	3.98±0.72	
	Mean± SD	3.26±1.50	3.44±0.82	3.18±1.23	3.32±0.37	3.85±0.89	3.21±1.02	3.37±0.97	
C10:0 (%)	DAPC	11.20±1.83	10.93±2.53	11.59±5.41	11.47±0.48	12.36±0.81	12.06±0.52	11.60±1.93	0.85 (ns)
	APC	11.29±1.08	11.60±0.65	12.44±3.97	11.70±0.53	11.89±0.31	11.68±0.55	11.76±1.18	
	LD	11.84±1.03	11.90±0.99	12.44±3.41	12.03±0.55	11.37±0.16	11.73±0.20	11.88±1.05	
	Mean± SD	11.44±1.31	11.47±1.39	12.15±4.26	11.73±0.52	11.87±0.42	11.82±0.42	11.74±1.38	
C12:0 (%)	DAPC	4.65±1.23	4.80±0.93	4.25±0.64	4.29±0.53	4.43±0.31	4.37±0.55	4.46±0.69	0.05 (*)
	APC	4.89±1.11	4.14±0.67	4.23±1.51	4.41±0.55	4.52±0.16	4.56±0.20	4.46±0.70	
	LD	5.06±1.19	5.68±0.53	5.28±0.44	5.14±0.48	6.30±0.81	6.15±0.52	5.60±0.66	
	Mean±SD	4.86±1.17	4.87±0.71	4.58±0.86	4.61±0.52	5.08±0.42	5.02±0.42	4.84±0.68	
C14:0 (%)	DAPC	10.52±4.36	11.13±4.02	11.66±0.41	10.15±3.00	10.29±3.68	11.50±1.33	10.87±2.80	0.05 (*)
	APC	10.85±2.54	10.74±1.93	11.80±1.60	11.58±5.26	10.75±4.01	10.82±1.24	11.09±2.76	
	LD	10.80±2.00	11.79±2.45	12.63±1.00	12.75±2.21	11.97±3.14	11.08±0.50	11.83±1.83	
	Mean± SD	10.72±2.96	11.22±2.80	12.03±1.00	11.49±3.49	11.00±3.61	11.13±0.58	11.26±2.36	
C16:0 (%)	DAPC	30.70±5.60	28.17±4.08	27.20±1.53	25.76±5.32	24.82±2.52	20.76±4.15	26.23±3.86	0.02 (*)
	APC	30.24±5.60	29.01±8.45	26.75±3.51	28.01±3.17	24.22±7.03	20.03±3.72	26.37±5.24	
	LD	30.38±0.38	30.64±4.95	26.89±4.65	26.35±9.04	28.18±5.21	26.79±6.32	28.20±5.09	
	Mean± SD	30.44±3.86	29.27±5.82	26.94±3.23	26.70±5.84	25.74±4.92	22.52±4.72	26.93±4.73	
C16:1 (%)	DAPC	0.75±0.08	0.95±0.23	1.00±0.25	0.93±0.17	0.62±0.09	0.48±0.24	0.78±0.22	0.03 (*)
	APC	0.74±0.05	0.81±0.23	0.96±0.17	1.26±0.19	0.72±0.21	0.59±0.19	0.84±0.27	
	LD	0.44±0.07	0.51±0.27	0.38±0.10	0.38±0.07	0.36±0.07	0.55±0.20	0.43±0.24	
	Mean± SD	0.46±0.06	0.55±0.24	0.48±0.17	0.45±0.14	0.56±0.12	0.54±0.22	0.50±0.24	
C18:0 (%)	DAPC	10.61±0.72	10.20±2.07	10.45±1.02	9.36±4.36	11.97±3.06	11.92±3.86	10.75±2.51	0.008 (**)
	APC	10.54±1.20	10.70±0.14	11.25±2.73	10.02±3.73	11.79±4.15	11.05±4.24	10.89±2.69	
	LD	10.50±3.51	10.91±4.26	12.69±2.04	11.95±2.37	13.40±2.19	13.22±3.15	12.11±2.92	
	Mean± SD	10.55±1.81	10.60±2.15	11.46±1.93	10.44±3.48	12.38±3.23	12.06±3.75	11.25±2.70	
C18:1 (%)	DAPC	23.46±3.97	25.23±3.76	27.27±1.26	28.00±7.11	29.43±6.19	29.27±3.13	27.11±4.23	0.002 (**)
	APC	23.72±1.17	24.16±5.03	25.00±4.30	25.77±9.90	29.01±3.79	30.19±3.46	26.30±4.60	
	LD	23.53±0.71	21.00±3.84	23.37±3.77	25.06±9.94	18.97±9.65	22.38±8.66	22.38±6.09	
	Mean± SD	23.57±1.95	23.46±4.21	25.21±3.11	26.27±8.98	25.80±6.54	27.28±5.08	25.26±4.97	
C18:2 (%)	DAPC	1.12±0.25	2.38±0.38	2.39±0.56	2.69±1.74	2.73±1.62	2.45±0.85	2.29±0.90	0.001 (***)
	APC	1.30±0.48	2.49±0.25	3.02±0.79	3.37±0.72	3.39±1.40	4.47±1.09	3.00±0.78	
	LD	0.52±0.33	0.54±0.18	0.53±0.61	0.60±0.36	0.58±0.19	0.70±0.14	0.57±0.30	
	Mean± SD	0.98±0.35	1.80±0.27	1.98±0.65	2.22±0.94	2.23±1.07	2.54±0.69	1.95±0.66	

Fatty acids: C6:0, caproic acid; C8:0, caprylic acid; C10:0, capric acid; C12:0, lauric acid; C14:0, myristic acid; C16:0, palmitic acid;C16:1, palmitoleic acid; C18:0, stearic acid; C18:1, oleic acid; C18:2, linoleic acid; **DAPC:** Detoxified argane press cake diet; **APC:** Non-detoxified argane press cake diet; **LD:** local diet; **SD**: standard deviation.

In this study, the average concentration of SFA and UFA, including monounsaturated FAs (MUFA) and polyunsaturated FAs (PUFA), changes between the diets and stage of lactation. The mean proportions of MUFA and PUFA were respectively higher in milk fat from goats fed DAPC (27.9 ± 1.1% and 2.3 ± 0.2%) and APC (27.2 ± 1.1% and 3.0 ± 0.7%) diets than in milk fat samples obtained from goat fed by control diet (MUFA= 22.8 ± 0.7% and PUFA= 0.6 ± 0.2%) as shown in Figure 1.

Nevertheless, the mean proportions of SFAs (Figure 1) were higher in milk fat from goat feed by LD diet (76.4 ± 1.4%) than in milk fat samples collected from DAPC and APC diets (69.4 ± 1.0% and 69.8 ± 1.3%, respectively).

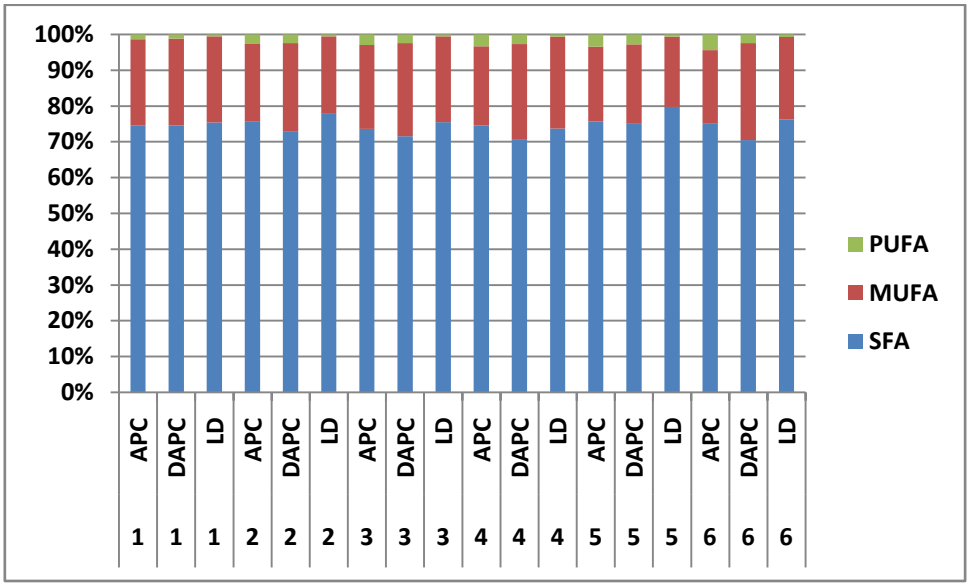


Figure 1: The SFA, MUFA and PUFA percentages of goat milk as function of diet type and lactation weeks

Discussion

Fatty acid profile of goat's milk

The profile of fatty acids is mainly affected by several factors including breed, stage of lactation, milking system, goat feeding, and seasonal and regional effects (Bucevic-Popovic *et al,* 2014). In our study, the results showed that FA were affected by feeding and stage of lactation. These results are in agreement with those of Guo (2003). Indeed, various studies demonstrated that the fatty acids in milk with chain lengths from C4:0 to C10:0 derived from *de novo* synthesis in the mammary gland (Chilliard *et al,* 2000). Whereas, the fatty acids C12:0 to C16:0 have been found to be most sensitive to feeding (Yurchenko *et al,* 20018).

Likewise, the proportion of C16:1, C18:1 and C18:2 in milk could be affected by feeding. This finding is in accordance with our results; that showed a decrease of C12:0 to C18:0 proportion in milk obtained from goats fed by Argane by-product diets. On the other hand, the proportion of C16:1, C18:1 and C18:2 increased which can be explained by the high unsaturated fatty content in Argane press cake. According to several studies saponin substances can improve the fatty acid profile; by increasing the unsaturated proportion and decreasing the saturated one (Wang *et al,* 2017). Therefore, it will have a positive impact on human health. Interestingly, C16 originates from both the diet and the mammary gland (Liu *et al,* 2016).

Saturated fatty acids (SFA) have always been regarded negatively since they have been reported as contributing to cardiovascular disease (CVD). Many studies have focused on reducing the intake of SFA and increasing specific unsaturated fatty acids in ruminant milk to decrease the risk of CVD (Briggs *et al,* 2017). In our case the milk fat from the DAPC and APC diets contains less SFA; this finding is in accordance with human nutritional strategies.

Concerning the mono-unsaturated fatty acids (MUFA) is considered a positive component of milk, which composed of a little palmitoleic acid (C16:1) but a substantial amount of oleic acid (C18:1) which is considered as cardio protective and it also has some properties against cancer (Saroha *et al,* 2014). Markiewicz-Keszycka *et al.* (2013) reported that the MUFA proportion in goat milk fat was 24.48%. This result was lower than our DAPC and APC groups and was higher than that of the group receiving LD diet.

In this study, the proportions of polyunsaturated fatty acids (PUFA) were not present at high levels in the milk fat samples. These findings are in agreement with Bucevic-Popovic *et al.* (2014) who reported that levels of PUFA were low in ruminant milk fats because of the extensive dietary PUFAs biohydrogenation in the rumen. Various studies have demonstrated that MUFA and PUFA fatty acids are linked with beneficial effects on LDL and HDL cholesterol (Lima *et al,* 2000), and have a preventive role in cardiovascular disease (Castro *et al,* 2004).

Socio-economic benefits

Argane press cake can contribute to regional and national development by assisting dairy producers whatever the scale of their enterprise. The results of this research can improve rural incomes and the sustainability of resources (biodiversity). Applying this knowledge can unite the university, the industry, and the consumers of milk products.

Conclusion

This study confirmed that there is a significant impact on goat milk fatty acid composition according to the type of diet and stage of milk lactation.

It is concluded that, in terms of performances, detoxified Argane press cake could replace the conventional diet for goats without substantial detrimental effects. On the contrary, it was noticed that the group fed with non-detoxified APC suffered from a loss of appetite and weight owing to the bitter taste caused by the saponin. Therefore, a diet incorporating detoxified Argane press cake could be used as a nutritional strategy to enhance milk FA profile for better health.

V. Article 5: Incorporating detoxified *Argania spinosa* press cake into the diet of Alpine goats affects the antioxidant activity and levels of polyphenol compounds in their milk

L'incorporation du tourteau d'*Argania spinosa* détoxifié dans l'alimentation des chèvres Alpines affecte l'activité anti-oxydante et la teneur en composés phénoliques dans leur lait

Etat actuel de l'article : Cet article a été publié dans International Journal of Environmental Studies

1 Synthèse de l'article

Dans les systèmes d'élevage caprins modernes, où l'objectif principal est d'obtenir des produits de haute qualité ; le concept de qualité comprend non seulement un produit sain pour le consommateur, mais également l'utilisation de pratiques agricoles respectueuses de la santé des animaux, dans des systèmes intensifs ou extensifs. L'objectif de notre étude était d'évaluer que l'incorporation des sous-produits de l'arganier riche en composés bioactifs dans l'alimentation des animaux se reflètent dans la production de lait qui répond parfaitement au concept d'aliments fonctionnels dans l'alimentation humaine. Pour ces raisons, il existe un intérêt croissant pour la qualité compositionnelle des sous-produits agricoles, car ils comprenaient certains micro-constituants (composés phénoliques et caroténoïdes…) qui contribuent au goût et aux propriétés nutritionnelles du lait et du fromage (Fraisse *et al*, 2007) en combinaison avec leurs propriétés anti-oxydantes (notamment pour les poly-phénols).

Les produits laitiers, lorsqu'ils sont consommés régulièrement en quantités raisonnables, sont néanmoins associés à une prévalence significativement plus faible d'obésité, de diabète type 2, de syndrome métabolique, de maladies cardiovasculaires et de certains cancers. Dans cet effet protecteur, il est surprenant que leur le potentiel antioxydant a rarement été promu, alors que c'est systématiquement le cas pour les produits végétaux. Il est donc particulièrement intéressant d'examiner les recherches scientifiques sur le pouvoir antioxydant des produits laitiers tels que le lait, le yaourt et le fromage. Les résultats montrent clairement que ce potentiel n'est pas négligeable et doit probablement être l'un des mécanismes de protection, entre autres, des produits laitiers face à certaines maladies chroniques. Par ailleurs, de nombreuses organisations de santé et de nutrition traditionnelles dans le monde entier

recommandent la consommation quotidienne de produits laitiers pour une santé optimale (Bishop-MacDonald, 2005).

Selon Fardet (2017), la capacité antioxydante des laits diffère selon l'espèce avec des valeurs de 1,0, 1,7, 2,1 et 2,8µM Trolox Equivalent/mL respectivement pour le lait maternel, de vache, de bufflonne et de chèvre. Ces différences s'expliquent principalement par des compositions différentes des laits en composés antioxydants. Il convient également de noter que le potentiel antioxydant des produits laitiers dépend de la race de l'animal, de stade de lactation, de son alimentation (composition, quantité et complémentation) et des variations saisonnières.

La présente étude a montré que l'alimentation des animaux et leur stade de lactation ont un impact significatif ($p < 0,05$) sur les variables étudiées : la teneur du lait en polyphénol et flavonoïdes, ainsi son pouvoir antioxydant. On constate que l'utilisation de la ration TD en comparaison aux rations TND et T, s'accompagne d'une amélioration significative des composés phénoliques (367,91 vs 289,03et 179,26 mg EAG/g MS du lait respectivement ; $p < 0,05$), des flavonoïdes (120.76 vs 105.72 et 89.86 mg EQ/g MS de lait respectivement ; $p < 0,05$) et la capacité antioxydant (71,19 vs 64,22 et 61,57% respectivement ; $p < 0,05$).

Au cours de ces travaux, il est intéressant d'étudier les propriétés anti-oxydantes du lait caprin et de ses dérivés. Par exemple, les antioxydants du lait peuvent avoir des effets sur la santé en renforçant la défense contre le stress oxydatif des consommateurs. Par ailleurs, il a été constaté que la consommation du lait diminuait le stress de peroxydation dans le cerveau du rat en développement. Dans des études antérieures, le lait et plusieurs fractions de celui-ci se sont révélés avoir des propriétés anti-oxydantes. Par exemple, le lait entier, le lait écrémé, le lactosérum et la caséine inhibent la peroxydation lipidique et la génération de radicaux peroxyle/superoxyde. La lactoferrine peut lier le fer et inhiber la peroxydation lipidique induite par le fer. Et enfin, les hydrolysats du lait, du lait fermenté, de la caséine et du lactosérum se sont révélés être des antioxydants et certains d'entre eux ont été brevetés. Ces exemples montrent que plusieurs composants sont actifs dans la prévention de la peroxydation lipidique, le maintien de la qualité du lait.

International Journal of Environmental Studies

ISSN: 0020-7233 (Print) 1029-0400 (Online) Journal homepage: https://www.tandfonline.com/loi/genv20

Incorporating detoxified *Argania spinosa* press cake into the diet of Alpine goats affects the antioxidant activity and levels of polyphenol compounds in their milk

Nazha Lakram, Ikram Mercha, El Haj El Maadoudi, Rachid Kabbour, Ahmed Douaik, Abdelah El Housni & Mariam Naciri

Abstract

Goat's milk is an excellent source of antioxidants that resist oxidative stress. This paper reports on a study of Alpine goats, showing that introducing detoxified Argane press cake (DAPC) into their diet affected the antioxidant activity and polyphenol compounds in their milk during lactation. The results showed that the bioactive com- pounds of goat milk vary significantly ($p < 0.001$) depending on both their feed and milk lactation stage. The milk samples obtained from goats fed DAPC ranked highest total phenolic content, flavonoids, and DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) assays (367.91 ± 102.17 mg GAE/g of milk dry matter [DM], 120.76 ± 24.21 mg QE/g of milk DM, and 71.19 ± 2.84%, respectively) compared to milk samples collected from goats fed a diet including non-detoxified Argane press cake (289.03 ± 104.42 mg GAE/g of milk DM, 105.72 ± 13.60 mg QE/g of milk DM, and 64.22 ± 2.45%, respectively) and milk samples from goats fed a local diet (179.26 ± 81.28 mg GAE/g of milk DM, 89.86 ± 17.83 mg QE/g of milk DM, and 61.57 ± 5.08%, respectively). Additionally, the data revealed that including DAPC in the goat diet offers a good method for raising the amounts of total phenolic compounds and total flavonoids, with antioxidant activity in goat's milk.

Keywords: Argane; goat's milk; antioxidant; polyphenol.

Introduction

Goat's milk is considered a healthy food, owing to its composition and recognized benefits for human well-being. Furthermore, goat milk offers a less allergenic and more digestible alternative to cow's milk (Guo, 2003; Yurchenko *et al*, 2018). The antioxidant compounds present in milk can belong to a large variety of functional components, such as phenols, flavonoids, carotenoids, and vitamins (E and C), or even proteins (Simos *et al,* 2011). Therefore, milk high in antioxidant activity will reflect greater oxidative stability (Simos *et al,* 2011), improving health protection for the consumer against damage caused by free-radical-induced oxidative stress (Alyaqoubi *et al,* 2014).

Both goat feed and the stage of milk lactation have been proven to affect the production and composition of goat's milk. The incorporation of plant by-products in the ruminants' diets may affect the composition of goat's milk and may influence antioxidant activity (Jordan *et al,* 2010).

The Argane tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels) is endemic to Southwestern Morocco, where it grows in an area of 830,000 hectares (Charrouf and Guillaume, 2009; Taarji *et al,* 2017). It provides important by-products (such as press cake and pulp), which present one of the few alternative feed resources for livestock in dry areas (Bendaou *et al,* 2011). Argane press cake (APC), the by-product remaining after Argane oil extraction, constitutes a potential source of proteins (having average levels of 48%) for animals (Charrouf and Pioch, 2009). Its superior digestibility ranges between 92 and 95% of the APC's dry matter (DM) (El Hadi, 2012). APC has an average forage milk value of about1.20 F.U.L/kg of DM. In addition, APC is rich in bioactive components, especially total phenolic content, with an average of 500 mg/kg of DM (Rojas *et al,*2005); but it is best known for being rich in saponins.

The saponin content in APC presents one of the greatest challenges for its practical use, since its bitter taste reduces goats' feed intake (Das *et al,* 2012). Further, the saponin degrades the quality of the milk by transmitting an unpleasant taste and can lead to severe diarrhea in young ruminants (Léonard, 1987; M'Hirit, 2000). The current technology for detoxifying APC adequately preserves its high saponin levels as well as enhancing its nutritional value and increasing its palatability.

Previous studies on bioactive compounds in foods have demonstrated their desirable health benefits, including the reduced risk of many degenerative diseases, such as cancer and cardiovascular disease (Chávez-Servín *et al*, 2018). Nevertheless, the bioactive compounds in goat's milk have not yet received much study. Accordingly, this study sought to evaluate how

feeding regimes affect the antioxidant activity, total phenolic content, and flavonoid substances of goat's milk.

Materials and Methods

Experimental design, animals, and diets

The study conducted on a farm located in Essaouira (in the Meskala area of south-western Morocco), lasted 90 days. The climate in this region can be described as semiarid, with dry summers and humid winters. The study used eighteen milking Alpine goats and allocated them to three groups, the first one which ate unmodified APC and the second one which was fed detoxified APC, and a control group that ate the normal local diet (LD). Before collecting the samples, the animals got a two-week period of adaptation to the new feeding conditions. Table 1 describes the percentages and chemical composition of the offered feeds.

The antioxidant capacity, total phenolic compounds (TPC), and total flavonoid contents (TFC) were then evaluated in an aliquot extract obtained from the feed rations and milk samples.

Table 1. Ingredients and chemical composition of the diets

	DAPC	**APC**	**LD**
Ingredients (g/100g of fresh matter)			
Argane press cake detoxified	20%	0	0
Argane press cake non detoxified	0	20%	0
Corn silage	16%	16%	50%
Lucerne	17%	17%	35%
Wheat bran	15%	15%	0
Ground carob	16%	16%	0
Barley	14%	14%	0
Concentrate	0	0	15%
Minerals and vitamins	2%	2%	0
Composition:			
Dry matter (%)	89.59	88.12	88.14
Crude protein (%)	17.95	18.05	15.6
Ash (%)	7.58	8.23	10.01
Crude fibre (%)	18.15	15.27	17.10
Ether extract (%)	3.22	4.53	1.78
P (%)	6.69	5.91	4.46
Ca (%)	7.5	6.8	5.3
Mg (%)	5.8	5.5	5.3
Zn (%)	2.5	3.00	2.00

DAPC: Detoxified Argane press cake diet; APC: Non-detoxified Argane press cake diet; LD: local diet. P: phosphorus, Ca: Calcium, Mg: Magnesium, Zn: Zinc.

Detoxification of Argane press cake

The study used the response surface methodology to optimize the various detoxification factors (boiling temperature, volumes, and various lengths of time) for better saponin elimination from APC (Table 2). The optimum method for detoxifying APC was to heat it in distilled water at 80°C for 25 minutes and then dry it at 40°C in a hot air oven.

Table2. Central composite design to optimize the conditions of the detoxification of Argane press cake by boiling in distilled water

Exp N°	Volume (mL)	Temperature (°C)	Time (min)
1	5.00	40.00	25.00
2	20.00	40.00	25.00
3	5.00	120.00	25.00
4	20.00	120.00	25.00
5	5.00	80.00	10.00
6	20.00	80.00	10.00
7	5.00	80.00	40.00
8	20.00	80.00	40.00
9	12.50	40.00	10.00
10	12.50	120.00	10.00
11	12.50	40.00	40.00
12	12.50	120.00	40.00
13	12.50	80.00	25.00
14	12.50	80.00	25.00
15	12.50	80.00	25.00
16	12.50	80.00	25.00

A randomized, three-factor, three-level Central Composite design was carried out with three replicates of each point.

Feed and milk samples antioxidant extraction

For each gram of milled feed ration, 20 mL of 80% aqueous ethanol were added and then stirred for three hours at room temperature and in low light, followed by centrifugation at 3000 rpm for ten minutes. The extraction of antioxidant compounds from milk samples followed the method described by Alyaqoubi *et al*. (2014), with some modifications. The extraction solvent was prepared using one normal solution of HCl (1 N) and 95% ethanol (15:85, v/v).Then 10 mL of this solvent was added to one mL of the milk sample. The mixture of solvent and samples was reacted at 30°C for 1 h, with shaking at 300 rpm in a rotary shaker then centrifuged at 7800 × g at 5°C for 15 min.

Afterward, all supernatants were collected, filtered, and kept at −20°C in the dark until further analysis for TPC, TFC, and DPPH radical scavenging activity.

Determination of total phenolic content (TPC)

Total phenolic content was quantified using the Folin-Ciocalteu method (Li *et al*, 2007). Approximately 200 µL pf extracted goat's milk and forage samples were added to 1 mL of diluted (1:10 v/v in water) Folin-Ciocalteu reagent. After one minute, 800 µL of sodium

carbonate (Na_2CO_3, 7.5%, w/v) were added. During the oxidation of the phenols, the Folin-Ciocalteu's reagent, a mixture of phosphotungstic acid and phosphomolybdic acid was reduced to blue-coloured oxides of tungsten and molybdenum (Galili and Hovav, 2014). All the extracts were incubated in the dark at room temperature for two hours. Gallic acid (0–500 µg/mL) was used for the standard calibration curve. The absorbance was measured at 765 nm using a Shimadzu-2450 UV–Vis spectro- photometer; the equation of the line used was y = 0.012x-0.006, with R^2 = 0.999. The results were expressed as milligrams of Gallic acid equivalent (GAE)/g DM of milk sample and/or feed samples.

Estimation of total flavonoids content (TFC)

Measuring the flavonoid compounds in extracts was performed according to the method of Bahorun *et al.* (1996). One ml of extracted goat's milk and/or forage extract was added to one mL of an aluminium chloride methanolic solution (2% v/v or w/v). After 10 minutes of incubation at room temperature and in low-light conditions, the absorbance was measured at 430 nm. The concentrations of flavonoids were deduced from the calibration range established with Quercetin (0–500 µg/mL; R^2 = 0.945) and reported in milligrams of Quercetin equivalent (QE)/g of dry weight milk and/or feed sample.

DPPH radical scavenging activity

The study determined the antioxidant activity of the extracts through the scavenging activity of the stable DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) free radical carried out using the method described by Alyaqoubi *et al.* (2014) with minor modifications. Briefly, to prepare the stock solution, 40 mg of DPPH were dissolved in 100 mL methanol. An aliquot of 200 µL of milk and/or forage extracts was added to 1.8 mL of a methanol solution of DPPH. The mixture was shaken vigorously using a vortex mixer and then left to stand for 30 minutes in the dark at room temperature to allow the scavenging reaction to arise. The absorbance of the reaction mixture was measured at 517 nm by the spectrophotometer. The percentage of DPPH scavenging activity was calculated through the following equation:

DPPH scavenging activity (%) = [(A control – A sample)/A control] × 100; where A is the absorbance, and the DPPH solution without sample solution served as the control.

Extraction and determination of saponins

Extraction of saponins from samples of feed was carried out following the method of Charrouf (1991). Total saponin content was spectrophotometrically determined using a procedure previously described by Hiai *et al*. (1976).

Statistical analysis

The study used the statistical method of analysis of variance (one way ANOVA) to evaluate how diet and week of lactation affected the goats along with how these factors interacted with such bioactive compounds of goat's milk as total amounts of phenol and flavonoid contents, as well as the percentage of DPPH scavenging activity. Owing to the temporal nature of the lactation-week factor, and to account for the fact that two measurements of milk samples taken close together in time will more likely be similar than two made at more distant times, the study used a repeated measurement model for ANOVA two factors in temporal correlations. In addition, because measurements made on the same animal will be likely to be more similar than those made on different animals, the animal factor was included in the model as a random factor, whereas both diet and week of lactation were considered as fixed factors, thus leading to the use of a mixed model. After trying different correlation structures, the best structure was selected based on the Akaike information criterion (AIC). The results are shown as the mean ± standard deviation, and the pairwise comparison of means was evaluated using the test of the differences of the least squares means. Differences with a p-value less than 0.05 were considered significant.

Results and discussion

Detoxification of Argane press cake

The detoxification of APC was accomplished by heating it (at a ratio of 1:12.5 g/mL w: v) in the water at 80°C for 25 minutes. The detoxification reduces the APC's saponin contents to 0.4 mg/g as compared to non-detoxified Argane press cake containing 4.56 mg/g of saponins (Figure 1).

This combination of soaking and heating processes substantially reduced the saponin contents of the processed APC; the aglycone may decompose with the application of high energy, such as when heated at higher temperatures. Hence, thermolabile saponins degrade during heating (Shi *et al,* 2009).Thermal treatments affect saponin degradation more strongly because they break the linkage bond between aglycone and sugar chain (Heng *et al,* 2006). By contrast, Singh *et al.* (2015) reported that the saponin content increased in 14 vegetables during the microwave boiling in normal water at a ratio of 100:100 w/v for five minutes.

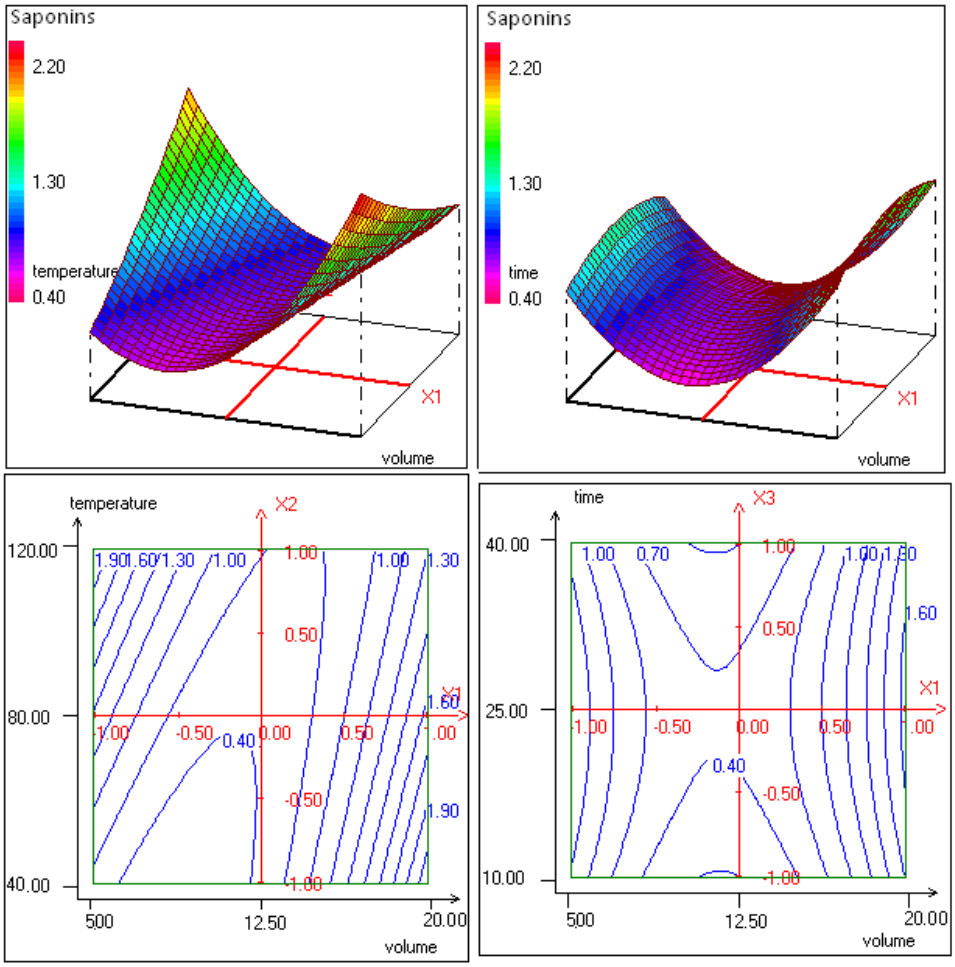


Figure 1. Response surface and contour plots showing the effect of boiling in distilled water on level of saponins from Argane press cake.

Bioactive compounds of diets

Among the diets offered, the experimental diet based on DAPC supplied the largest amount of total phenolic compounds, flavonoids, and the highest percentage of DPPH, as shown in Figure 2, with averages of 408.28 ± 74.3 mg GAE/g of DM, 387.08 ± 2.43 mg QE/g of DM, and 90.29 ± 1.37%, respectively. Compare this to the experimental diet that included non-detoxified APC (313 ± 5.3 mg GAE/g of DM, 238.8 ± 21 mg QE/g of DM, and 83 ± 1.7%, respectively) and the local diet used by farmers (234.41 ± 1.04 mg GAE/g of DM, 228.9 ± 35.66 mg QE/g of DM, and 79 ± 1.02%, respectively).

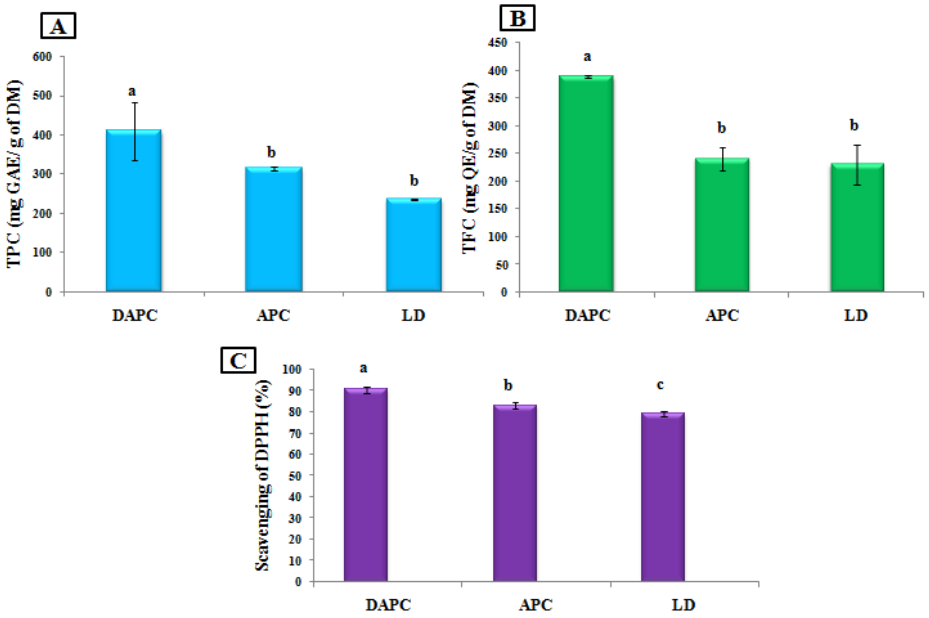


Figure 2. (A) Total phenolic compounds (TPC) content of diets; (B) Total flavonoid contents (TFC) of diets; (C)DPPH radical scavenging activity of diets.

Data are presented as mean ± SD, n = 3 experiments, ^{abc}Different letters for the diets in the same parameter indicate significant difference($p < 0.05$). DAPC: diet including detoxified Argane press cake; APC: diet based on cake non-detoxified Argane press; LD: local diet.

By comparing the diet based on DAPC to the diet containing APC, this study showed that the detoxification of APC enhanced the availability of the measured bioactive compounds. This beneficial result probably arises from changing the com- pound matrix and boiling temperature. Thus, the detoxification process positively influenced total polyphenol concentrations, possibly by converting complex phenols into simple phenols (Bernhardt and Schlich, 2006). Moreover, the increase in total flavonoids in the detoxified diet may be caused by the increased levels of free flavonols (Singh *et al*, 2015). The results obtained are consistent with the work done by Sahlin *et al.* (2004), who found that boiling increased the total phenolic content of green beans, pepper, and broccoli. Furthermore, Turkmen *et al.*(2005) reported that boiling led to an increase in the total antioxidant activity of pepper, green beans, broccoli, and spinach. On the other hand, Azizah *et al.* (2009) reported that boiling pumpkins reduced their total concentrations of phenolic compounds. These authors suggest that the boiling process might breakdown or lose phenolics indicating that most of the bioactive compounds are easily solubilized because of their relative sensitivity to heat treatment.

Bioactive compounds of goat milk

The present study demonstrates that the animals' feed and their stage of lactation had significant ($p < 0.05$) impact on the studied variables: TPC, TFC, and antioxidant activity. The results obtained (Figure 3) showed that milk from goats fed DAPC exhibited the highest TPC along the weeks of lactation, averaging 367.91 ± 102.17 mg GAE/g of milk DM, compared to milk samples taken from goats fed the APC and LD diets with averages, respectively, of 289.03 ± 104.42 mg GAE/g of milk DM and 179.26 ± 81.28 mg GAE/g of milk DM. These values are close to those found by Satir and Guzel-Seydim (2015) of goat's milk produced in Turkish intensive feeding conditions, namely 389.33 mg GAE/ml.

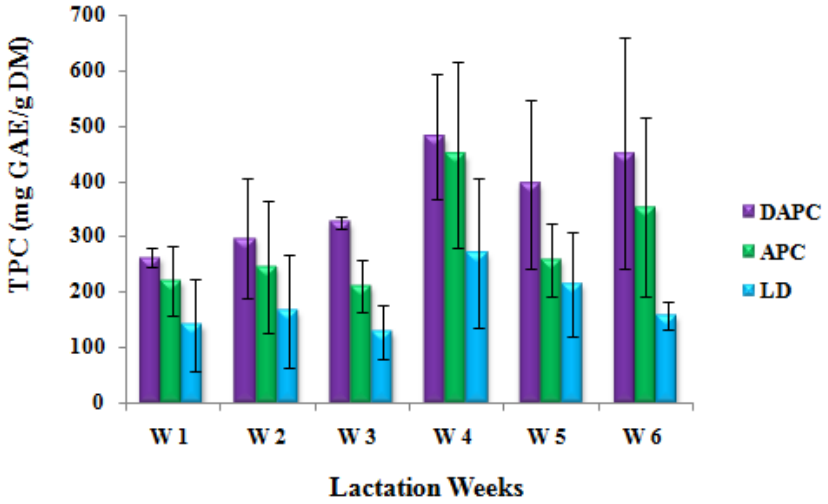


Figure 3. Total phenolic compounds (TPC) in goat's milk in function of diet type and lactation week

Data are presented as mean ± SD, n = 3 experiments, p values; *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$. DAPC: milk collected from goat fed by the diet including detoxified Argane press cake; APC: milk obtained from goat fed by the diet based on non-detoxified Argane press cake; LD: milk received from goat fed by local diet.

Moreover, total flavonoid content (Figure 4) followed the same tendency; the highest levels in milk came from goats fed DAPC (120.76 ± 24.21 mg QE/g of milk DM). The milk samples collected from goats fed both the APC and LD diets were, respectively, 105.72 ± 13.60 mg QE/g of milk DM and 89.86 ± 17.83 mg QE/g of milk DM. Hilario *et al.*(2009), when comparing two feeding systems, showed that TPC and flavonoid concen- trations were affected by the animals' feed. Alaoui *et al.* (2016) reported that phenolic content and levels of flavonoid compounds potentially act as indicators of antioxidant activity.

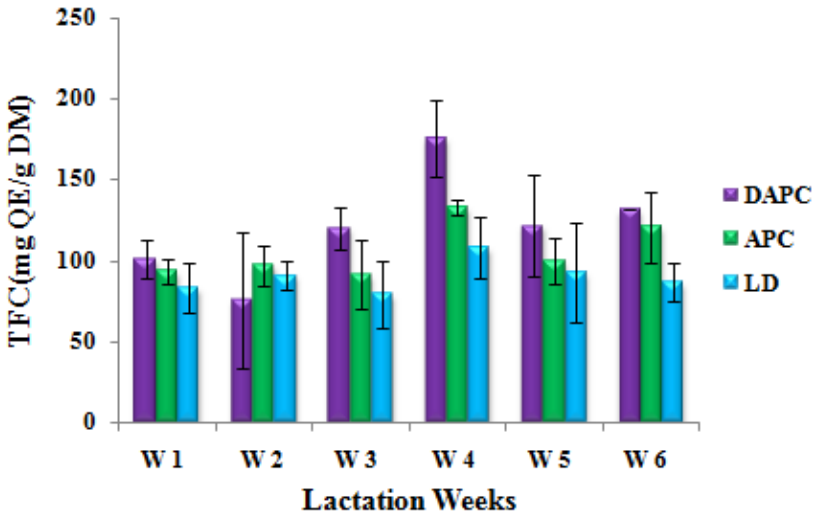


Figure 4. Total flavonoid contents (TFC) in goat's milk depended on feeding type and lactation week

Data are presented as mean ± SD, n = 3 experiments, p values; *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$. DAPC: milk collected from goat fed by the diet including detoxified Argane press cake; APC: milk obtained from goat fed by the diet based on non-detoxified Argane press cake; LD: milk received from goat fed by local diet.

The variation in the antioxidant activity of the milk samples during the weeks of lactation depends on the goats' diets (Figure 5), as characterized by the colour change from purple to yellow. This chemical reaction occurs owing to the scavenging of free radicals by antioxidants through hydrogen donation or electron transfer to form the stable DPPH–H molecule (Azizah *et al,* 2009). Our results showed that milk samples collected from goats fed the DAPC diet had by far the greatest antioxidant activity as measured by DPPH assay, with an average 71.19 ± 2.84% against only 64.22 ± 2.45% and 61.57 ± 5.08%, respectively, in milk from goats fed the APC and LD diets. These results are in accordance with those reported by Alyaqoubi *et al*. (2014), which are 65.85%, but these same authors have mentioned in the previous study that the scavenging percentage DPPH was 59.68% of goat breeds in Malaysia (Alyaqoubi *et al,*2015).

In addition, at the third week of lactation, when the animals overproduced milk, the levels of phenolic compounds and antioxidant activity decreased in all milk samples. These results agree with the results of previously published studies, which confirmed that high milk production in a dairy animal reduces antioxidant activity (Castillo *et al,* 2005).

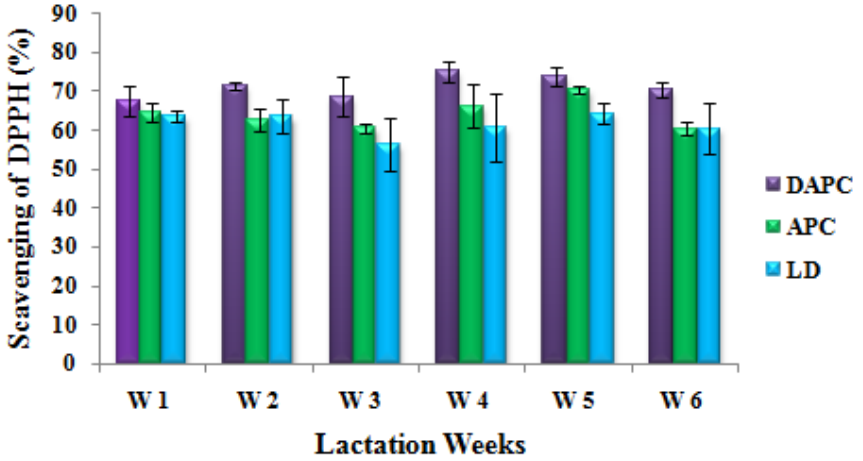


Figure 5.DPPH radical scavenging activity of goat's milk as related to diet type and lactation stage

Data are presented as mean ± SD, n = 3 experiments, p values; *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$. DAPC: milk collected from goat fed by the diet including detoxified Argane press cake; APC: milk obtained from goat fed by the diet based on non-detoxified Argane press cake; LD: milk received from goat fed by local diet.

Pilot study

This work is part of a pilot project, led by the Moroccan Ministry of Agriculture and the National Institute of Agronomic Research, which includes the production and large- scale marketing of the studied food diet in the region of Essaouira, in order to valorize the by-products of the Argane tree in the region and to improve the quality of life of the concerned farmers. Two manufacturing units have already been set up in Essaouira. They will start marketing the diet shortly.

Conclusions

The current study reveals that a goat's diet and lactation stage influences TPC concentrations, flavonoid contents, and antioxidant activity of her milk. The diet based on detoxified Argane press cake represents a better option than either those based on non-detoxified Argane press cake or the unmodified local diet. The DAPC diet produced a healthier profile of bioactive compounds and increased the milk's antioxidant activity.

VI. Article 6: The effect of fed detoxified Argane oilcake on Alpine goat's cheese: Microbiological, physicochemical and antioxidant properties

Effet du tourteau de l'arganier détoxifié sur le fromage de chèvre Alpines : propriétés microbiologiques, physicochimiques et anti-oxydantes

Etat actuel de l'article : Cet article a été soumis pour publication au journal "Small Ruminant Research"

1 Synthèse de l'article

Le lait de chèvre atteint aujourd'hui une importance plus grande que dans le passé au Maroc, notamment en raison de la popularité de ses produits, en particulier le fromage. Ce produit laitier est très apprécié par le consommateur marocain tant du point de vue organoleptique que nutritionnel. En outre, il attise toutes les convoitises puisque les industriels s'y sont intéressés de très près et sont aujourd'hui capables de produire un fromage frais qualitatif à l'échelle industrielle. De ce fait, il existe aujourd'hui de nombreuses méthodes de préparation du fromage, et par conséquent, plusieurs variétés de fromage frais sont commercialisées au Maroc. L'enjeu de cette étude vise à produire un fromage frais au lait de chèvre répondant aux normes de consommation, en qualité sanitaire et nutritionnelle. Dans cette optique, une sélection de souches lactiques autochtones a été réalisée pour l'amélioration de la qualité technologique des fromages fabriqués, et de leur innocuité. Parmi les plus performantes, *Lactococcus lactis* et *Streptococcus thermophilus* ont été choisie sur la base de leur activité antibactérienne et technologique comme ferment adapté. Pour évaluer l'effet de l'alimentation sur la qualité microbiologique et nutritionnelle du fromage, on a fabriqué trois fromages (F1, F2 et F3) avec des laits de chèvre pasteurisés qui provient des rations, respectivement, TD, TND et T selon un protocole de fabrication retenu mis au point au laboratoire. Une analyse microbiologique avec rigueur a été faite durant la fabrication et la conservation (4°C) durant 14 jours. Et les résultats obtenus ont fait preuve de bonne qualité hygiénique. En effet, on note une réduction continuelle de la flore totale aérobie mésophile et une absence totale des bactéries pathogènes (*Staphylococcus aureus*) ainsi des coliformes totaux et fécaux au terme de la période de conservation. La haute qualité sanitaire de ces trois fromages a été possible grâce aux bonnes pratiques et au respect des règles d'hygiène applicables au niveau du laboratoire. Les analyses des propriétés physico-chimiques de ces fromages ainsi leurs propriétés anti-oxydantes et leurs teneurs en composés phénoliques

totaux étaient intéressantes. D'après les résultats obtenus, nous avons constaté à 14 jours de stockage que, le pH était plus bas pour les deux fromages préparé par les laits produit par les animaux recevant les rations TD et TND que celui du formage témoin, 4,54, 4,75 et 5,12 respectivement. Pour ce qui est de la teneur en protéine et en matière grasse étaient significativement plus élevé dans le fromage F1 préparé avec le lait des chèvres alimentées avec le tourteau détoxifié (28,94 et 33,65%) ($p<0,05$) que le fromage F2 fabriqué avec le lait des chèvres nourries par le tourteau de l'arganier non-détoxifié (24,5 et 26,7%) et le fromage témoin F3 (25,2 et 30,72%). Dans l'ensemble, la ration à base du tourteau de l'arganier non-détoxifié a engendré une diminution significative de la qualité nutritive du lait et par conséquent du fromage F2, particulièrement la teneur en matière grasse et en matières protéiques suite à une importante diminution de l'activité microbienne et de la digestion des acides aminés au niveau de l'intestin à cause des saponines. Ce résultat peut être avantageux dans le sens d'obtenir naturellement des produits laitiers ayant une teneur moins élevée en matière grasse. Les fromages sont des dérivés laitiers reconnus pour leur teneur élevée en minéraux et oligo-éléments. De point de vue santé, le calcium des fromages est particulièrement bien absorbé et biodisponible. En effet, le calcium et le phosphore s'y retrouvent en quantités supérieures à celles du lait (3 à 4 fois plus). Dans cette étude, aucune différence significative n'a été observée entre les trois fromages, et ceci, concernant la teneur en magnésium, potassium et sodium. Cependant, les fromages F1 et F2 ont présenté une teneur relativement élevée en calcium comparés au témoin. Ce résultat peut être associé à l'activité acidifiante qui favorise la libération des ions calcium, dont les valeurs à 14 jours sont 381, 264 et 200 mg/100g, respectivement. Ainsi, les fromages F1 et F2 ont montré une teneur en phosphore intéressante par rapport au fromage témoin dont les valeurs pour F1, F2 et F3 soit respectivement, 485, 472 et 320 mg/100g.

Quant aux propriétés anti-oxydantes de fromage, le pourcentage d'inhibition de DPPH des fromages (F1 et F2) fabriqués à base de lait de chèvres alimentées avec le tourteau détoxifié (TD) et non-détoxifié (TND) sont significativement supérieur ($p<0,05$) pendant toute la période de conservation par rapport au fromage témoin. Pendant le $14^{éme}$ jours le pourcentage d'inhibition de DPPH est maximal, 50,07%, 44% et 32,18% pour F1, F2 et F3, respectivement. La teneur en polyphénols totaux estimée par la méthode des réactifs de Folin-Ciocalteu, montre une différence significative ($p<0,05$) dans les trois types de fromage. Durant toute la période de conservation la teneur moyenne en poly-phénols est supérieure dans le fromage F1 par rapport aux fromages F2 et F3, soit respectivement 160,7, 112,08 et

92µg EAG/g. Dans l'ensemble, on peut conclure que le potentiel antioxydant des produits laitiers est affecté par l'alimentation des animaux comme prouvé par Liu *et al.* (2018).

A l'issu de ce travail, les résultats obtenus confirment l'effet de l'alimentation sur le potentiel antioxydant des produits laitiers ainsi l'addition de ferment aux fromages (F1 et F2) entraîne également une augmentation de la capacité anti-oxydante comparé au fromage témoin. De même, Fardet (2017) a rapporté que toutes les souches de ferments augmentent le potentiel antioxydant ainsi l'effet synergique de plusieurs souches augmente encore la capacité anti-oxydante comparé à une seule souche isolée.

Article 6: The effect of fed detoxified Argane oil press cake on Alpine goat's cheese: Microbiological, physicochemical and antioxidant properties

Nazha Lakram[1,2*], Ikram Mercha[2,3], El Haj El Maadoudi[2], Rachid Kabbour[2], Ahmed Douaik[2] and Mariam Naciri[1]

[1] Research Center Biotechnology Vegetal and Microbial, Biodiversity and Environment, Laboratory of Biodiversity, Ecology, and Genome, Faculty of Sciences, University Mohammed V of Rabat, Avenue Ibn Batouta P.O. Box 1014 Rabat, Morocco.
[2] National Institute of Agronomic Research (INRA), RCAR-Rabat, P.O. Box 6570, Institutes, 10101, Rabat Morocco.
[3] Laboratory of Virology, Microbiology & Quality / Eco-toxicology & Biodiversity University Hassan II, Faculty of Science and Techniques of Mohammedia, P.O. Box 146 Mohammedia 20650 Morocco.

***Corresponding author**: nazha.lakram@gmail.com

Abstract

The dairy industry is important part of Moroccan agriculture that generates income and employment opportunities. Also, fermented dairy products gain increasing interests in the food industry due to their nutritional value and as excellent source of bioactive compounds. By-products from argane tree culture provided to goat could modify composition of its milk and its proceeded products. On another hand, lactic acid bacteria (LAB) occupy a central role for their ability to create a healthy equilibrium between beneficial and potentially harmful microorganisms in the gut. In the present study, involving eighteen lactating goat, we compared the nutritional status and bioactive compounds of cheese samples produced from three goats groups. The first goat group characterized by consuming a diet consisting of detoxified argane press oilcake, the second feeding a diet composed by argane non-detoxified press oilcake, while that the third represent a test group. This comparison was based on based on microbiological, physicochemical analyzes and antioxidant potential, The results showed that hygienic quality of the three cheeses was satisfactory, with low contamination values and a total absence of pathogenic bacteria. Significant differences in values of protein, fat, ash and mineral content in favor of cheese produced from DAPC group. The antioxidant capacity of cheese from argane diets (DAPC and APC) was higher during the 15 days of cold storage, 44.76 ± 4.1% and 38 ± 4.0%, respectively, while the cheese control having lower antioxidant capacity 32.18± 3.5%. Therefore, goat products could be considered as a functional food with benefits for human health.

Keywords. Argane, goat's cheese, microbiological, physicochemical, antioxidant.

Introduction

Goat breeding remains one of the important agricultural activities of farmers in several regions in Morocco, especially in rural areas (EL Kheyyat and EL Madidi, 2020). According to the latest estimates of Moroccan Ministry of Agriculture and Marine Fisheries, the goat population is approximately 5.3 million in the country, producing nearly 34 tons per year of milk (Zaaraoui et *al*, 2016) a large amount of it transformed into cheese. From the nutritional point of view, goat dairy products are richer in functional components (phenols, flavonoids, vitamins, minerals, proteins), and in unsaturated fatty acids (UFA) compared to cow dairy products (Currò et *al*, 2019). In addition, goats' milk and its derivative products are characterized by a smaller fat globule dimension (3.19 to 3.50 µm) which makes them easier to digest and are less allergenic because of the lower amount of αS_1 casein than cow milk (Currò et *al*,2019). Therefore, goat dairy products have been recommended for infants and for elderly people (Ribeiro and Ribeiro, 2010). Despite, the great interest of goat dairy products for nutritional and beneficial aspects of the human diet and health, it is surprising that their antioxidant potential has rarely been promoted, whereas this is systematically the case for plant products. While, the scientific knowledge shows clearly that dairy products are a significant source of antioxidants, in particular, because of their protein fraction (Khan et *al*, 2019). Overall, the cheeses exhibit a very great diversity of composition and structure, which can modulate their antioxidant potential,

Over the last years, there has been a growing interest in the animal feeding system, due to their direct impact on the quality of animal products and their subsequent acceptance by consumers (Galina et *al*, 2019). It has been documented that using the local resources in animal feed provides healthier milk, rich in the desirable bioactive compounds, which influences the cheese nutritional and health characteristics (Morand-Fehr et *al*, 2007; Galina et *al*, 2019). Furthermore, Morocco has a varied range of agricultural and agro-industrial by-products in considerable quantities, but they are underexploited (Lakram et *al*, 2019a). The by-products can be an alternative to reduce the high dependence on concentrated food as well as the high feed costs, which increasing the sustainability and the profitability of the farms.

In this context, Argane oil press cake (APC) by-product of Argane oil extraction is rich in cellulose (21.3%), fat (15.5-25.5%), phenolic compounds (500 mg/kg of DM) , and proteins (48.4%) that represent a strategic resource that may help to fill the protein gap characterized Moroccan animal feeding at a competitive price (Mercha et *al*,2019a). However, the APC is excessively bitter and acrid owing to triterpenoids (saponins)

(Guillaume and Charrouf, 2005), which makes APC unpalatable by the small ruminants (i.e. goat). Therefore, it is essential to remove or to reduce the concentrations of this anti-nutrient via detoxification which was carried out at National Institute of Agricultural Researches (INRA Rabat, Morocco) to enhance its nutritional value and increase its palatability. Therefore, the current study focuses on the valorization of the Argane oilcake in goat diet in order to reduce the high feed costs on the Moroccan breeders and to evaluate the incorporation impact of this by-product on properties of goat cheese produced.

Material and methods

Experimental design, animals, and diets

The milk samples used in this study were obtained from a local dairy farm, FOUIRAT Dairy Farm, Meskala, Essaouira Province. Eighteen goats Alpine in early lactation were selected and divided evenly into three groups. Group (DAPC), received detoxified argane oilcake (20%), corn silage (16%), alfalfa (17%), wheat bran (14%), ground carob (16%), barley (14%), and minerals/vitamins complement (2%). Group (APC), was received the same fed ration of group (DAPC) but replacing the detoxified argane oilcake with the non-detoxified argane oilcake. Group (LD) was fed local diet only consisting of corn silage (50%), alfalfa (35%) and concentrate feed (15%) which marketed for livestock; the diets were formulated and managed according to the energy and protein requirements of goats in the lactation phase following the INRA system (Table 1). Milk samples were collected aseptically in sterile bottles without the addition of preservative and kept at 4°C until arrival at the laboratory.

Table 1. Ingredients of the diets fed to goats.

	DAPC	**APC**	**LD**
Ingredients (g/100g of fresh matter)			
Detoxified argane press cake	20	0	0
Non-detoxified argane press cake	0	20	0
Corn silage	16	16	50
Lucerne	17	17	35
Wheat bran	15	15	0
Ground carob	16	16	0
Barley	14	14	0
Trade food	0	0	15
Minerals and vitamins	2	2	0

DAPC: Detoxified argane press cake diet; APC: Non-detoxified argane press cake diet; LD: local diet.

Starter culture

The starter culture used in this work had previously been isolated from each raw goat's milk group fed argane press cake non-detoxified (APC). The isolates were identified at species and strain level by 16S rDNA gene sequence analysis in National Centre for Scientific and Technical Research Rabat, Morocco (CNRST). The sequences obtained were determined using the BLAST program in NCBI GenBank (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST). After the technological and genetic characterization, two strains (lactococcus lactis and Streptococcus thermophiles) were selected from goat's milk group APC to be used as single starters based on their acidifying power.

Both strains were maintained on MRS broth at -20°C supplemented with 15% (v/v) glycerol. Then, the starter culture was obtained by overnight incubation at 37 °C in MRS broth, and another overnight in skim milk at 37°C.

Cheese making

A total of 15 L of goat milk was used in this study; each goat's milk group were pasteurized separately at 72 °C for 15 seconds, and then cooled to inoculation temperature 37°C (Jamaly et *al,* 2011). Therefore, three different variants of cheeses were produced, as follows:

Cheese (**C1**): the milk obtained from goat fed detoxified argane press oilcake (DAPC) was inoculated with 2% of starter culture composed by *Lactococcus lactis* and *Streptococcus thermophiles*;

Cheese (**C2**): the milk of goat fed with non-detoxified argane press oilcake (APC) was inoculated with 2% of an autochthonous starter consisting of a mixture of *Lactococcus lactis* and *Streptococcus thermophiles*;

Cheese (**C3**): goat milk collected from control group (T) manufactured without added starter.

All milk batches were shacked for 30 min, coagulation took place over 30–45 min after the addition of 1 g of rennet for 5 L of milk. Then the container was put at 37°C for 18h, the next day, the molding and draining over 24h were performed (Jamaly et *al,* 2011).

Physicochemical analysis of cheese

Cheese samples for chemical determinations were analyzed for: pH by direct insertion of a pH probe, moisture content by drying at 105°C, ash content by burning the samples at 550°C (Benchekroun et *al,* 2014), crude protein by macro-Kjeldahl N analyses and crude fat by Soxhlet method (Manzali et *al,* 2017). For the determination of minerals, the incinerated samples of cheeses were dissolved in 2 ml of HCl and transferred with distilled water into a

volumetric flask of volume 100 mL. Afterwards, the sodium (Na^+) and potassium (K^+) were determined using flame photometer, while, phosphorus (P) content was determined by the acidified solution reaction of ammonium molybdate containing ascorbic acid. The trace elements, including iron (Fe^+), magnesium(Mg^+) and calcium(Ca^+) were analyzed by atomic absorption spectrometry (Lakram et *al,* 2019b) in a flame air-acetylene at 248.3 nm.

Antioxidant potential of cheese

Extract cheese preparation

For total antioxidant activity, about 2g of each cheese sample was homogenized with 10ml of distilled water. The homogenate was then transferred quantitatively to a test tube containing 5 ml of distilled water and was boiled for 5 minutes and then cooled. The resultant solution was filtered through a cheese-cloth and the volume was adjusted to 20 ml with distilled water. These sample solutions were used to measure the total antioxidant activity (Shaiban et *al,* 2006). The measurement of the total phenolic content in cheese samples, was performed according to the protocol of Shaiban et *al.*(2006) with some modifications.About 2g of cheese sample was homogenized and extracted for 30 minutes with 100ml of 80% methanol containing 1% HCl, then placed in shaker at 200rpm. And the mixture was cooled, filtered and the residue was washed with the same solvent.

Antioxidant activity by 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical (DPPH) inhibition assay

In this step of the present work search, the antioxidant activity evaluation using the DPPH inhibition by measuring the free radical scavenging ability of cheese extracts (Lakram et *al,* 2019a). Briefly, 1.8 ml of DPPH (60 mmol/L in methanol) were mixed with 200 µl cheese extract, and 250 µl of water were used as a control. The mixture was shaken thoroughly and allowed to stand at room temperature. The constant absorbance readings at 517 nm were recorded after 5 min and the inhibition of DPPH oxidation (%) was calculated as described before by Manzali et *al,* 2017:

DPPH scavenging activity (%) = [(A blank –A sample) / A blank] × 100 where A is the absorbance. DPPH free radical scavenging activity tests were all carried out in triplicate.

Total phenolic content assay

To quantify the total phenolic content, cheese extract (200 µl) was mixed with 1 ml of diluted (1:10 v/v in water) Folin-Ciocalteu reagent and after a thorough mixing the solutions were allowed to stand for 5 min at room temperature. Then, the Na_2CO_3 (800 µl, 7.5%, w/) was added, and after 60min of reaction at room temperature, the absorbance was determined at 760 nm (Mercha et *al,* 2019c).

Microbiological analysis

Cheeses samples (10g) were taken aseptically and homogenized with 90 mL of sterile peptone water then shaking for 30 s, then serial of decimal dilution were prepared and plated in duplicate. Total and fecal coliforms were grown in Violet Red Bile Agar and incubated for 24h at 30°C and 44 °C, respectively. Staphylococcus aureus were counted on Baird Parker agar at 37°C for 48 h. After incubation, all typical colonies were enumeratedand recorded as colony forming units per gram of cheese (cfu/g) (Mercha et *al*, 2019b).

Statistical analysis

The experiment was carried out in triplicate. Results obtained were subjected to statistical analysis employing ANOVA. Data were expressed as the man values ± standard deviation (SD) for each measurement, and the significance of differences between the means was established using Duncan's test at $p<0.05$.

Results and discussion

Physicochemical composition and nutritive value of diets

The diets tested offered a nutritional balance, and were established according to the energy and protein requirement of goat in the lactation phase and following international animal health care committee recommendations.

Ingredients percentage and chemical composition of the studied diets are summaries in Tables 1 and 2. The DAPC diet provided to the goats was composed of detoxified Argane oil press cake as protein and fatty matter source; corn silage, alfalfa, and wheat bran as fiber sources; ground carob as carbohydrate source. The APC diet contained the same ingredient of DAPC diet, except that the detoxified APC was replaced by crude APC (non-detoxified). The control diet was used locally by farmer. It composed by trade food, corn silage and alfalfa. All animals used in the study consumed detoxified APC without any notable trouble. However, the goats fed non-detoxified APC loss of appetite and weight owing to the saponin content, which decrease the feed palatability and consequently decreases the digestive efficiency of the feed ingested.

The argane diets (DAPC and APC) contained more crude protein (17.95% and 18.05%, respectively) than control diet (LD) (15.6%). This study's findings revealed higher protein content compared to a similar trials on ewes (14.25%) (Mohaddach et *al*, 2016). Those authors reported lower values of protein, which might be explained by the larger quantity of Argane's by-products contained in the APC and DAPC diet, which represents a good source of protein. The DAPC contained more CF (18.15%) than the APC and LD diets (15.27% and

15.93%, respectively). On the other hand, DAPC contained less ash (7.58%) than the APC and LD diets (8.23% and 10.81%, respectively), on a DM basis (Table 2).

Table 2. Chemical composition of the diets fed to goats.

	DAPC	**APC**	**LD**
Dry matter (%)	89.59	88.12	88.14
Crude protein (%)	17.95	18.05	15.6
Ash (%)	7.58	8.23	10.01
Crude fiber (%)	18.15	15.27	17.10
Lipid (%)	3.22	4.53	1.78
FU/kg DM	0.86	0.86	0.79
Feed intake (kg DM/ day)	1.75	0.90	1.25

DAPC: Detoxified argane press cake diet; APC: Non-detoxified argane press cake diet; LD: local diet.

Microbiological quality

The microbiological analysis of the three cheeses produced in the laboratory was carried out rigorously during production and storage (4°C) for 15 days. And the results obtained have demonstrated good hygienic quality. Indeed, we note a total absence of pathogenic bacteria (*Staphylococcus aureus*) and of coliforms (total and fecal). However, the presence in very small numbers of the total aerobic flora ($1.2\ 10^1$ ufc/g)

The high sanitary quality of these three cheeses was possible owing to good practices and compliance with the rules of hygiene applicable at the laboratory level.

Physicochemical composition of goat's cheese

The gross composition characteristics of the three goat's cheese during 14 days of storage at 4°C were shown in Table 3. The pH at the end of fermentation was observed lower for the two cheeses made with milks obtained from goats consuming DAPC and APC rations and inoculated with starter cultures (*Lactococcus lactis* and *Streptococcus thermophiles*) than that of control cheese 4.54± 0.03, 4.75±0.04 and 5.12±0.06 respectively. The fluctuations in pH during storage may be explained by the relative changes in the formation of organic acids and the alkaline nature of milk protein breakdown products (Sefa-Dedeh et *al,* 2001; Papadimitriou et *al,* 2007). The measurement of pH indicates free H+ concentration, generated through the production of organic acids by lactic acid bacteria (LAB). Probably, the decreasing of pH resulted in accumulation of acetic acid, citric acid, butyric acid, acetaldehyde, formic acid and lactic acid (Ostlie et *al,*2003) of resulting sugar breakdown (e.g. lactose) and protein products (Lourens-Hattingh and Viljoen, 2001; Papadimitriou et *al,* 2007).

During 14 days of cold storage, the moisture content of cheeses C1, C2 and C3 was decreased (Table3), concomitant with an increase in dry matter, both of which could be related to an increase in the protein and fat content, these results are consistent with those obtained by Oliveira et *al.*(2012).

The protein and fat content values increased in all types of cheeses during storage time with significant differences between batches in favor of cheese made with milk from goat consuming DAPC (protein= 28.94% and fat=33.65%), flowed by cheese made with milk from goat consuming APC (protein= 24.5% and fat=26.7%) and the control cheese (protein= 25.2% and fat=30.72%). As in our previous study, feed detoxified argane press oilcake supplementation could improve the milk protein and fat content, however, feed non-detoxified argane press oilcake incorporation decrease the milk fat contents due to the presence of the saponin, which led to a reduction of milk-fat synthesis (Aguiar et *al,*2014). Studies confirm that the feeding system influence goat milk, and reported that the cheese quality depends closely on the composition of milk (Morand-Fehr et *al,*2007). Concerning the Ash of the three cheeses increased slightly over the storage period (14 days in 4°C) as a consequence of salt diffusion.

Table3. The gross composition and physicochemical characteristics of goat cheese during 14 days of storage at 4 °C.

Parameter	Days of storage	C1	C2	C3
pH	0	4.88±0.97	4.88±1.09	5.19±0.07
	7	4.69±0.23	4.82±0.65	5.15±0.02
	14	4.54±0.89	4.75±1.00	5.12±0.28
Moisture (%)	0	56.62±0.41	57.57±0.40	57.64±1.10
	7	57.48±0.15	54.97±0.51	58.15±0.88
	14	56.72±0.12	54.20±0.55	56.46±0.99
Dry matter (%)	0	42.52±0.73	42.88±0.93	41.29±0.64
	7	42.52±0.73	42.91±0.67	41.85±1.51
	14	43.47±0.39	45.50±0.53	43.23±0.44
Protein (%)	0	27.86±1.36	20.03±1.02	22.73±0.41
	7	28.15±0.54	23.67±0.93	23.33±1.60
	14	28.94±0.60	24.50±0.45	25.20±1.00
Fat matter (%)	0	31.65±0.60	24.63±1.08	29.13±0.53
	7	32.69±0.60	25.01±1.45	29.75±0.51
	14	33.65±0.38	26.70±0.95	30.72±0.65
Ash (%)	0	4.35±0.18	4.03±0.23	4.25±0.20
	7	4.37±0.55	4.13±0.23	3.96±0.17
	14	4.44±0.37	4.20±0.27	4.38±1.10

Cheese is a dairy derivative known for its high content of minerals and trace elements. From a health point of view, the calcium in cheeses is particularly well absorbed and bioavailable. Indeed, calcium and phosphorus are found in quantities greater than those of milk (3 to 4 times more) (Jamaly et *al*, 2011). In this study, no significant difference was observed between the three cheeses, and this, concerning the magnesium, potassium and sodium content. However, cheeses C1 and C2 had a relatively high calcium content compared to the control. This result can be associated with the acidifying activity which promotes the release of calcium ions, whose values at 14 days are 381, 264 and 200 mg/100g, respectively. Thus, cheeses C1 and C2 showed interesting phosphorus content compared to the control cheese whose values for C1, C2 and C3 are respectively, 485, 472 and 320 mg / 100g (Table 4).

Table 4. Cheese mineral concentrations (mg/100 g) of goats as related to diet type

Parameter	Days of storage	C1	C2	C3
Ca	0	370.01±2.52	200.00±2.50	187.02±2.50
	7	380.60±2.88	253.80±3.66	197.01±0.81
	14	381.00±2.56	264.2 5±2.48	200.23±4.21
P	0	472.33±1.86	445.56±1.15	356.64±1.60
	7	475.73±1.16	454.97±2.11	357.15±2.00
	14	485.02±1.78	456.20±1.40	358.46±2.82
Na	0	54.16±2.48	53.97±1.99	53.22±1.59
	7	54.76±2.76	54.00±1.54	53..97±0.30
	14	54.77±1.00	54.60.50±1.19	54.76±1.54
K	0	855.67±1.74	817.29±1.58	824.51±1.50
	7	856467±1.64	827.06±1.80	840.90±1.05
	14	854.33±1.58	838.63±1.07	848.20±1.69
Mg	0	70.23±0.74	70.43±0.59	70.35±0.56
	7	70.76±0.38	70.53±0.80	70.96±0.78
	14	70.97±0.54	70.20±0.74	70.38±1.01

Antioxidant potential of goat's cheese

DPPH radical inhibition of cheese

In this part of study, DPPH inhibition of cheeses (C1 and C2) made using milk from goats fed detoxified (DAPC) and non-detoxified (APC) diets were significantly higher ($p < 0.05$) during the entire storage period compared to the control cheese. On days 14, highest DPPH inhibitions were shown by both cheese (C1 and C2) made with bacteria starter culture (*Lactococcus lactis* and *Streptococcus thermophiles*), 50.07 ± 4.1% and 44 ± 4.0%, respectively, while the percentage of inhibition showed with cheese made using goat milk fed local diet was the lower having 32.18± 3.5% (Figure 1). The antioxidant activity of cheese is

reported that can be influenced by several factors such as goat feeding, pasteurization and the type of bacterial culture involved in the maturation (Meira et *al*,2012) which delivering a vast number of bioactive peptides and free amino acids with different biological activities such as antioxidative activity (Hamad et *al*,2018), but amongst all these factors, feeding appears to be the most important factor because it is expressed not only by the diet ingested but also by the notion of "terroir" (Morand-Fehr et *al*,2007).

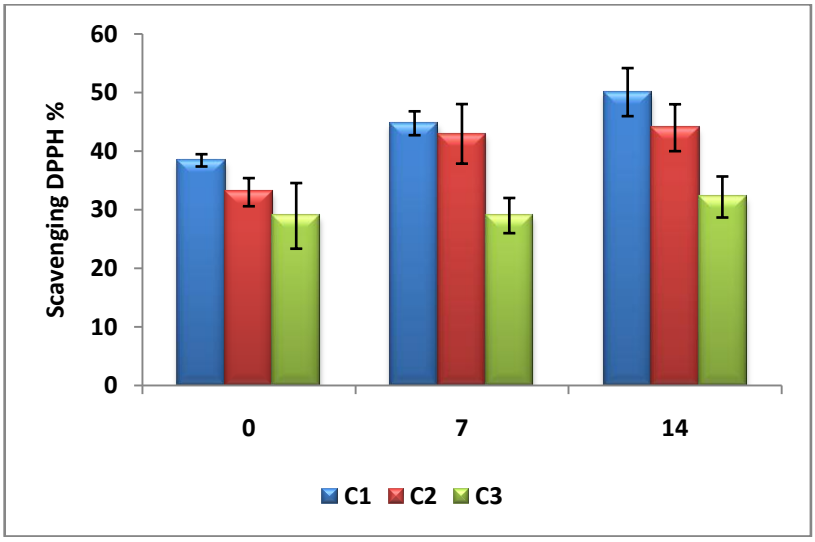


Figure 1: Changes in antioxidant activity (scavenging % of DPPH) of cheese during refrigerated (4°C) storage in days (14days). **C1**: cheese made with milk from goat fed detoxified argane press cake; **C2**: cheese made with milk from goat fed non-detoxified argane press cake; **C3**: cheese made with milk from goat fed local diet. Values are presented as mean ± SD (n = 3).

Paradoxical as it may seem, no study has evaluated the antioxidant potential of dairy products compared to other foods. While, the scientific knowledge shows clearly that dairy products are a significant source of antioxidants, in particular because of their protein fraction. Overall, the cheeses exhibit a very great diversity of composition and structure, which can modulate their antioxidant potential, Thus, the results of two studies using the same antioxidant test show that dairy products have an antioxidant capacity of the same order of magnitude as cereals, legumes and fruit juices (Wu et *al*,2004; Cloetens et *al*,2013).

Total phenolic content (TPC) of cheese

The total phenolic contents (TPC) estimated by the Folin–Ciocalteu reagent method of the different cheeses analyzed are presented in figure 2, the phenolic content average was higher in both cheeses made with milks obtained from goats fed DAPC and APC diets, when compared to that made with milk collected from goat fed with local diet, 160.7±5.0, 112.08±5.1 and 92±4.8 µg EAG/g respectively ($p< 0.05$). These values are close to those found by Delgadillo Puga *et al.* (2009). Moreover, Liu *et al.* (2018), when comparing two

feeding systems, showed that TPC concentrations were affected by the animals' feed; this finding is in accordance with our results.

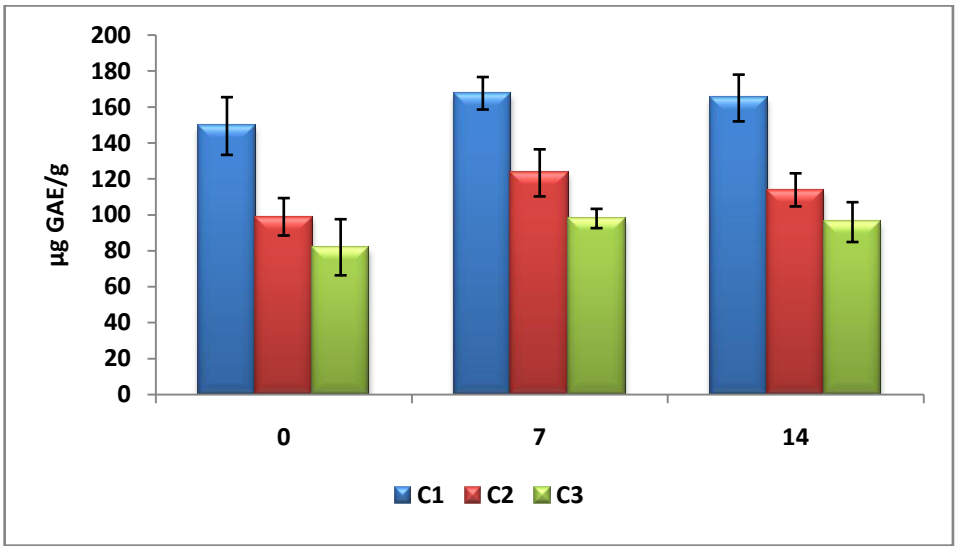


Figure 2: Changes in total phenolic content (TPC; µg GAE/g) of cheese during refrigerated (4°C) storage in days (15 days). **C1**: cheese made with milk from goat fed detoxified argane press cake; **C2**: cheese made with milk from goat fed non-detoxified argane press cake; **C3**: cheese made with milk from goat fed local diet. Values are presented as mean ± SD (n = 3).

It is known that a few studies related to the production of antioxidant peptides in milk fermented with lactic acid bacteria indicated that the development of radical scavenging activity was a strain-specific Characteristic, and radical scavengers were related to proteolysis (Kudoh et *al*, 2001; Virtanen et *al*, 2007). It has also been reported (Suriyaphan et *al*,2001) that the development of phenolic flavour defects in cheese is due to p-cresol, produced by an atypical salt resistant strain of Lactobacillus which originated from rennet that had not been filtered adequately before using.

Conclusion

Although during the last decade's goat's cheese has been the subject of many studies throughout the world, very few investigations have focused on the quality of cheese produced in our country. The use of a diet based on the argane tree sub products in replacement of a traditional one in goat's diets affect the cheese physicochemical, antioxidant activity and polyphenolic compounds significantly. The diet appears to be a promising alternative for dry season feeding systems and, thereby, to improve the livelihood of farmers in dry area.

Synthèse générale

Eu égard de l'importance de l'élevage au Maroc autant que principale composante de la production agricole, nous avons jugé très utile l'étude du déficit alimentaire des ruminants surtout pendant les périodes de soudure qui demeure l'un des grands problèmes entravant le développement de ce secteur. Toutefois, l'option qui reste à mobiliser pour faire face à ce déficit consiste en la valorisation des sous-produits agricoles et industriels pouvant joindre les rations ordinaires notamment le tourteau de l'arganier. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce présent travail dont les principaux objectifs tracés pour sa réalisation s'articulent autour de cinq articles scientifiques publiés, ou qui seront l'objet de futures publications scientifiques.

Selon l'enquête préliminaire réalisée dans cette étude, 90% des éleveurs enquêté sont convaincus de l'aspect économique de la production de viande à partir des sous-produits de l'arganier, de sa faible teneur en grasses et de son meilleur goût. D'autre part, tous les participants à l'enquête déclarent que le tourteau de l'arganier a un effet négatif sur la qualité et le goût du lait. Au regard de ces résultats, on a consacré la première publication à l'optimisation de la détoxification du tourteau d'argane afin de réduire sa teneur en saponines qui sont des antinutritionnels lui confère un goût très amère et le rend inappétant pour toutes les espèces animales. Seul le bovin semble accepter de consommer du tourteau d'argane amer. Pour ce faire, nous avons adopté la méthodologie des surfaces des réponses qui consistait à broyer l'échantillon du tourteau provenant d'Essaouira et à le soumettre à macération et/à ébullition dans trois milieux différents : eau distillée, solution de bicarbonate de sodium $NaHCO_3$ à différentes concentrations (0,02, 1,01 et 2%) et solution d'acide citrique $C_6H_8O_7$ à diverses concentrations (0,10, 1,05 et 2%). Les rapports respectifs du tourteau d'argane et des solutions ont été fixées à 1:5, 1:12,5 et 1:20 (p/v, g/mL), les temps de trempage respectifs choisis étaient de 1, 24 et 48h, les températures d'ébullition sélectionnées étaient respectivement de 40, 80 et 120 °C, et les temps d'ébullition étaient respectivement de 10, 25 et 40 min. Les expériences ont montré que le trempage du tourteau dans les milieux acides et alcalins réduisait plus efficacement les saponines avec une moyenne de 93% et 86% respectivement par rapport à son trempage dans l'eau distillée (36%). Tandis que nous avons observé que la réduction des saponines a été hautement significative par ébullition dans les différents milieux utilisés. D'autre part, le contenu nutritionnel du tourteau d'argane traité selon différents traitements a été légèrement diminué par rapport au non traité ; la teneur du tourteau d'argane non détoxifié en protéine brute était de 48%, comparée à celle détoxifiée comprise entre 40 et 47%. Par conséquent, la diminution des niveaux de saponines rendra le

tourteau plus appétissant pour les ruminants et pourrait améliorer le déficitaire protéique, des rations alimentaires du cheptel Marocain.

A la lumière de ces résultats, nous avons formulé un aliment complet à base du tourteau détoxifié par l'eau bouillé à 80°C pendant 25 min destiné au cheptel caprin. Afin d'évaluer l'impact de l'incorporation du tourteau détoxifié sur la production et la qualité compositionnelle du lait caprin étant donné que plusieurs études ont montré que l'alimentation affecte la composition nutritive du lait, à savoir, sa composition en éléments physico-chimiques, en profil d'acides gras, et bien son pouvoir antioxydant, et sa composition en polyhénols totaux et en flavonoïdes. De ce fait, des essais d'alimentation ont été réalisés en milieu réel dans la région d'Essaouira qui se caractérise par un climat méditerranéen semi-aride avec une pluviométrie annuelle d'en moyenne 330mm. Lors de cette étude Dix huit chèvres de race Alpine en lactation de poids moyen 42,5±5kg ont été utilisées. Ces chèvres ont été traitées au préalable contre les parasitoses internes aussi que externes et vaccinées contre les clostridioses animales et les principales maladies des petits ruminants conformément au programme national de vaccination. Elles ont été répartis en 3 lots aléatoires de 6 chèvres chacun, le premier lot reçoit une alimentation à base du tourteau d'arganier détoxifié (TD), le deuxième lot reçoit une alimentation à base du tourteau d'argane non détoxifié (TND) et le troisième reçoit une alimentation conventionnelle (T).

Les effets des régimes alimentaires et de la période de lactation sur la production laitière, la qualité microbiologique et compositionnelle du lait ont été étudiés au niveau du deuxième article scientifique. Dans cet article, les résultats ont montré que la quantité de lait dépend essentiellement de l'alimentation, ce qui est en accord avec plusieurs travaux antérieurs. Par ailleurs, la qualité microbiologique du lait cru collecté à partir des trois lots était satisfaisante, avec des valeurs de contamination plus faibles par rapport à plusieurs études au Maroc ou ailleurs. Mais, même si une démarche qualité semble nécessaire pour promouvoir les bonnes pratiques agricoles. Après une vérification de la salubrité des échantillons du lait, on a évalué leur qualité compositionnelle, soit sa composition en éléments physico-chimiques ou en différents éléments minéraux. Les paramètres physiques testés étaient : l'humidité, les solides totaux, la conductivité et le point de congélation. Certains paramètres d'intérêt ont été pris en considération aussi, y compris la matière grasse, les protéines, le lactose, les cendres, la densité, en effet, on a fait l'analyse de quelques minéraux comme : Ca, Mg, Na, K, P, Fe, Cu et Zn. L'analyse statistique par ANOVA a montré que la densité et le point de congélation n'étaient pas affectés par les traitements, à l'exception de la teneur en matière grasse et en protéine qui présentent plus de fluctuations pour les trois traitements ($p<0,05$), l'intérêt porté

aux matières grasse et aux matières azotées du lait tient au rapport étroit qui lie le rendement fromager à ces constituants majeurs du lait. Quant à la composition minérale la teneur en P et Na ont été plus élevé dans le lait des chèvres du lot TD. Tandis que les autres minéraux n'ont pas été affectés par le type d'alimentation animale et les semaines de lactation. D'autre part, aucune approche scientifique antérieure ne s'est intéressée à la détermination des saponines dans le lait; notre travail était le premier qui se concentrait sur l'évaluation de la présence de ces facteurs antinutritionnels dans le lait. Cette étude a mis en évidence l'existence des saponines dans le lait après l'ingestion du tourteau non détoxifié du fait qu'elles ont traversé les différentes barrières physiques et métaboliques.

Au regard des résultats obtenus, on a pensé à pousser la recherche, afin d'obtenir un produit sain et riche en nutriments typiques reliés à la qualité des rations distribué. Alors l'objectif tracé pour la troisième publication scientifique était de faire une analyse du profil en acides gras en prenant en considération les régimes alimentaires et les semaines de lactation. Les résultats obtenus ont montré que les acides gras à courte chaine (C6 et C10) n'étaient pas affectés par le facteur alimentaire tandis que la différence des concentrations des acides gras (C12, C14, C16 et C18) dans le lait de chèvres était significative, en faveur du lot témoin. Par conséquent, pendant de nombreuses années, le lait a connu une mauvaise réputation comme étant parmi les aliments qui sont à l'origine des maladies cardio-vasculaires en raison de sa richesse en acides gras saturés (Legrand, 2008).Pourtant, des études récentes ont montré que le lait ne doit pas être marginalisé. Outre sa teneur bien connue en calcium et en protéines, il peut posséder des vertus dans la lutte contre certaines maladies notamment cardio-vasculaires et néoplasiques (Williams, 2000). La proportion en acides gras saturés AGS renfermée dans le lait de chèvres des lots TD et TND était significativement inferieure (69,58 et 69,82%, respectivement) par rapport au lot témoin (76,62%). Toutefois, la teneur en acides gras mono-insaturés (AGMI) et polyinsaturé (AGPI) était plus élevée, dans les échantillons du lait provenant des lots TD (28,13% et 2,92%, respectivement) et TND (27,18% et 3%, respectivement) par rapport à ceux du lait témoin (22,81% et 0,57%, respectivement). D'après ces résultats on peut considérer que le lait de chèvres alimentées avec le tourteau d'argan (détoxifié ou non) évoque une typicité grâce aux faibles proportions en acides gras saturés cependant des teneurs significativement élevées en AGMI et en AGPI.

De nombreuses organisations de santé et de nutrition du monde entier recommandent la consommation quotidienne de produits laitiers pour une santé optimale (Bishop-MacDonald, 2005) et les consommateurs sont de plus en plus conscients de la relation entre les aliments et la santé. Il est donc intéressant de se focaliser sur les propriétés anti-oxydantes du lait caprin

et de ses dérivés. Pour ces raisons, la présente étude contribue à identifier certains composants bioactifs du lait ainsi que leur pouvoir antioxydant. Toutefois, peu d'études ont été réalisées quant à la présence de ces composés dans des produits d'origine animale à savoir le lait. De plus, à date, l'activité anti-oxydante des composés phénoliques dans le lait a rarement été étudiée, en particulier au Maroc. Dans ce contexte, on a étudié l'effet de l'alimentation sur certains composants d'intérêt dudit lait, durant la phase de lactation. Les résultats obtenus ont indiqué que les taux moyen de la teneur en polyphénols et en flavonoïdes totaux ont été importants dans les échantillons du lait de chèvres du lot TD quant comparés aux lots TND et T. Ainsi pour le pouvoir antioxydant réalisé par le radical DPPH, il avait des activités importantes et signifiantes dans les échantillons du lait de chèvres du lot TD. Cela démontre que le type d'alimentation a affecté significativement la composition du lait en molécule bioactive.

En ce qui est de la valorisation technologique du lait cru de chèvres de la race Alpine, on a développé un fromage frais, en utilisant les ferments lactiques à savoir : *Lactococcus lactis* et *Streptococcus thermophilus*. D'après les résultats obtenus, nous avons constaté tout au long de la période de stockage (15 jours en 4 °C) que, le pH était plus bas pour les deux fromages préparé par le lait de chèvres nourries avec la ration à base du tourteau détoxifié et par le lait issu de chèvres alimentées avec le tourteau non détoxifié par rapport au formage témoin, 4,54±0,02, 4,75±0,04 et 5,12±0,03 respectivement. Quant aux propriétés antioxydantes de fromage, le pourcentage d'inhibition de DPPH du fromage fabriqué à base de lait de chèvres alimentées avec le tourteau détoxifié (TD) est significativement supérieur ($p<0,05$) pendant toute la période de conservation par rapport aux fromages fabriqué à partir du lait obtenu des lots TND et T. Pendant le 14éme jours le pourcentage d'inhibition de DPPH est maximal, 44,76 ± 4,1%, 38 ± 4,0% et 32,18±4,0% pour TD, TND et T, respectivement. La teneur en polyphénols totaux estimée par la méthode des réactifs de Folin-Ciocalteu, montre une différence significative ($p<0.05$) dans les trois types de fromage. Durant toute la période de conservation la teneur en poly-phénols est supérieure dans le fromage à base du lait de chèvres alimentées avec le tourteau détoxifié par rapport aux fromage à base du lait de chèvres nourris avec le tourteau non-détoxifié et par le lait de chèvres témoin, soit respectivement 160,8 ± 5,0, 100,75 ± 5,1 et 92±5,6µg EAG/g. Dans l'ensemble, on peut conclure que le potentiel antioxydant des produits laitiers est affecté par l'alimentation des animaux comme prouvé par Liu *et al. (*2018).

Conclusion générale et perspectives

Le secteur de l'élevage occupe une place importante dans l'économie nationale, il constitue la première ressource renouvelable. En effet, cette activité économique représente une part substantielle dans le produit intérieur brut (PIB). Néanmoins, à cause des conditions climatiques irrégulières le cheptel Marocain souffrent de problèmes alimentaires aigue. Notamment, la cherté et l'indisponibilité des ressources protéiques conventionnelles. Pour assurer une production animale économique et viable il est indispensable de valoriser d'autre ressource alternative. Parmi ces ressources alternatives non conventionnelles les sous-produits de l'arganier. Cependant, il apparait important de souligner que ces sous-produits sont moins utilisés quoiqu'ils soient qualifiés d'une valeur nutritive moyenne à élevée.

En effet, la valorisation économique de l'arganier par le biais de ses sous-produits est un moyen de relancer durablement une foresterie rurale intégrée. En outre, des recherches précédentes ont montré que l'arganier est un arbre d'avenir pour certaines zones arides. Ainsi, le renforcement de la recherche scientifique est la clef de réussite pour toute politique de développement et de création de richesses et un appui incontournable au développement économique. Par conséquent, il devient impératif de conserver ce patrimoine universel par une utilisation durable de ses ressources.

En outre, l'opportunité de la valorisation des tourteaux d'arganier est suffisamment justifiable par les atouts nutritionnels qu'ils recèlent et qui nous conduisent à mettre l'accent sur l'intérêt économique quant à leurs utilisations en alimentation du bétail, notamment au niveau des zones aride et semi aride lieu de prédilection de l'arganier et de l'élevage du cheptel caprins. D'ailleurs, le tourteau de l'arganier est une source énergétique et protéique de bonne valeur nutritionnelle malgré leur teneur en saponines qui leur confère un goût astringent et constitue un obstacle pour le niveau d'ingestion de l'aliment mais grâce à la technologie de détoxification qui passe par une méthode simple et peu onéreuse et de surcroit permet d'améliorer l'appétibilité alimentaire du tourteau et par conséquent induit à une meilleure digestibilité des protéines.

L'incorporation de ces ressources alimentaires de substitution dans le régime alimentaire des petits ruminants permettrait sans aucun doute de réduire la pression exercée sur les ressources sylvo-pastorales et les coûts de production et d'améliorer en conséquence les revenus des éleveurs.

Les résultats obtenus lors de ce travail ont bien montré que l'incorporation du tourteau détoxifié dans l'alimentation des chèvres avait un effet significatif sur le lait caprin cru, ce qui

lui permet de renfermer des ressources spécifiques leur permettant d'être l'objet d'une démarche de qualification. Commençant par sa qualité compositionnelle, notant les protéines, la matière grasse, les différents éléments minéraux, puis son profil en acides gras diversifié. Les propriétés nutritionnelles du lait peuvent être améliorées à moindre coût en profitant des rations équilibré, ce qui nous a conduits à approfondir nos recherches, et se focaliser sur les propriétés anti-oxydantes du lait caprin et de ses dérivés. Dans ce contexte, on a pensé à identifier certains composants bioactifs du lait ainsi leurs pouvoir antioxydant. Toutefois, peu d'études ont été réalisées pour étudier la présence de ces composés dans des produits d'origine animale à savoir le lait et ses dérivés, notant le fromage frais. Le résultat obtenu était pertinent, promouvant et a bien répondu à l'hypothèse préalablement mise.

En effet, ce travail qui fait partie d'un projet pilote dirigé par l'Institut National de la Recherche Agronomique de Rabat (INRA), comprend la production et la commercialisation à grande échelle des rations alimentaires étudiés dans la région d'Essaouira. La valorisation des sous-produits de l'argane et l'amélioration de la qualité de vie des agriculteurs concernés a abouti à la construction de deux unités de fabrication d'aliment de bétail à base de ses sous-produits à ladite région qui vont bientôt commercialiser ces rations. Cette application réussite mérite d'être suivie par une enquête de satisfaction afin d'étudier l'impact socioéconomique lié à la création des unités de fabrication des aliments à base des sous produits de l'arganier ainsi que la labellisation du lait caprin-arganier comme produit de terroir protégé serais d'une grande importance.

Références bibliographiques

Aazami, M.H., Tahmasbi, A.M., Ghaffari, M.H., Naserian, A.A., Valizadeh, R., Ghaffari, A.H. (2013). Effects of Saponins on Rumen Fermentation, Nutrients Digestibility, Performance, and Plasma Metabolites in Sheep and Goat Kids. *Annu. Res. Rev. Biol*. **3**: 596-607.

Abou-Arab A., Abu-Salem F.M. (2010). Nutritional quality of Jatropha curcas seeds and effect of some physical and chemical treatments on their anti-nutritional factors. *African J. Food Sci*. **4**:93-103.

AFFSA (Agence française de sécurité sanitaire des aliments). (2010). Avis du 1er mars 2010 relatif à l'actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras. 10 p.

Aguiar, S.C., Cottica, S.M., Boeing, J.S. (2014). Effect of feeding phenolic compounds from propolis extracts to dairy cows on milk production, milk fatty acid composition, and the antioxidant capacity of milk. *Anim. Feed Sci. Technol*. **193**:148-154.

Akraim, F. (2005). Effet du traitement thermique des graines de lin sur la biohydrogénationruminale des acides gras polyinsaturés et la qualité de la matière grasse du lait de vache. Thèse doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, France. 137p.

Alaoui, S., Marmouzi, I., Sayah, K., Harhar, H., Faouzi, M.E.A., Gharby, S., Himmi, B., Kitane, S., Alaoui, E., Belghiti, M. (2016). Chemical analysis and anti-oxidation activities of the Moroccan Milk Thistle. *Mor. J. Chem*. **4**: 695–702.

Alyaqoubi, S., Abdullah, A., Samudi, M., Abdullah, N., RaDhi Addai, Z., Al-Ghazali, M. (2014). Effect of different factors on goat milk antioxidant activity. *Int. J. Chem. Tech. Res*. **6**:3091–3196.

Alyaqoubi, S., Abdullah, A., Samudi, M., Abdullah, N., RaDhi Addai, Z., Al-Ghazali, M. (2015). Physicochemical properties and antioxidant activity of milk samples collected from five goat breeds in Malaysia. *J. Food Sci. Technol*. **7**:235–241.

Alzahal, O., Or-Rashid, M.M., Greenwood, S.L., Douglas M.S., McBride B. W. (2009). The effect of dietary fiber level on milk fat concentration and fatty acid profile of cows fed diets containing low levels of polyunsaturated fatty acids. *J. Dairy Sci*. **92**:1108-1116.

Amigo, L. et Fontecha, J. (2011). Milk. *Goat Milk*. **2**: 1270-1279.

Amiot, J., Fourner, S., Lebeuf, Y., Paquin, P., Simpson, R., Turgeon, H. (2002). Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait. Dans : Sciences et Technologie du Lait, Presses internationales Polytechnique, Montréal, 1-73 p.

Anantasook, N., Wanapat, M., Cherdthong, A., Gunun, P. (2015). Effect of tannins and saponins in S amanea saman on rumen environment, milk yield and milk composition in lactating dairy cows. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr*. **99**:335-344.

Antwerpen, V. (2006). Contribution à l'étude du pouvoir antioxydant de divers agents vascular-related disease. *Nutr. Rev*. **54**: 1.

AOAC (Official Methods of Analysis International). (2000). 17th ed. Washington, DC, USA.

Araba, A., Benjelloun, S., Hamama, A., Hamimaz, R., Zahar, M. (2001). Organisation de la filière laitière au Maroc. *Revue Méd. Vét*. **32**: 47-62.

Arbouche, R., Arbouche, F., Arbouche, H.S., Arbouche, Y. (2014). Effets de la nature du complément azoté (tourteau d'amande d'abricot vs tourteau de soja) sur les performances d'engraissement et la qualité des carcasses des agneaux Ouled Djellal (Algérie). *Revue Méd. Vét*. **165**: 338-343.

Asperger H., Zangerl P. (2003). *Staphylococcus aureus*. In Encyclopedia of dairy sciences. Academic Press & Elsevier Science, Amsterdam. **4**:2563-2569.

Aurousseau, B. (2002). Les radicaux libres dans l'organisme des animaux d'élevage : conséquences sur la reproduction, la physiologie et la qualité de leurs produits. *INRA Prod. Anim*. **15**: 67-82.

Azizah, A.H., Wee, K.C., Azizah, O., Azizah, M. (2009). Effect of boiling and stir frying on total phenolics, carotenoids and radical scavenging activity of pumpkin (Cucurbita moschato). *Int. Food Res. J*. **16**:45–51.

Aziz, L., Elharousse, L., Mormont, M., Bellefontaine, R., Allali, K. et Elamarani, M. (2011). Les conséquences de la marchandisation de l'arganier sur la vie socio-économique et culturelle à Haha. Actes du 1er Congrès International de l'Arganier, Agadir, Maroc. 252-261.

Badreddine, A. (2016). Préparation et Caractérisation d'Extraits d'Argania spinosa et d'Huile d'Argan et Evaluation de leurs Effets Neuroprotecteurs in Vivo et in Vitro. Thèse doctorat, Faculté des sciences et techniques université Hassan I – Settat – Maroc. 3p.

Bahorun, T., Gressier, B., Trotin, F., Brunete, C., Dine, T., Vasseur, J., Gazin, J.C., Pinkas, M., Luycky, M., Gazin, M. (1996). Oxygen species scavenging activity of phenolic extract from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparation. *Arzneimittel Forschung*. **46**: 1086–1089.

Balakrishnan, G., Agrawal, R. (2014). Antioxidant activity and fatty acid profile of fermented milk prepared by Pediococcus pentosaceus. *J. Food Sci. Tech. Mys*. **51**: 4138- 4142.

Bas, P., Dahbi, E., El Aich, A., Morand-Fehr, P., Araba, A. (2005). Effect of feeding on taffy acid composition of muscles in young goats raised in the Argan tree foerst of Morocco. *Meat Se*. **71**: 317-326.

Belarbi, M. (2015). Etude comparative entre la qualité Microbiologique du lait cru de vache et le lait de chèvre. Mémoire de Master, Université Abou Baker Belkaid Tlemcen Algérie. 75p.

Beldjilali, A. (2015). Contribution à l'étude microbiologique et sanitaire du lait cru de brebis de la région ouest de l'Algérie. Thèse doctorat, Université d'Oran, Algérie.164p.

Bellefontaine, R., Ferradous, A., Alifriqui, M., Monteuuis, O. (2010). Multiplication végétative de l'arganier, Argania spinosa, au Maroc. *Bois for trop*. **2**: 47-59.

Benajiba, N., De Leiris, J., Lyan, B., Derouiche, A., Mokhtar, N., Aguenaou, H. (2006. Effet de l'huile d'argan sur la contractilité de l'aorte : susceptibilité au stress oxydatif. *OCL*. **13**: 76-80.

Benchaar, C., Chouinard, P. Y. (2009). Assessment of the potential of cinnamaldehyde, condensed tannins, and saponins to modify milk fatty acid composition of dairy cows. *J. Dairy Sci*. **92**: 3392-3396.

Benchaar, C., McAllister, T. A., Chouinard, P. Y. (2008). Digestion, ruminal fermentation, ciliate protozoal populations, and milk production from dairy cows fed cinnamaldehyde, quebracho condensed tannin, or Yucca schidigera saponin extracts. *J. Dairy Sci*. **91**:4765-4777.

Benchekroun, M., Manzali, R., Bouksaim, M., Bendaou, M., Zouahri, A., Douaik, A., Saidi, N. (2014). Evaluation of Technological Potential of New Developed Moroccan Hexaploid Oat Lines. *IJERT*. **3**:1759-1767.

Bendaou, M., Ait Omar, M. B. (2013). Une nouvelle technologie d'alimentation utilisant des cactus pour l'engraissement des ovins: Application dans des petites exploitations de la région de Rhamna, Maroc. *Opt. Méditerr*. **108** :279-284

Bendaou, M., El Housni, A., Saadi, A., Mouhaddach, A., Abouali, M. (2011). Utilisation des sous produits de l'arganier (*Argania spinosa*) dans l'engraissement des ovins. Proc Congr Int Argan, Agadir, Morocco, p 26.

Bengundouz, A., Bouziane, N., Homrani, M., Bouterfa, A., Bentounes, M., Bentounes, H.A., Benhabib, A., Bentounes, M., Sabeur, F., Bekada, A. (2017). Caractérisation physico-chimique de l'huile d'argan préparée à partir des fruits d'*Argania spinosa* (L.) récoltés dans la wilaya de Motaganem (Algérie). *Rev. Microbiol. Ind. San. et Environn*. **11**: 72-79.

Ben Salem, H., Smith, T. (2008). Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small Rum. Res*. **77**: 174-194.

Berkat, O., Tazi, M. (2006). Country pasture/forage resource profiles: Morocco. FAO.

Bernhardt, S., Schlich, E. (2006). Impact of different cooking methods on food quality: Retention of lipophilic vitamins in fresh and frozen vegetables. *J. Food Eng*. **77**:327–333.

Bessa, R.J., Santos-Silva, J., Ribeiro, J.M., Portugal, A.V. (2000). Reticulo-rumen biohydrogenation and the enrichment of ruminat edible products with linoleic acid conjugated isomers. *Appl. Environ. Microbiol*. **63**:201-211.

Bishop-macdonald, H. (2005). Dairy food consumption and health: State of the science on current topics. *J. Am. Coll. Nutr*. **24**:524:525.

Bocquier, F., Caja, G. (2001). Production et composition du lait de brebis : effets de l'alimentation. *INRA Prod. Anim*. **14**:129-140.

Bonfoh, B., Wasem, A., Traoré, A.N., Fané, A., Spillmann, H., Simbé, C.F., Alfaroukh, I.O., Nicolet, J., Farah, Z., Zinsstag, J. (2003). Microbiological quality of cows' milk taken at different intervals from the udder to the selling point in Bamako (Mali). *Food Control*. **14**:495-500.

Bonnet, C., Alamigeon, F., Micheels, P. (2010). Guide complet des soins esthétiques : du coté de ma vie. Edition Eyrolles, 14 p.

Bosset, J.O., Albrecht, B., Badertscher, R. (2000). Caractéristiques microbiologiques, chimiques et sensorielles de lait, de caillés et de fromage de chèvre de type Foermlaggini (buexion, robiola) et Foermagella. *Péd Lait*. France : CNRS. **95**:546-580.

Bouakaz, I. (2006). Etude phytochimique de la plante Genista Microcephala. Mémoire de magister, Univ. El Hadj Lakhdar de Batna, Algérie, p 40.

Boudra, A. (2012). L'élevage caprin dans l'écosystème de l'Arganier : Cas de la province d'Essaouira. Acte des 1ére journées de recherche sur les ruminants, Rabat, Morocco, p 35-42.

Bouharroud, R., Qessaoui, R., Amarraque, A., Achour, A., Mayad, E.H., Mimouni, A. et Chebli, B. (2015). Importance des lichens des arganeries du Sud-ouest Marocain. Actes du 3ème Congrès International de l'Arganier. Agadir, Maroc. 97-101.

Bouzemouri, B. (2007). Problématique de la conservation et du développement de l'arganeraie. Colloque international : l'arganier levier du développement humain du milieu rural marocain, Rabat, Maroc, 15-19 p.

Bravo, L. (1998). Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutr. Rev*. **56**:317-333.

Briggs, A., Petersen, S., Kris-Etherton, M. (2017). Saturated Fatty Acids and Cardiovascular Disease: Replacements for Saturated Fat to Reduce Cardiovascular Risk. *Healthcare*. **5**:1-29.

Bučević-Popović, V., Delaš, I., Međugorac, S., Pavela-Vrančić, M., Kulišić-Bilušić, T. (2014). Oxidative stability and antioxidant activity of bovine, caprine, ovine and asinine milk. *Int. J. Dairy Technol*. **67**:394-401.

Burits, M. et Bucar, F. (2000). Antioxidant activity of Nigella sativa essential oil. *Phytother. Res*. **14**:323-328.

Cabiddu, A., Addis, M., Spada, S., Sitzia, M., Molle, G., Piredda, G. (2004). The effect of different legumes-based pastures on the fatty acid composition of sheep milk with focus on CLA. Proceedings of the 20th General Meeting of Europeon Grassland Federation, Luzern, Switzerland, p 1133–1135.

Caroprese, M., Marzano, A., Marino, R. O., Gliatta, G., Muscio, A., Sevi, A. (2010). Flaxseed supplementation improves fatty acid profile of cow milk. *J. Dairy Sci*. **93**:2580-2588.

Casaburi, A., Aristoy, M.C., Cavella, S., Di Monaco, R., Ercolini, D., Toldrá, F., Villani F. (2007). Biochemical and sensory characteristics of traditional fermented sausages of Vallo di Diano (Southern Italy) as affected by the use of starter cultures. *Meat. Sci*. **76**:295-307.

Castillo, C., Hernandez, J., Bravo, A., Lopez- Alonso, M., Pereira, V., Benedito, J.L. (2005). Oxidative status during late pregnancy and early lactation in dairy cows. *Vet. J*. **169**:286–292.

Castro, V., Franceschini, C., Priore, E., Pelúzio, G. (2004). Nutrition and cardiovascular diseases: the risk markers in adults. *Rev. Nutr*. **17**:369–377.

Charrouf, Z. (1991). Valorisation d'Argania spinosa (L.) Sapotaceae: Etude de la comosition chimique et de l'activité biologique du tourteau et de l'extrait lipidique de la pulpe. Thèse doctorat, Univ. Mohammed V, Rabat, Maroc, p 37.

Charrouf, Z. (1998). Valorisation des produits de l'arganier pour une gestion durable des zones arides du sud-ouest marocain. Actes du 4ème Colloque Produits naturels d'origine végétale, Ottawa, USA, p 1-24.

Charrouf, Z. (2007). Valorisation des produits de l'arganier pour une gestion durable des zones arides du sud-ouest marocain. Colloque international : l'arganier levier du développement humain du milieu rural marocain, Rabat, Maroc, p 3-12.

Charrouf, Z., Guillaume, D. (1999). Ethnoeconomical, ethnomedical, and phytochemical study of Argania spinosa (L.) Skeels: A review. *J. Ethnopharmacol*. **67**:7-14.

Charrouf, Z., Guillaume, D. (2002). Secondary metabolites from *Argania spinosa* (L.) Skeels. *Phytochem. Rev*. **1**:345-354.

Charrouf, Z., Guillaume, D. (2009). Sustainable development in northern Africa: The Argan forest case. *Sustainability*. **1**:1011-1022.

Charrouf, Z., Guillaume, D. (2010). Should the Amazigh diet (regular and moderate argan-oil consumption) have a beneficial impact on human health?. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*. **50**:473-477.

Charrouf, Z., Harhar, H., Gharby, S., Guillaume, D. (2008). Enhancing the value of argan oil is the best mean to sustain the argan grove economy and biodiversity, so far. *OCL*. **15**: 269-271.

Charrouf, Z., Pioch, D. (2009). Valorisation du fruit d'arganier et Huile d'argan : qualité, diversification. Projet : Appui à l'amélioration de la situation de l'emploi de la femme rurale et gestion durable de l'arganeraie dans le sud-ouest du Maroc. p 18.

Charrouf, Z., Wieruszeski, J. M., Fkih-Tetouani, S., Leroy, Y., Charrouf, M., Fournet, B. (1992). Triterpenoid saponins from *Argania spinosa*. *Phytochemistry*. **31**:2079-2086.

Chávez-Servín, J.L., Andrade-Montemayor, H.M., Velázquez Vázquez, C., Aguilera Barreyro, A., García-Gasca, T., Ferríz Martínez, R.A., Olvera Ramírez, A.M., and de la Torre-Carbot, K. (2018). Effects of feeding system, heat treatment and season on phenolic compounds and antioxidant capacity in goat milk, whey and cheese. *Small Rum. Res*. **160**:54–58.

Cheeke, P.R. (2000). Actual and potential applications of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* saponins in human and animal nutrition. *Proc. Am. Soc. Anim. Sci*. **13**:115-126.

Chilliard, Y., Ferlay, A., Mansbridge, M., Doreau, M. (2000). Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. *Ann. Zootech*. **49**: 181-205.

Chiofalo, B., Azzarra, V., Liotta, L., Chiofalo, L. (2004). The chemical and physical parameters of the Ragusana ass's milk during lactation. Proceding of 6th Congress: New Acquisitions in matter of Ippologiaî., Campobasso (I), p 77-84.

Chriqi, A., Ballouk, A., Houjjaji, A., Adnan, A., Bacha, L., Addebbous, R. (2003). L'Huile d'argan: Un produit de terroir : Quelle stratégie pour sa valorisation. *Terre et Vie*. **70**:1-5.

Claps, S., Roberta, R., Di Trana, A., di Napoli, M. A., Giorgio, D., Sepe, L. (2018). Bioactive compounds in goat milk and cheese: the role of feeding system and breed. Goat Science; InTech open science/open minds in press: London, UK, p 233-263.

Clifford, A. (2001). Wright, Mediterranean vegetables: A Cook's ABC's of vegetables and their preparation in Spain, France, Italy, Greece, Turkey, the Middle East and North Africa with more than 200 Anth. Harvard Common Press, p 131.

Cloetens, L., Panee, J., Akesson, B. (2013). The antioxidant capacity of milk - The application of different methods in vitro and in vivo. *Cell. Mol. Biol*. **59**:43-57.

Costa, R.G., Filho, M.B., Queiroga, R.E., Madruga, M.S., Medeiros, A.N., Oliveira, J.B. (2010). Chemical composition of milk from goats fed with cactus pear (Opuntia ficus-indica L. Miller) in substitution to corn meal. *Small Rum. Res*. **94**: 214-217.

Croguennec, T., Jeantet, R. et Brule, G. (2008). Fondements Physicochimiques de la Technologie Laitière. 2ème édition Tec et Doc, Lavoisier, Paris, 203–221 p.

Crozier, A. (2010). Bioavailability of coffee chlorogenic acids and green tea flavan-3-ols. *Nutrients*. **2**: 820-833.

Currò, S., L Manuelian, C., De Marchi, M., Claps, S., Rufrano, D., Neglia, G. (2019). Effects of Breed and Stage of Lactation on Milk Fatty Acid Composition of Italian Goat Breeds. *Animals*. **9**:764.

Dalle-Donne, I., Rossi, R., Colombo, R., Giustarini, D., Milzani, A. (2006). Biomarkers of oxidative damage in human disease. *Clin. Chem*. **52**:601–623.

Dalmasso, M., Prestoz, S., Rigobello, V., Demarigny, Y. (2008). Behavior of Lactococcus lactis subsp lactis biovar. diacetylactis in a Four Lactococcus Strain Starter during Successive Milk Cultures. *Food Sci. Technol. Int*. **14**:469-477.

Das, T.K., Banerjee, D., Chakraborty, D., Pakhira, M.C., Shrivastava, B., Kuhad, R.C. (2012). Saponin: role in animal system. *Vet. World*. **5**: 248-254.

Delgado-Pertinez, M., Alcalde, M.J., Guzman-Guerrero, J.L., Castel, J.M., Mena, Y., Caravaca, F. (2003). Effect of hygiene-sanitary management on goat milk quality in semiextensive systems in Spain. *Small Rum. Res*. **47**:51-61.

Delgadillo Puga, C., Cuchillo Hilario, M., Pérez-Gil Romo, M. (2009). Effect of feeding management and seasonal variation on fatty acid composition of Mexican soft raw goats' milk cheese. *Ital. J. Anim. Sci*. **8**: 402-404.

Duckett, S. K., J. G. Andrae; F. N. Owens. (2002). Effects of high oil corn or added corn oil on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. *J. Anim. Sci*. **80**: 3353-3360.

EFSA (European Food Safety Authority). (2004). Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to the Tolerable Upper Intake Level of Sodium. *EFSA*. **59**:1-21.

El Aich, A., Bourbouze, A., Morand-Fehr, P., El Assouli, N., Fathi, A. (2012). Le système d'élevage caprin dans l'arganeraie. Acte des 1ére journées de recherche sur les ruminants organisées, Rabat, Maroc, p 129-145.

El Aich, A., El Assouli, N., Fathi, A., Morand-Fehr, P., Bourbouze, A. (2007). Ingestive benavior of goats grazing in the Southern Argan (Argania spinosa) forest of Morocco. Small Rum. Res. 70:248-256.

El Amiri, B., Nassif, F., Cohen, N., El Antari, A., El Hilali, S., Chriyaa, A., Sibaeuih, M. (2012). Qualité nutritionnelle, organoleptique et hygiénique des caprins dans la Région des Marmoucha. Acte des 1ére journées de recherche sur les ruminants organisées par INRA; Rabat, Maroc, p 153-162.

El Assouli, N. (2001). Étude des prélèvements et de la croissance des caprins dans l'arganeraie. Mémoire de 3ème cycle Agronomie. IAV, Hassan II, Rabat, Maroc.

El Gharras, H. (2009). Polyphenols: Food sources, properties and applications - A review. *Int. J. Food Sci. Tech*. **44**: 2512-2518.

El Hadi, A. (2012). Qualification du Chevreau de l'Arganeraie : Valorisation du Système de Production et Interaction avec l'Espace Forestier. Mémoire de 3ème Cycle Agronomie, IAV Hassan II, Rabat, Maroc, p 19.

El Khettabi, A., Benider, M. (2012). Les caprins laitiers et le développement de l'élevage oasien. In: Proceedings of Acte des 1ére journées de recherche sur les ruminants organisées par INRA; Rabat, Morocco, p 43-46.

El Kheyyat, H. E., Madidi, S. E. (2020). Goat Farming in the Arganeraie of Agadir in Morocco: Livestock System and Production Parameters. *AJRAVS*. **5**:20-28.

El Monfalouti, H., Charrouf, Z., Giordano, M., Guillaume, D., Kartah, B., Harhar, H., Gharby, S., Denhez, C., and Zeppa, G. (2013). Volatile compound formation during Argan kernel roasting. *Nat. Prod. Commun*. **8**: 33 – 36.

Elabed, A. (2007). Réactivité thermique et cinétique de dégradation du bois d'arganier Application à l'élaboration de charbon actif par activation chimique à l'acide phosphorique. Thèse de doctorat, Faculté des sciences Rabat, Maroc, p 58.

El-Hamdani, M., Benali, A., El Antari, A., El Housni, A., Douaik, A., Ounine, K., Bouksaim, M. (2017). The Season Effect on the Milk Fatty Acid Profile of Oulmes Breed Cattle in Moroccan Oulmes Zone. *IOSR-JBB*. **3**: 13-17.

El-Hamdani, M., Mouhaddach, A., El Housni, A., Bendaou, M., Douaik, A., Ounine, K., Bouksaim, M. (2016). Hygienic quality of bovine raw milk samples from Oulmes local breeds in Morocco. IOSR J Environ *Sci. Toxicol. Food Technol*. **7**: 56-59.

El Maadoudi, E. H., El Housni, A. (2013a). Grain de lupin doux et amer dans des rations pour ovins en croissance-engraissement. *Opt. Méditerr*. **108**: 103-107.

El Maadoudi, E. H., El Housni, A. 2013b. Grain de lupin en substitution au tourteau de tournesol dans la ration des agneaux en croissance-engraissement. Opt. Méditerr. 108:97-101.

El Marnissi, B., Belkhou, R., El Ouali Lalami, A., Bennani, L. (2013). Microbiological and physicochemical characterization of raw milk and some Moroccan traditional dairy derivatives (Lben and Jben). *Les technologies de laboratoire*. **33**: 100-111.

FAO. (2014). Présentation générale du secteur agricole au Maroc.

Faouzi, H. (2016). Pâturage et dynamique des écosystèmes arganeraies. L'élevage caprin face à la mondialisation. *Études caribéennes*. **35**: 1-16.

Faouzi, H., Martin, J. (2014). Soutenabilité de l'arganeraie marocaine. *Confins.* **20**:1-12.

Fardet, A. (2017). Le pouvoir antioxydant des produits laitiers une propriété méconnue de leur potentiel protecteur. *Choledoc*. **155**:1-4.

Farris, M. (2009). Connaissance des aliments: base alimentaire et nutritionnelles de la diététique. 2ème Ed. Lavoisier. Tes & Doc, p 18-22.

Favier, A. (2003). Le stress oxydant Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhensiondes mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité Chimique*. p 108-115.

Faye, B., Loiseau, G. (2002). Sources de contamination dans les filières laitières et exemples de démarches qualité. Actes de l'Atelier International de la Gestion de la Sécurité des Aliments dans les Pays en Développement, Montpellier, France, p 10.

Fenwick, D. E., Oakenfull, D. (1983). Saponin content of food plants and some prepared foods. *J. Sci. Food Agric*. **34**:186-191.

Ferguson, L.R. (2001). Role of plant polyphenols in genomic stability. *Mutat. Res*. **475**:89-111.

Forkmann, G., Martens, S. (2001). Metabolic engineering and applications of flavonoids. *Curr. Opin. Biotechnol*. **12**:155-160.

Fraisse, D., Carnat, A., Viala, D., Pradel, P., Besle, J. M., Coulon, J. B., Lamaison, J. L. (2007). Polyphenolic composition of a permanent pasture: variations related to the period of harvesting. *J. Sci. Food Agric*. **87**:2427-2435.

Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H.P., Becker, K. (2002). The biological action of saponins in animal systems: A review. *Br. J. Nutr*. **88**: 587–605.

Gabrial, G. N., El-Nahry, F. I., Awadalla, M. Z., Girgis, S. M. (1981). Unconventional protein sources: apricot seed kernels. Zeitschrift fur Ernahrungswissenschaft. *J. Nutr. Sci*. **20**:208-215.

Galili, S., Hovav, R. (2014) Determination of polyphenols, flavonoids, and antioxidant capacity in dry seeds. In: Polyphenols in Plants. College of Public Health, University of Arizona, p 305–323.

Galina, A.M., Pineda, J., Piedrahita, R. I. H., Vázquez, P., Haenlein, G., Olmos, J. (2019). Effect of Grazing on the Fatty Acid Composition of Goats Milk or Cheese. *Adv. Dairy Res*. **7**: 227.

Gauche, E., Hausswirth, C. (2006). Stress oxydant, complémentation nutritionnelle en antioxydants et exercice. *Science et motricité*. **2**:43-66.

Gharby, S., Harhar, H., Guillaume, D., Haddad, A., Matthäus, B., Charrouf, Z. (2011). Oxidative stability of edible argan oil: A two-year study. *LWT - Food Sci. Technol*. **44**: 1-8.

Ghosh, D., Scheepens, A. (2009).Vascular action of polyphenols. *Mol. Nutr. Food Res*. **53**:322-331.

Giambra, I.J., Brandt, H., Erhardt, G. (2014). Milk protein variants are highly associated with milk performance traits in East Friesian Dairy and Lacaune sheep. *Small Rum. Res*. **121:**382–394.

Gnanda, I.B., Zoundi, J.S., Nianogo, A.J., LE Masson, A. et Meyer, C. (2006). Performances laitières et pondérales de la chèvre du Sahel Burkinabé en régime de complémentation basé sur l'utilisation des ressources alimentaires locales. *Rev. Elev. Med. Vet*. **58**:175-182.

Gogoi, R., Niyogi, U.K., Tyagi, A.K. (2015). Method of detoxification of *jatropha curcas* L. seed cake for its use as protein supplement in animal feed-An overview. *Indian J. Nat. Prod. Resour*. **6**:176-182.

Guillaume, D. et Charrouf, Z. (2005). Saponines et métabolites secondaires de l'arganier (Argania spinosa). *Cahiers Agricultures*. **14**:509-516.

Guo, M. 2003. Goat/Milk. In: Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition 2nd. (Baltimore: Elsevier). 2944–2949.

Guo, S., Falk, E., Kenne, L., Ronnberg, B., Sundquist, B.G. (2000). Triterpenoid saponin-containing an acetylated branched D-fucosyl residue from Quillaja saponaria Molina. *Phytochemistry*. **53**: 861-868.

Hachmi, M., Qarro, M., Sesbou, A., Sabir, M. et Charif, S. (2011). Analyse de la filière ‘’huile d’argan’’au niveau de la zone forestière d’Amsitten dans la région d’Essaouira. Actes du 1er Congrès International de l’Arganier, Agadir, Maroc, p 475-486.

Hadj, S.J. (2009). Extraction, Identification, caractérisation des activités biologiques de flavonoïdes de Nitraria retusa et synthèse de dérivés acyles de ces molécules par voie enzymatique. Thèse doctorat, Université de Lorraine, France, p 35.

Hadjipanayiotou, M. (1999). Feeding ensiled crude olive cake to lactating Chios ewes, Damascus goats and Friesian cows. *Livest. Prod. Sci*. **59**: 61-66.

Haenlein, G.F.W. (2002). Nutritional value of sheep milk. *Sheep Dairy News*.**19**:5-11.

Hamad, M.N., Ismail, M.M., Elraghy, E.M. (2018). Effect of Goat's Milk Supplementation with Tamr on Free Fatty Acids, Antioxidant Activity, and Probiotic Bacteria of Bio-Rayeb Milk. *J. Diet Suppl*. **15**:108-123.

Haton, C. (2005). Effets des rayonnements ionisants sur la structure de la fonction de la cellule épithéliale intestinale. Thèse de doctorat de l’université de Paris VI, France, p 43.

Heng, L., Vincken, J.P., Hoppe, K., Koningsveld, G.A., Decroos, K., Gruppen, H., Boekel, M.A.J.S., Voragen, A.G.J. (2006). Stability of pea DDMP saponin and the mechanism of its decomposition. *Food Chem*. **99**:326–334.

Herbillon, M. (2015). Le quinoa : intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. Thèse doctorat, Université de Rouen, France, p 105.

Hernández-Ledesma, B. et Amigo, L. (2004). La leche como fuente de antioxidantes naturales. *Alimentación Nutrición Salud*. **11**: 61-65.

Herrera, J.A., SidDhuraju, P., Francis, G., Davila-Ortiz, G., Becker, K. (2006). Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents and effect of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chem*. **96**: 80-89.

Hiai, S., Oura, H. Nakajima, T. (1976). Color reaction of some sapogenins and saponins with vanillin sulfuric acid. *Planta Med.* **29**:116-122.

Hilali, M., Rischkowsky, B., Iñiguez, L., Mayer, H., Schreiner, M. (2018). Changes in the milk fatty acid profile of Awassi sheep in response to supplementation with agro-industrial by-products. *Small Rum. Res*.**166**: 93-100.

Hilario, M.C., Delgadillo Puga, C., Ocana, A.N., and Perez-Gil Romo, F. (2009). Antioxidant activity, bioactive polyphenols in Mexican goats'milk cheeses on summer grazing. *J. Dairy Res*. **77**:20–26.

Holtshausen, L., Chaves, A. V., Beauchemin, K. A., McGinn, S. M., McAllister, T. A., Odongo, N. E., Benchaar, C. (2009). Feeding saponin-containing Yucca schidigera and Quillaja saponaria to decrease enteric methane production in dairy cows. *J. Dairy Sci*. **92**: 2809-2821.

Huang, D., Ou, B., Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *J. Agr. Food Chem*. **53**:1841-1856.

Hugenholtz, J., Sybesma, W., Groot, M.N., Wisselink, W., Ladero, V., Burgess, K., van Sinderen, D., Piard, J.C., Eggink, G., Smid, E.J., Savoy, G., Sesma, F., Jansen, T., Hols, P., Kleerebezem, M. (2002). Metabolic engineering of lactic acid bacteria for the production of nutraceuticals. *Anton. Leeuw*. **82**:217-235.

Idamokoro, E. M., Muchenje, V., Masika, P. J. (2017). Yield and milk composition at different stages of lactation from a small herd of Nguni, Boer, and non-descript goats raised in an extensive production system. *Sustainability*. **9**: 1000.

IDF (International Dairy Federation). (1990). Milk, determination of total phosphorus content. Spectrometrie method. Standard 428. International Dairy Federation, Brussels, Belgium.

Igmoullan, A. (1999). Valorisation en alimentation animale des sous-produits de fruits d'arganier dans le souss, cas "Des Ait-Baha". Mémoire de 3ème cycle Agronomie. IAV. Hassan II. Rabat, Maroc, p 12-13.

Igmoullan, A., Rihani, N. (2015). Composition chimique et valeur nutritive des sous-produits de fruits d'arganier (pulpe et tourteau). Actes du 3ème Congrès International de l'Arganier Agadir, Maroc, p 431-435.

ISO (International Organization for Standardization). (2006). ISO 4832: Microbiology of food and animal feeding stuffs: horizontal method for the enumeration of coliforms-ColonyCount Technique. ISO, Geneva, Switzerland.

Ivan, M., Koenig, K.M., Teferedegne, B., Newbold, C.J., Entz, T., Rode, L.M., Ibrahim, M. (2004). Effect of the dietary Enterolobium cyclocarpum foliage on the population dynamics of rumen ciliate protozoa in sheep. *Small Rum. Res*. **52**: 81–91.

Jacob, L. (2007). L'insuffisance rénale aiguë. Edition Springer, p 88.

Jamaly, N., Benjouad, A., Bouksaim, M. (2011). Probiotic Potential of Lactobacillus strains Isolated from Known Popular Traditional Moroccan Dairy Products. *Br. Mic. R. J*. **1**:79-94.

Jeantet, R., Croguennec, T., Mahaut, M., Schuck, P., et Brule, G. (2008). Les produits laitiers. 2ème édition Tec et Doc, Lavoisier, France, p 1-17.

Jordan, M.J., Monino, M.I., Martinez, C., Lafuente, A., and Sotomayor, J.A. (2010). Introduction of distillate rosemary leaves into the diet of the Murciano-Granadina goat: Transfer of polyphenolic compounds to goats' milk and the plasma of suckling goat kids. *Food Chem*. **58**:8265–8270.

Jorfi, K., Idrissi, I., Monsif, M., Keli, A. (2014). La dégradabilité des grignons d'olive et de pulpe de caroube et effet de leur incorporation sur les performances d'engraissement des agneaux. *Revue Méd. Vét*. **108** : 85–89.

Jouhannet, P. (1992). Le lait de chèvre un produit d'avenir. Thèse doctorat, Université de Limoges, France, p 12.

Kala, R., Samkova, E., Hasonova, L., Spicka, J., Pelikanova, T., Krizova, Z., Hladky, J. (2016). Proportion of important fatty acids in cow and goat milk fat. Mendel Net, 23th International PhD Students Conference Brno: Mendel University in Brno, p 582-587.

Khan, I.T., Nadeem, M., Imran, M., Ullah, R., Ajmal, M., Jaspal, M. H. (2019). Antioxidant properties of Milk and dairy products: a comprehensive review of the current knowledge. *Lipids Health Dis*. **18**: 41.

Khan, Z.I., Muhammad, A., Altaf, H., McDowell, L.R., Muhammad, Y.A. (2006). Concentrations of minerals in milk of sheep and goats grazing similar pastures in a semiarid region of Pakistan. *Small Rum. Res*. **65**: 274-278.

Kim, D., Chun, O., Kim, Y., Moon, H., Lee, C. (2003). Quantification of phenolics and their antioxidant capacity in fresh plums. *J. Agric. Food Chem*. **51**:6509-6515.

Kouniba, A., Berrada, M., El Marakchi, A. (2007). Étude comparative de la composition chimique du lait de chèvre de la race locale Marocaine et la race alpine et évaluation de leur aptitude fromagère. *Revue Méd. Vét*. **158**:152-160.

Kuchtik, J., Sustova, K., Urban, T., Zapletal, D. (2008). Effect of stage of lactation on milk composition, its properties and the quality of rennet curdling in East Friesian ewes. *CJAS*. **53**:55-63.

Kudoh, Y., Matsuda, S., Igoshi, K., Oki, T. (2001). Antioxidative peptide from milk fermented with *Lactobacillus delbrueckii* ssp. bulgaricus IFO 13953. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*. **48**:44–50.

Kumar, S., Chouhan, V.S., Sanghi, A., Teotia, U.S. (2013). Antioxidative effect of yak milk caseinates hydrolyzed with three different proteases.*Veter World*. **6**:799–802.

Kusche, D., Kuhnt, K., Ruebesam, K. (2015). Fatty acid profiles and antioxidants of organic and conventional milk from low- and high-input systems during outdoor period. *J. Sci. Food Agric*. **95**:529-539.

Langella, P., Nouaille, S., Commissaire, J., Bolotine, A., Gruss, A., Le Loir, Y. (2001). Characterization of host factors affecting heterologous protein secretion in Lactococcus lactis. *Lait*. **81**:19-28.

Lakram, N., Mercha, I., El Maadoudi, E.H., Kabbour, R., Douaik, A., El Housni, A., Naciri, M. (2019a). Incorporating detoxified *Argania spinosa* press cake into the diet of Alpine goats affects the antioxidant activity and levels of polyphenol compounds in their milk. *Int. J. Enviro. Studies*. **76**: 1-12.

Lakram, N., Moutik, S., Mercha, I., El Maadoudi, E.H., Kabbour, R., Douaik, A., Zouahri, A., El Housni, A., Naciri, M. (2019b). Effects of the inclusion of the detoxified argane press cake in the diet of dairy goats on milk production and milk quality. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* **43**: 323-333.

Lakram, N., En-Nahli, Y., Zouhair, F.Z., Moutik, S., Kabbour, R., El Maadoudi, E.H., Bendaou, M., El Housni, A., Naciri, M. (2019c). The Impact of Optimizing the Detoxification of Argane (*Argania spinosa*) Press Cake on Nutritional Quality and Saponin Levels. *IJAS*. **9**: 235-246.

Lefrileux, Y., Raynaud, S., Morge, S., Barral, J., Gauzere, Y., Doutart, E., Laithier, C. (2009). Influence de deux systèmes d'alimentation sur la production et la composition du lait de chèvres hautes productrices et incidences technologiques en fabrication fermière lactique. *INRA, Institut de l'Elevage*. **16:**139-142.

Leonnerdal, B. (2000). Breast milk: a truly functional food. *Nutrition*. **16**:509–511.

Léonard, T. (1987). L'arganier au Maroc. PhD Thesis (Paris, France: Institut provincial d'enseignement supérieur agricole et technique).

Lhuillier, A. (2007). Contribution à l'étude phytochimique de quatre plantes malgaches : Agauria salicifolia Hook.f ex Oliver, Agauria polyphyllaBaker (Ericaceae), Tambourissatrichophylla Baker (Monimiaceae) et Embelia concinnaBaker(Myrsinaceae).Thèse de doctorat, Faculté de Pharmacie de Toulouse, France

Li, H.B., Cheng, K.W., Wang, C., Fan, K.W., Chen, F., and Jiang, Y. (2007). Evaluation of antioxidant capacity and total phenolic content of different fraction of selected microalgae. *Food Chem*. **102**:771–776.

Lima, L., Menezes, N., Tavares, P., Szarfarc, C., Fisberg, M. (2000). Fatty acids and cardiovascular diseases: a review. *Rev. Nutr*. **13**:73–80.

Lindmark-Månsson, H., Åkesson, B. (2000). Antioxidative factors in milk. *Brit. J. Nutr*. **84**:103-110.

Liu, C.X., Wang, C., Liu, J.X., Ren, D.X. (2018). Effect of feed lutein supplementation on mozzarella cheese quality and lutein stability. *Int. Dairy J*. **83**:28-33.

Liu, S., Zhang, R., Kang, R., Meng, J., Ao, C. (2016). Milk fatty acids profiles and milk production from dairy cows fed different forage quality diets. *Anim. Nutr*. **2**:329-333.

Lourens-Hattingh, A., Viljoen, B.C. (2001). Yogurt as probiotic carrier food. *Int. Dairy J*. **11**:1–17.

Lovett, D.K., Stack, L., Lovell, S., Callan, J., Flynn, B., Hawkins, M., Mara, O. (2006). Effect of feeding Yucca schidigera extract on performance of lactating dairy cows and ruminal ermentation parameters in steers. **Livst. Sci**. **102**:23-32.

Maalah, A., Hafidi, A., Ajana, H. (1995). Variation de la composition des amandes d'arganier en fonction des caratéristiques morphologiques du fruit: détermination de variétés chimiotaxonomiques. Coll. Inter. Arganier, p 26-28.

MacRae, J., O'Reilly, L., Morgan, P. (2005). Desirable characteristics of animal products from a human health perspective. *Livest. Prod. Sci*. **94**:95-103.

Magali, P. (2007). La transformation fromagère caprine fermière. 2ème édition Tec et Doc, Lavoisier, France p 28.

Mahaut, M., Jeantet, R. et Brule, G. (2003). Initiation à la Technologie Fromagère. 2ème édition Tec. et Doc., Lavoisier, France, p 1-3.

Makkar, H.P.S. (2003). Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Rum. Res*. **49**: 241-256.

Manach, C., Mazur, A., Scalbert, A. (2005). Polyphenols and prevention of cardiovascular diseases. *Curr. Opin. Lipidol*. **16**:1–8.

Manzali, R., El Antari, A., Douaik, A., Taghouti, M., Benchekroun, M., Bouksaim, M., & Saidi, N. (2017). Profiling of Nutritional and Health-Related Compounds in Developed Hexaploid Oat Lines Derivative of Interspecific Crosses. *IJCD*. **5**: 72-76.

MAPM/DE. (2017). Statistiques Agricoles ; Productions Animales. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime/Direction de l'Elevage, Rabat, Maroc.

MAPM/DE. (2014). Statistiques Agricoles ; Productions Animales. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime/Direction de l'Elevage, Rabat, Maroc.

Markiewicz-Kęszycka, M., Czyżak-Runowska, G., Lipińska, P., Wójtowski, J. (2013). Fatty acid profile of milk - A review. *Bull. Vet. Inst. Pulawy*. **57**:135-139.

Martin, S. et Andriantsitohaina, R. (2002). Mécanismes de la protection cardiaque et vasculaire des polyphénols au niveau de l'endothélium. *Ann. Cardio. Angéiol*. **51**:304- 315.

Mayer, H. K., Fiechter, G. (2012). Physical and chemical characteristics of sheep and goat milk in Austria. *Int. Dairy J*. **24**:57-63.

Meira, S.M.M., Daroit, D.J., Helfer, V.E., Corrêa, A.P.F., Segalin, J., Carro, S., Brandelli, C.A. (2012). Bioactive peptides in water-soluble extracts of ovine cheeses from Southern Brazil and Uruguay. *Food Res. Int.* **48**: 322-329.

Mercha, I., Lakram, N., Kabbour, M. R., Benali, A., Douaik, A., Bouksaim, M., Zkhiri, F., El Maadoudi, E. H. (2019a). A novel way to improve quality of camel milk production using Moroccan Argane by-products. *Livest. Res. Rural Dev*. **31**:5.

Mercha, I., Lakram, N., Rachid Kabbour, M., Douaik, A., Bouksaim, M., Zkhiri, F., El Maadoudi, E. H. (2019b). Effect of Argane tree by-products on microbiological quality of Moroccan camel milk. *Int. J. Enviro. Studies*. **77**:1-10.

Mercha, I., Lakram, N., Kabbour, M. R., Bouksaim, M., Zkhiri, F., El Maadoudi, E. H. (2019c). The effects of argania spinosa by products supplementation on phenolic compounds, antioxidant capacity and mineral composition of camel milk. *Adv. Anim. Vet. Sci*. **7**:648-656.

Merouane, A. (2009). Essai de prévision de la valeur nutritive des feuilles et la pulpe d'arganier. Diplôme d'ingénieur d'état en biologie, Université Hassiba Ben Bouali Chlef, Algérie, p 37.

M'hirit, O. (2000). L'arganier: Une Espèce Fruitière-Forestière A Usages Multiples (Sprimont: Editions Mardaga), p 1–21.

Milane, H. (2004). La quercétine et ses dérivés : molécules à caractère prooxydant oucapteurs de radicaux libres ; études et applications thérapeutiques. Thèse de Doctorat Université Louis Pasteur. Strasbourg, France.

Montel, MC., Beuvier, E., Hauwuy, A. (2003). Pratiques d'élevage, microflore du lait et qualités des produits laitiers. *INRA Prod. Anim*. **16**: 279-282.

Morand-Fehr, P., Fedele, V., Decandia, M., Le Frileux, Y. (2007). Influence of farming and feeding systems on composition and quality of goat and sheep milk. *Small Rum. Res*. **68**:20-34.

Morgan, F., Bodin, J.P., Gaborit, P. (2001). Lien entre le niveau de lipolyse du lait de chèvre et la qualité sensorielle des fromages au lait cru ou pasteurisé. *Lait*. **81**:743-756.

Mouhaddach, A., El Hamdani, M., Hassikou, R., El Housni, A., Zouahri, A., Bendaou, M. (2016). Effet d'un ensilage à base de fruits de cactus sur les performances laitières des brebis de race Sardi. *Opt. Méditerr*. **115**:207-212.

Moutik, S., Lakram, N., Bendaou, M., Maadoudi, E.H, Kabbour, M.R., Douaik, A., Zouahri, A., El Housni, A., Es-Safi, N. (2019). The effect of including argane by-products (meal and pulp) in dairy ewe diet on milk quality and production, and lamb growth performance. *Trop Anim. Health. Prod*. **5**:2437-2445.

Msanda, F., Aboudi, A., Peltier, J.P. (2005). Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine. Cahiers Agricultures. **14**: 357-364.

Nardone, A., Zervas, G., Ronchi, B. (2004). Sustainability of small ruminant organic systems of production. *Livest. Prod. Sci*. **90**: 27-39.

Nasri, S., Ben-Salem, H., Vasta, V., Abidi, S., Makkar, H.P.S., Priolo, A. (2011). Effect of increasing levels of Quillaja saponaria on digestion, growth and meat quality of Barbarine lamb. *Anim. Feed Sci. Technol*. **164**:71.

Ndouyang, C. J., Ejoh, A.R., Aboubakar., Facho, B., Njintang Y.N., Mohammadou B.A., Mbofung C.M. (2009a). Standardisation de la solubilisation des saponines de *Tacca leontopetaloides* (L.) Kuntze, tubercule non conventionnel. *Revue de génie industriel*. **3**:33-39.

Ndouyang C.J., Ejoh A.R., Aboubakar F.B., Njintang Y.N., Mohammadou B.A., Mbofung C.M.F. (2009b). Valeur nutritionnelle de *Tacca leontopetaloides* Kuntze, tubercule non conventionnel. *Rev. Gen. Indust*. **3**:24-32.

Ndouyang, C.J., Njintang, N.Y., Facho, B., Scher, J., Mbofung, C.M.F. (2015). Effect of Processing Method on the Antinutrient Content of *Tacca leontopetaloides* (L.) Kuntze Flour. *Br. J. Appl. Sci. Technol*. **5**: 258-269.

Noutfia, Y., Zantar, S., Ibnelbachyr, M. (2012). Caractéristiques physicochimiques du lait et du fromage des chèvres Draa et Alpine. In: Proceedings of Acte des 1ére journées de recherche sur les ruminants organisées par INRA; Rabat, Maroc, p 163-169.

Noutfia, Y., Zantar, S., Ibnelbachyr, M., Abdelouahab, S., Ounas, I. (2014). Effect of stage of lactation on the physical and chemical composition of Draa goat milk. *Afr. J. Food Agric. Nutr. Dev*. **14**: 9181-9191.

Oliveira, D., Garcia, F., Queiroga, D., Souza, D. (2012). Technological, physicochemical and sensory characteristics of a Brazilian semi-hard goat cheese (coalho) with added probiotic lactic acid bacteria. *Sci. Agric*. **69**:370-379.

Oner, Z., Sanlidere-Aloglu, H., Dedebas, T. (2011). Determination of antioxidant capacity in milk from various animals and humans. *Milchwissenschaft-Milk Sci. Int.* **66**:133-5.

Ostdal, H., Andersen, H.J., Nielsen, J.H. (2000). Antioxidative activity of urate in bovine milk. *J. Agric. Food Chem*. **48**:5588-5592.

Ostlie, H.M., Treimo, J., Narvhus, J.A. (2003). Effect of temperature on growth metabolism of probiotic bacteria in milk. *Int. Dairy J*. **15**:989–997.

Ouammou, H. (2012). Caractérisation en acides gras de la viande des chevreaux de l'arganeraie. Mémoire de 3ème cycle Agronomie. IAV. Hassan II, Rabat, Maroc, p 9-10.

Pacheco, L. (2016). Relations entre la composition du lait et les facteurs alimentaires dans les troupeaux laitiers québécois. Thèse Doctorat en sciences animales, Université Laval, Canada, p 159.

Papanastasis, V.P., Yiakoulaki, M.D., Decandia, M., Dini-Papanastasi, O. (2008). Integrating woody species into livestock feeding in the Mediterranean areas of Europe. *Anim. Feed Sci. Tech*. **140**:1-17.

Papadimitriou, C.G., Mastrojiannaki, A.V., Silva, A.V., Gomes, A.M., Malcata, F.X., Alichanidis, E. (2007). Identification of peptides in traditional and probiotic sheep milk yoghurt with angiotensin I-converting enzyme (ACE)-inhibitory activity. *Food Chem*. **105**:647–656.

Park, Y.W. (2006). Goat milk—chemistry and nutrition. In: Park, Y.W., Haenlein, G.F.W. (Eds.), Handbook of Milk of Non-bovine Mammals. Blackwell Publishing Professional, Oxford, UK/Ames, Iowa, p 34–58.

Park, Y.W., Juarez, M., Ramos, M., Haenlein, G.F.W. (2007). Physicochemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Rum. Res*. **68**: 88-113.

Patra, A.K., Saxena, J. (2009). The effect and mode of action of saponins on the microbial populations and fermentation in the rumen and ruminant production. *Nutr. Res. Rev*. **22**:204–219.

Pavic, V., Antunac, N., Mioc, B., Ivankovic, A., Haveranek, J.L. (2002). Influence of stage of lactation on the chemical composition and physical properties of sheep milk. *CJAS*. **47**:80-84.

Pen, B., Takura, K., Yamaguchia, S. (2007). Effects of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* with or without b-1,4 galacto-oligosaccharides on ruminal fermentation, methane production and nitrogen utilization in sheep. *Anim. Feed Sci. Tech*. **138**: 75–88.

Perna, A., Intaglietta, I., Simonetti, A. (2015). Effect of genetic type on antioxidant activity of Caciocavallo cheese during ripening. *J. Dairy Sci*. **98**:3690-3694.

Picoli, S.U., Bessa, M. C., Castagna, S.M.F., Gottardi, C.P.T., Schmidt, V., Cardoso, M. (2006). Quantificação de coliformes, Staphylococcus aureus e mesófilos presentes em diferentes etapas da produção de queijo frescal de leite de cabra em laticínios. *Food Sci. Tech*. **26**:64-69.

Pincemail, J. et Defraigne J.O. (2003). Le CoEnzyme Q10 ou ubiquinone : un antioxydant particulier. *Vaisseaux Cœur Poumons*. **8**:55-60.

Potter, S. M., Jimenez-Flores, R., Pollack, J., Lone, T. A., Berber-Jimenez, M. D. (1993). Protein-saponin interaction and its influence on blood lipids. *J. Agric. Food Chem*. **41**:1287-1291.

Pougheon, S. (2001). Contribution à l'étude des variations de la composition du lait et ses conséquences en technologie laitière. Thèse doctorat, Ecole Nationale Vétérinaire Toulouse, France, p 59.

Prakash Maran, J., Vigna Nivetha, C., Priya, B., Al-Dhabi, N.A., Ponmurugan, K., Blessing Manoj, J.J. (2016). Modeling of polysaccharide extraction from *gossypium arboreum* L seed using central composite rotatable design. *Inter. J. Biol. Macromol*. **86**:857-864.

Purser, D. B. (1981). Nutritional value of Mediterranean pastures. In Grazing Animals. Elsevier, Amsterdam, p 180-1359.

Qarro, M., Ponette, Q., Marouch, R., Aamou, A. et EL Maadoudi, E.H. (2013). Phytomasse et valeur fourragere de l'arganier. Actes du 2ème Congrès International de l'Arganier, Agadir, Maroc, p 76-79.

Quezel, P. et Medail, F. (2003). Ecologie et biogéographie des forets du bassin méditerranéen. Ed. Elsevier, p 571.

Ranjan Ray, P., Kanti Ghatak, P. (2014). Lactoferrin: a potential bioactive antioxidant of milk. *Ind. Food Ind*. **33**:30-34.

Reda-Tazi, M., Berrichi, A. et Haloui, B. (2003). Esquisse cartographique de l'arganier *Argania Spinosa* (L.) Skeels au Maroc nord-oriental. *Bulletin de l'Institut scientifique*. **25**: 53-55.

Revilla, I., Gonzalez-Martin, M.I., Vivar-Quintana, A.M. (2016). Antioxidant capacity of different cheeses: Affecting factors and prediction by near infrared spectroscopy. *J. Dairy Sci*. 99:5074-5082.

Ribeiro, A.C., Ribeiro, S.D.A. (2010). Specialty products made from goat milk. *Small Rum. Res*. **89**: 225-233.

Robinson, R.K. (2002). Dairy microbiology handbook: The microbiology of milk and milk products. 3rd Edition John Wiley and sons, INC. New York, p 780.

Rodriguez, J.M., Martínez, M.I., Horn, N., Dodd, H.M. (2003). Heterologous production of bacteriocins by lactic acid bacteria. *Int. J. Food Microbiol*. **80**:101-116.

Rojas, L.B., Quideau, S., Pardon, P., Charrouf, Z. (2005). Colorimetric evaluation of phenolic content and GC-MS characterization of phenolic composition of alimentary and cosmetic argane oil and press cake. *J. Agric. Food Chem*. **53**:9122–9127.

Roux, E. (2006). Sécurité sanitaire liée à la consommation de fromage. Thèse doctorat Université de Nantes faculté de pharmacie, France, p 7.

Ruas-Madiedo, P., Hugenholtz, J., Zoon, P. (2002). An overview of the functionality of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria. *Int. Dairy J*. **12**:163-171.

Ryan, E., Galvin, K., O'Connor, T.P., Maguire, A.R., O'Brien, N. M. (2007). Phytosterol, Squalene, Tocopherol Content and Fatty Acid Profile of Selected Seeds, Grains, and Legumes. *Plant Foods Hum. Nutr*. **62**:85–91.

Santoso, B., Kilmaskossub, A. et Sambodo, P. (2007). Effects of saponins from Biophytum petersianum Klotzsch on ruminal fermentation, microbial protein synthesis and nitrogen utilization in goats. *Anim. Feed Sci. Tech*. **137**: 58–68.

Sahlin, E., Savage, G.P., and Lister, C.E. (2004). Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing. *J. Food Compos. Anal*. **17**:635–647.

Saroha, V., Kumar, D., Sharma, A., Jayakumar, S., Tyagi, A.K., Nagda, R.K., Dixit, S.P. (2014). Quantitative analysis of fatty acid in Indian goat milk and its comparison with other livestock. *J. Livest. Sci*. **5**:1-8.

SAS. SAS stat 9.1 User's Guide. (2006). SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA.

Satir, G., Guzel-Seydim, Z.B. (2015). Influence of kefir fermentation on the bioactive substances of diff erent breed goat milks. *LWT –Food Sci. Tech*. **63**:852–858.

Scalbert, A., Canach, C., Morand, C., Rémésy, C. (2005). Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*. **45**:287–306.

Schwarz, M.W. (1993). Saponins. Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. New York: VCH Publishers. **23**:485–498.

Scintu, M.F. et Piredda, G. (2007). Typicity and biodiversity of goat and sheep milk products. *Small Rum. Res*. **68:** 221–231.

Sefa-Dedeh, S., Kluvitse, Y., Afoakwa, O.E. (2001). Influence of fermentation and cowpea steaming on some quality characteristics of maize-cowpea blends. *Afr. J. Sci. Technol*. **2**:71–80.

Semma M. (2002). Trans fatty acids: properties, benefits and risks. *J. Health Sci*. **48**:7-13.

Sen, S., Makkar, H.P.S., Becker, K. (1998). Alfalfa saponins and their implication in animal nutrition. *J. Agri. Food Chem*. **46**: 131-140.

Shaiban, M., Al-Mamary, M., Al-Habori, M. (2006). Total antioxidant activity and total phenolic contents in Yemeni smoked cheese. *Malays. J. Nutr*. **12**: 87-92.

Shi. J., Jun Xue, S., Ma, Y., Li, D., Kakuda, Y., La, Y. (2009). Kinetic study of saponins B stability in navy beans under different processing conditions. *J. Food Eng*. **93**: 59-65.

Shimelis, E.A., Rakshit S.K. (2007). Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. *Food Chem*. **103**:161–172.

Shimizu, H. (2004). Relationship between plasma glutathione levels and cardiovascular disease in a defined population: the Hisayama study. *Stroke*. **35**:2072-2077.

Simos, Y., Metsios, A., Verginadis, I., Angela-Gabriella, D.A., Loiudice, P., Jirillo, E., Charalampidis, P., Kouimanis, V., Boulaka, A., Martemucci, G., Karkabounas, S. (2011). Antioxidant and anti-platelet properties of milk from goat, donkey and cow: An in vitro, ex vivo and in vivo study. *Int. Dairy J*. **21**: 901-906.

Singh, S., Swain, S., Singh, D.R., Salim, K.M., Nayak, D., Roy, D.S. (2015). Changes in phytochemicals, anti-nutrients and antioxidant activity in leafy vegetables by microwave boiling with normal and 5% NaCl solution. *Food Chem*. **176**:244–253.

Singleton, V.L. et Rossi J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic–phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic*. **16**:144-158.

Soetan, K.O., Ajibade, T.O., Akinrinde, A.S. (2015). Saponins – A Ubiquitous Phytochemical: A Review of Its Biochemical, Physiological and Pharmacological Effects. *Phytotherapeutics*. 44: 440-446.

Souidi, Z., Hamimed, A. et Kattar, S. (2013). La culture de l'arganier en Algerie : situation actuelle et perspectives d'avenir. Actes du 2ème Congrès International de l'Arganier Agadir, Maroc, p 134-138.

Souza, G., Brito, J.R.F, Aparecida, M., Brito, V.P., Lange, C., Faria, C., Moraes, L., Fonseca, R.G., Silva, Y. (2009). Composition and bulk tank somatic cell counts of milk from dairy goat herds in southeastern Brazil. *Braz. J. vet. Res. Anim. Sci*. **46**:19-24.

Sretenovic, L.J., Aleksic, S., Petrovic, M.P., Miscevic, B. (2007). Nutritional factors influencing improvement of milk and meat quality as well as productive and reproductive parameters of cattle. *J. Anim. Sci. Biotechnol*. **23**:217–226.

St-Gelais, D. et Tirard-Collet, P. (2002). Fromage. In: Lapoint-Vignola C. (Eds.), Science et technologie du lait : Transformation du lait. Presses Internationales, polytechniques, Québec, Canada, p 349-412.

Suriyaphan, O., Drake, M., Chen, X. Q., Cadwallader, K. R. (2001). Characteristic aroma components of British Farmhouse Cheddar cheese. *J. Agric. Food Chem*. **49**:1382-1387.

Susmel, P. (2001). Optimizing the use of local conventional and non-conventional feed resources in Mediterranean arid and semi-arid areas. Matariya, Cairo, Egypt, p 14.

Szent Gyorgyi, A. (1938). Crystallized vitamin C and hexuronic acid Cox. *Science*. 540- 542.

Taarji, N., Rabelo da Silva, C.A., Khalid, N., GaDhi, C., Hafidi, A., Kobayashi, I., Neves, M.A., Isoda, H., Nakajima, M. (2017). Formulation and stabilization of oil-in-water nanoemulsions using a saponins-rich extract from argan oil press-cake. *Food Chem*. **246**: 457-463.

Tarade, K. M., Singhal, R. S., Jayram, R. V., Pandit, A. B. (2006). Kinetics of degradation of saponins in soybean flour (Glycine max.) during food processing. *J. Food Eng*. **76**: 440-445.

Thieulon, M. 2005. Lait pathogènes staphylocoques. *Revue de la chambre d'agriculture du Cantal*. **3**:1-2.

Tormo, H. (2010). Diversite des flores microbiennes des laits crus de chèvre et facteurs de variabilité. Thèse doctorat, Université de Toulouse, France, p 258.

Tormo, H., Lekhah, A.H. et Laither, C. (2006). Les microflores utiles des laits crus de vache et de chèvre: principaux réservoirs et impact de certaines pratiques d'élevage. *Renc. Rech. Rum*. **13**:305-308.

Tsen, S.Y., Siew, J., Lau, E.K.L. (2014). Cow's milk as a dietary source of equol and phenolic antioxidants: differential distribution in the milk aqueous and lipid fractions. *Dairy Sci. Technol*. **94**:625-632.

Turkmen, N., Sari, F., Velioglu, S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chem*. **93**: 713–718.

Vignola, C.L. (2002). Science et technologie du lait –Transformation du lait. École polytechnique de Montréal. **3**:29-34.

Villano, D., Fernandez-Pachon, M.S., Moya, M.L., Troncoso, A.M., GarciaParilla, M.C. (2007). Radical scavenging ability of phenolic compounds towards DPPH free radical. *Talanta*. **71**: 230–235.

Virtanen, T., Pihlanto, A., Akkanen, S., Korhonen, H. (2007). Development of antioxidant activity in milk whey during fermentation with lactic acid bacteria. *J. Appl. Microbiol*. **102**:106–115.

Wallace, R. J. (2004). Antimicrobial properties of plant secondary metabolites. *Proceedings of the nutrition society*. **63**: 621-629.

Walstra, P., Wouters, J. T. M., & Geurts, T. J. (2006). Milk components. *Dairy Sci. Tech*. **2**:17-108.

Wang, B., Tu, Y., Zhao, S. P., Hao, Y. H., Liu, J. X., Liu, F. H., Jiang, L. S. (2017). Effect of tea saponins on milk performance, milk fatty acids, and immune function in dairy cow. *J. Dairy Sci*. **100**: 8043-8052.

Wang, J.K., Ye, J.A., Liu, J.X. (2012). Effects of tea saponins on rumen microbiota, rumen fermentation, methane production and growth performance. *Trop Anim. Health Prod*. **44**: 697–706.

Wang, Y., McAllister, T. A., Yanke, L. J., Cheeke, P. R. (2000). Effect of steroidal saponin from Yucca schidigera extract on ruminal microbes. *J. Appl. Microbiol*. **88**: 887-896.

Weiss W. P. (2010). Antioxidant nutrients and milk quality. Department of Animal Sciences Ohio Agricultural Research and Development Center the Ohio State University.

Wilkins, E., Wilson, L., Wickramasinghe, K., Bhatnagar, P., Leal, J., Luengo-Fernandez, R., Burns, R., Rayner, M., Townsend, N. (2017). European Cardiovascular Disease Statistics 2017. *European Heart Network*. 1-192.

Williams, C. M. (2000). Dietary fatty acids and human health. *Ann. Zootech*. **49**:165-180.

Wina, E., Muetzel, S. et Becker, K. (2005). The impact of saponins or saponin containing plant materials on ruminant production - A Review. *J. Agri. Food Chem*. **53**:8093-8105.

Wisselink, H.W., Weusthuis, R.A., Eggink, G., Hugenholtz, J. Grobben, G.J. (2002). Mannitol production by lactic acid bacteria: a review. *Int. Dairy J*. **12**:151-161.

Wu, X., Beecher, G.R., Holden, J.M. (2004). Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *J. Agric. Food Chem*. **52**:4026-4037.

Yurchenko, S., Sats, A., Tatar, V., Kaart, T., Mootse, H., Jõudu, I. (2018). Fatty acid profile of milk from Saanen and Swedish Landrace goats. *Food Chem*. **254**: 326–332.

Zaaraoui, L., Ounine, K., Elhamdani, M., Benali, A., Oukassou, M., Bouksaim, M. (2016). Evaluation and Selection of autochthonous lactic acid bacteria as starter cultures from goat's raw milk. *IOSR- IJBB*. **7**: 16-21.

Zamberlin, S., Antunac, N.,, Havranek J., Samaržija, D. (2012). Mineral elements in milk and dairy products. *Mljekarstvo*. **62**: 111-125.

Zantar, S., Boujnah, M., Toukour, E. A., Hassani, Z. M., Bakkali, M., Laglaoui, A. (2016). Caractérisation du lait de chèvre du Nord du Maroc. *Revue Méd. Vét*. **115**:509-515.

Zarban, A., Taheri, F., Chahkandi, T., Sharifzadeh, G., Khorashadizadeh, M. (2009). Antioxidant and radical scavenging activity of human colostrum, transitional and mature milk. *J. Clin. Biochem. Nutr*. **45**:150–154.

Zhao, Y., Du, S. K., Wang, H., Cai, M. (2014). In vitro antioxidant activity of extracts from common legumes. *Food chem*. **152**:462-466.

Zougagh, M., Salghi, R., Dhair, S., and Rios, A. (2011). Nanoparticle-based assay for the detection of virgin argan oil adulteration and its rapid quality evaluation. *Anal. Bioanal. Chem.* **399**: 2395-2405.

Zouhair, F.Z., Benali, A., Kabbour, M.R., EL Kabous, K., El Maadoudi, E., Bouksaim, M., Essamri, A. (2018). Typical characterization of argane pulp of various Moroccan areas: A new biomass for the second generation bioethanol production. *J. Saudi Soc. Agric. Sci*. in press.

Zouhair, F.Z., En-Nahli, Y., Kabbour, M.R., Ebich, F., Benali, A., Cheikhi N., El Maadoudi, E.H., Mohammed Bouksaim, M., Essamri, A. (2019). Model study on dilute acid pretreatment of argan pulp for bioethanol production using response surface methodology. *Med. J. Chem*. **8**: 290-301.

Zweifel, C., Muehlerr, J. E., Ring, M. et Stephan, R. (2005). Influence of different factors in milk production on stand and plate count of raw small ruminants bulk-tank milk in Switzerland. *Small Rum. Res*. **58**: 63-70.

ANNEXE

CONVENTION ASIMA ESSAOUIRA

FICHE ENQUÊTE

Tableau 1 : Information générale

QUALITE DE LA PERSONNE ENQUETEE	
Homme	
Femme	
Fonctionnaire	
Ingénieur	
Technicien	
Représentant d'une association	
Représentant d'une coopérative	
Agriculteur	
Eleveur	
Sans fonction secondaire	
Consommateur	
Autre (à préciser)	

Tableau 2 : Questionnaire concernant la connaissance du sujet de l'enquête

CONNAISSANCE DU SUJET DE L'ENQUETE		
Savez-vous que les sous-produits de l'arganier sont utilisés dans l'alimentation des animaux ?	Oui	Non
Savez-vous que l'on peut mieux valoriser les sous-produits de l'arganier en alimentation animale ?	Oui	Non
Les prix de ces aliments sont-ils concurrentiels ?	Oui	Non
Le lait issu de ces aliments est-il plus savoureux ?	Oui	Non
Les viandes issues de ces aliments sont-elles plus savoureuses ?	Oui	Non

Tableau 3 : Questionnaire de l'enquête concernant les éleveurs

POUR LES ELEVEURS				
Etes-vous producteur de lait ?	Oui		Non	
Etes-vous engraisseur ?	Oui		Non	
Etes-vous à la fois producteur de lait et engraisseur?	Oui		Non	
Avez-vous déjà utilisé les sous-produits de l'arganier pour alimenter vous animaux ?	Oui		Non	
Si oui comment sont-ils présentés aux animaux ?	En état		Broyés	
Les résultats de la production laitière sont-ils (seraient-ils) encourageants ?	Oui		Non	
Les résultats d'engraissement sont-ils (seraient-ils) encourageants ?	Oui		Non	
Les résultats économiques sont-elles (seraient-elles) encourageantes ?	Oui		Non	
Quelle est la quantité distribuée par un animal ?				
Du point de vue appétibilité, que remarquez-vous concernant les quantités ingérées de tourteau ?	Bonne		Mauvaise	
Pensez-vous que cet aliment est économique pour la production laitière ?	Oui		Non	
Pensez-vous que cet aliment est économique pour l'engraissement ?	Oui		Non	
Quel prix en Dh/kg êtes-vous prêt à payer pour cet aliment ?	**1,5**	**2,0**	**2,5**	**3,0**

Tableau 4 : Questionnaire de l'enquête concernant les membres des coopératives

POUR LES COOPERATIVES D'ARGANE		
Préférez-vous vendre vos sous-produits aux UV de la région ?	Oui	Non
Si oui, à quel prix ? Tourteau ……(DH/kg)		
Si oui, à quel prix ? pulpe……(DH/kg)		
Quel tonnage annuel estimatif pouvez-vous vendre à ces UV ? Tourteau ……(t)		
Quel tonnage annuel estimatif pouvez-vous vendre à ces UV ? pulpe……(t)		
Souhaitez-vous être rémunéré par les UV en (1) Espèce ou en (2) Nature pour ces ingrédients ?		
Quelle quantité estimez-vous en mesure de produire ?		
elle est votre capacité de stockage ? Tourteau.....T ;		
elle est votre capacité de stockage ? pulpe…T		
Quelle sera la disponibilité de ces produits par rapport à chaque saison ?		
En cas de satisfaction et d'une demande croissante du produit, souhaitez-vous élargir l'activité de la production d'aliment de bétail ?		

Tableau 5 : Questionnaire de l'enquête concernant les consommateurs

POUR LES CONSOMMATEURS							
Avez-vous déjà gouté le lait des animaux issus de cet aliment ?				Oui	%	Non	%
Si oui, de quelle espèce ?	Bovine %	Ovine %	Caprine %	Cameline %			
Avez-vous déjà gouté la viande des animaux issus de cet aliment ?				Oui	%	Non	%
Si oui, de quelle espèce ?	Bovine %	Ovine %	Caprine %				
Pouvez-vous distinguer le lait issu de cet aliment des aux autres types de lait ?				Oui	%	Non	%
Pouvez-vous distinguer la viande issue de cet aliment des aux autres viandes ?				Oui	%	Non	%
Le lait issu de cet aliment est-elle plus savoureux ?				Oui	%	Non	%
La viande issue de cet aliment est-elle plus savoureuse ?				Oui	%	Non	%
Pensez-vous qu'il s'agit d'un lait biologique ?				Oui	%	Non	%
Pensez-vous qu'il s'agit d'une viande biologique ?				Oui	%	Non	%