COMPARAISON DE L'ANATOMIE, LA PHYSIOLOGIE DE LA DIGESTION ET LE METABOLISME DES CAMELIDES PAR RAPPORT AUX RUMINANTS

Fatma Hasna LONGO-HAMMOUDA* et Ahmed MOUATS **

**Institut national agronomique d'Alger, Département de Zootechnie, Laboratoire d'alimentation et nutrition, email:fhlongohammouda@yahoo.fr*
***Université de Mostaganem, Laboratoire de physiologie animale, email:azizmouats@yahoo.fr*

RESUME:
Les études portant sur l'anatomie, l'histologie, la physiologie de la digestion et le métabolisme des principaux nutriments chez les Camélidés, pour les trois dernières décennies, ont concerné essentiellement les descriptions anatomiques et histologiques du tube digestif en comparaison aux ruminants classiques (bovins, ovins et caprins).
Très peu de travaux sont réalisés sur la partie terminale du tube digestif des Camélidés ce qui rend difficile la détermination de leurs besoins.
Les Camélidés valorisent mieux que les ruminants leur alimentation, notamment l'utilisation de l'azote et les matières ligno-cellulosiques

Mots clés : *Anatomie –physiologie de la digestion –métabolisme- Camélidés- Ruminants*

ABSTRACT:
Studies concerning anatomy, histology, physiology of digestion and metabolism of main nutriments of Camels, for the last three decades, concerned principally anatomic and histological descriptions of the digestive tube in comparison with Ruminants.
Little works are accomplished on the final part of the digestive tube of Camels what returns the determination of their needs difficult.
Camels use better Ruminants their feeding, notably nitrogen and ligno-cellulosic subjects.

Key words: *Anatomy – physiology of digestion – metabolism - Camels - Ruminants*

ملخص:
الدراسات التي شملت علم التشريح، علم الأنسجة والوظيفية الخاصة بعملية الهضم ومختلف التحولات التي تمس الأغذية الأساسية عند مختلف أنواع الجمال في الثلاث العشريات الأخيرة، تحدث بشكل أساسي عن الوصف التشريحي والنسيجي للأنبوب الهضمي، بالمقارنة مع المجترات المعروفة (الأبقار، الأغنام والماعز).
هذه الأعمال بينت اختلافات تشريحية ونسيجية معتبرة عند الجمال والمجترات، مما يؤدي إلى تأثير مهم على مستوى الوظائف الفيزيولوجية والإستقلابية للأنبوب الهضمي.
القليل فقط من البحوثات التي قامت بدراسة الجزء النهائي للأنبوب الهضمي عند الجمال، مما يجعل تحديد احتياجاتها أمرا صعبا، تقوم الجمال باستغلال أحسن لحصتها الغذائية مقارنة بالمجترات وخاصة فيما يخص استعمال الأزوت والمواد السيليلوزية.

الكلمات الأساسية: *علم التشريح - فيزيولوجية الهضم - الإستقلاب - الجمال - المجترات*

INTRODUCTION

L'évolution du dromadaire dans les milieux difficiles tient en partie à l'anatomie et à la physiologie de son tube digestif ainsi qu'aux conditions du milieu du pré estomac particulièrement favorable à la préservation de l'écosystème microbien et à son activité (JOUANY, 2000)[30].

Les particularités de la physiologie de la digestion au niveau des pré -estomacs chez les camélidés et le métabolisme digestif découlent de différences anatomiques et histologiques notables par rapport aux ruminants classiques :

Les études à caractère digestif ou portant sur la physiologie de la digestion, effectuées au cours des trois dernières décennies, ont porté essentiellement sur les descriptions anatomiques et histologiques du tube digestif (VALLENAS et al. ,1971[63]; SHAHRASBI et RAD-MEHR, 1975[49] ; HIFNY et al, 1985[26]; YAGIL, 1985[54]; JOUANY et KAYOULI. , 1989 [32].

Ces travaux ont permis de préciser les travaux antérieurs, notamment ceux de CUVIER (1805)[11] ; BRANDT (1841) [6], BOAS (1890) [4] et CORDIER (1894) [10].

Il ressort de ces travaux que les différences anatomiques des « estomacs » entre les camélidés et les ruminants ont une influence importante sur les fonctions physiologiques et métaboliques du tube digestif. De telles différences ont des conséquences sur la transformation des aliments dans le tube digestif.

Les études physiologiques qui ont été réalisées par l'équipe de ENGELHARDT de l'école vétérinaire d'Hanovre, complétées par les travaux sur la digestion microbienne, ont permis de mieux comprendre quelques particularités de la physiologie digestive, le métabolisme et d'expliquer les aptitudes nutritionnelles spécifiques des camélidés.

Cette revue bibliographique contribue à faire le point sur la connaissance de ces études.

I- PARTICULARITES ANATOMIQUES DU TRACTUS DIGESTIF DU DROMADAIRE

Aussi bien les ruminants (bovin, ovin et caprin) que le camelin possèdent une caractéristique unique de rumination et des pré- estomacs, mais les camélidés présentent plusieurs aspects qui différent anatomiquement et physiologiquement de ceux des ruminants.

I.1 -*Au niveau de la cavité buccale :*

- le dromadaire possède des canines ;
- les lèvres sont extrêmement mobiles et sensitives, ce qui permet à l'animal de faire une bonne séparation des pâturages qu'il prélève. La lèvre supérieure est fendue, ce qui lui facilite la préhension des aliments ;
- la langue est relativement étroite, mais elle est très mobile (avec 5 à 7 papilles avec 1 cm de diamètre pour chacune).
- Le voile palatin est particulièrement développé (DJEGHAM et al. 1993) [13] .
- Les glandes salivaires sont similaires en taille et histologiquement chez le dromadaire et le ruminant, les glandes les plus développées sont les parotides. Viennent ensuite les glandes maxillaires et molaires. Les glandes linguales et sublinguales sont insignifiantes.

I.2- L'œsophage :

Il fait entre 1 et 2 m de long et il est tapissé de glandes à mucus (DJEGHAM et al. 1993) [13].

I. 3– Les pré-estomacs :

Les « estomacs » du ruminant sont constitués de quatre (04) compartiments distincts : le rumen, le réseau (ou réticulum), le feuillet (ou omasum) et la caillette (ou abomasum). Du fait de l'absence de sphincter entre le rumen et le réseau, on associe les deux compartiments en un seul appelé le réticulo-rumen (fig.1, annexe). La conformation et les connections entre les réservoirs gastriques des camélidés sont si différentes de celles des ruminants que les opinions sur les délimitations entre les compartiments et leur rôle dans la digestion sont encore aujourd'hui fortement discutés. Il est admis d'appeler les quatre réservoirs gastriques des camélidés c1, c2, c3 et c4 (YAGIL, 1985 [54] ; JOUANY, 2000[30]).

- Le compartiment 1 (c1) :

Le compartiment 1 occupe plus de la moitié de l'abdomen, c'est un vaste réservoir réniforme, incurvé sur lui-même dont la face supérieure porte la grande courbure et forme le sac caudal. La face inférieure porte la petite courbure et forme le sac crânial qui reçoit les aliments ingérés par l'animal (fig.1, annexe). Les deux courbures se rejoignent au niveau d'une base appelée « hile ». On note sur la partie ventrale de c1 et c2 l'existence de deux imposants culs de sac arrondis qui bordent le hile : ce sont les sacs glandulaires (ou cellules aquifères) qui se distinguent en lobe antérieur ou gauche et un lobe postérieur ou droit (HOLLER et al, 1989 ; fig.2, annexe) [25]. Ces derniers ont un rôle similaire à celui des glandes salivaires si bien qu'on parle de complémentarité entre la salive et le liquide secrété par les cellules aquifères.
L'épithélium glandulaire de c1 est perméable aux acides gras volatils (AGV) et permet aussi l'échange de bicarbonates, comme cela se produit à travers l'épithélium kératinisé des ruminants.

Le c1 ne possède pas de papilles. Il se caractérise par l'existence de deux piliers qui partent du cardia et traversent les sacs glandulaires, et par la gouttière œsophagienne qui traverse c1, c2 et se termine par une ouverture à l'entrée du c3.

- Le compartiment 2 (c2)

Ce compartiment est situé à droite du lobe ventral de c1, et comme le réseau du ruminant, il est étroitement associé à c1. La quasi-totalité de c2 est tapissée d'une muqueuse stratifiée de type œsophagien (KAYOULI et al, 1995)[34], riche en nodules de cellules sécrétrices de mucus (PRUD'HOM et al, 1993) [45]. Ce compartiment n'est pas tapissé d'une structure en alvéole (nids d'abeille) comme dans le réticulum du ruminant.

- Le compartiment 3 (c3)

Le c3, qui n'a pas d'équivalent chez les ruminants, est le plus variable des réservoirs gastriques chez les camélidés. Il est constitué d'une portion tubulaire placée directement après c2 et qui s'étend jusqu'au pylore .Celle-ci est composée de trois parties : la partie initiale, fortement dilatée, est suivie d'un rétrécissement long, lequel se termine par une zone dilatée, située près du pylore où est secrété Hcl. Le c3 communique avec c2 par un sphincter et s'ouvre sur c4 dont le volume est faible. Les deux premières parties de c3 sont tapissées d'une muqueuse glandulaire et présentent des plis longitudinaux, mais le compartiment c3 ne possède pas de lames, comme dans l'omasum du ruminant. La dilatation terminale est considérée comme l'équivalent de la caillette des ruminants. Cependant, elle est plus petite (SHAHRASBI et RADMEHR, 1975) [49. (C'est le compartiment 4 (c4). Il est tapissé d'une muqueuse beaucoup plus épaisse que les deux premières parties. C'est un épithélium plié à travers lequel passent des glandes tubulaires tapissées de cellules qui ressemblent aux cellules pariétales endocrines et à mucus du fundus de l'estomac des monogastriques (LUCIANO et al, 1979) [41]. La deuxième partie de c4 possède un épithélium qui ressemble à l'antrum pylorique des monogastriques. Il n'y a pas vraiment de sphincter qui sépare c3 et c4, alors que leurs contenus sont différents. En effet, le pH du contenu de c3 avoisine 6,35

tandis qu'au niveau de c4 règne un pH de 3,6 (MALOIY, 1972; [42] ENGELHARDT et al, 1979)[16].

I.4 – L'intestin grêle et le gros intestin

L'intestin grêle et le gros intestin des camélidés et des ruminants sont anatomiquement proches. Selon YAGIL (1985) [54], l'intestin grêle mesure 4m de long.
*Le canal qui conduit aussi bien la bile que le suc pancréatique s'ouvre dans le duodénum à environ 53 cm du sphincter pylorique.

*Le colon fait 19,5 m de long. Le cæcum est similaire à celui des ruminants. Il mesure environ 1 m de long.
Le foie est particulièrement lobulé sur la partie ventrale postérieure et il est similaire à celui du porc. Les camélidés ne possèdent pas de vésicule biliaire. Le foie pèse, chez l'adulte, entre 5,5 et 6,6 kg. (YAGIL ,1985)[54]

II – PHYSIOLOGIE DE LA DIGESTION

II.1 – La cavité buccale

II. 1.1. Les dents, la mastication et la rumination.

L'usure des dents est sujette à de grandes irrégularités du fait de la variabilité des pâturages disponibles. Les molaires jouent un rôle important lors de la mastication ingestive et merycique en réduisant les aliments en petites particules (DJEGHAM ., 1993) [13] d'où leur rôle primordial dans la digestion. Les mâchoires sont animées, lors de la mastication, d'un double mouvement de propulsion dans le sens antéropostérieur et des mouvements de déduction dans le sens latéral (fig.3).

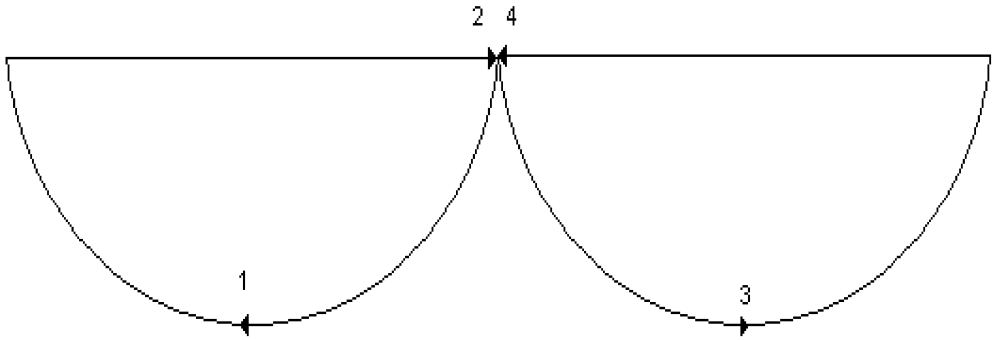

Fig. 3 : mouvements de la mastication chez le dromadaire (RUCKEBUSH et al, 1981) [47].

II.1.2. Les glandes salivaires et leurs secrétions

Selon (KAY et MALOIY, 1989)[33], les dromadaires secrètent des quantités plus importantes de salive que les bovins et les ovins. En effet, selon (YAGIL, 1985) [54], cette quantité produite est de 80 litres.

La sécrétion salivaire est abondante, notamment dans les glandes parotides. La sécrétion d'une glande parotide est de 12 à 21 litres/jour.
La salive est basique, légèrement hypotonique et a une forte concentration en bicarbonates et

phosphates qui produisent le fluide et toutes les bases nécessaires au maintien des conditions favorables pour la digestion microbienne dans les « estomacs».

Les sécrétions salivaires du dromadaire se distinguent par l'existence d'une activité amylolytique (JARRAB et TAÏB, 1989) [28]. La production salivaire est beaucoup plus abondante et plus rapide pendant l'ingestion et la rumination, quoique la production soit continue, comme chez le ruminant. Durant la rumination, le dromadaire mastique alternativement à gauche et à droite de la cavité buccale. Un jet de salive d'origine parotidienne est produit en continu après chaque coup de mâchoire, mais le flux est plus faible pour les autres glandes salivaires. Cette sécrétion salivaire, importante contribue largement à une insalivation et une humification du bol alimentaire. Le flux moins important des autres glandes salivaires semble approprié pour une digestion plus lente des aliments, ce qui permet à la fermentation microbienne de se prolonger.

II. 2. L'œsophage

De par sa structure musculo-membraneuse, il achève la déglutition du bol alimentaire et, par le fait qu'il soit tapissé de nombreuses glandes muqueuses, il humecte les aliments souvent secs et ligneux.

II.3. Les pré- estomacs

II.3.1. La motricité des pré- estomacs – La rumination et l'éructation.

La motricité des prés estomacs assure le mélange des phases liquide et solide des digesta et favorise la vidange des réservoirs gastriques. Chez les camélidés et particulièrement le dromadaire, on note la présence de séquences basiques de contraction dénommées A et B (HELLER et al [24] ; ENGELHARDT et al. 1992)[15]. Les séquences A commencent par une contraction de c2, suivie d'une contraction de la partie caudale de c1, environ 4 secondes après. Les séquences B commencent avec la contraction de la partie crâniale de c1, suivie par la contraction de c2 et la partie caudale de c1. Ces séquences durent environ 9 secondes. Le flux ou le passage des digesta se fait à travers le canal situé entre c2 et c3 ; il se produit pendant la contraction de c2. Le canal se relâche pendant une période très courte qui précède la contraction de c3.

L'éructation des gaz (méthane 20 à 30% et gaz carbonique (45 à 70%) se produit lors de la contraction de la partie caudale de c1, soit au cours de la séquence B. On note alors une courte contraction de la partie dorsale de c1, tout de suite après celle de la partie caudale.

Durant l'ingestion et la rumination, les activités motrices sont fréquentes (environ 100 séquences par heure (LECHNER-DOLL et al ; 1995)[35].

La motricité s'arrête pendant environ 20 secondes au moment du repos de l'animal. La direction des *digesta* (mouvements des digesta entre les compartiments 1 et 2) est montrée par la fig.3 bis (annexe).

La rumination chez le dromadaire est initiée par une profonde inspiration durant laquelle la glotte reste fermée, cette fermeture est induite par une baisse de la pression de la partie basse de l'œsophage. Après la contraction de la partie crâniale de c1, le *digesta* passe au niveau de l'œsophage, suivi d'un antipéristaltisme au niveau de la cavité buccale (LECHNER-DOLL et al[37]). L'intensité et la durée du mérycisme varient selon les pâturages consommés. ABDOULI et KRAIEM, 1990[1] et DJEGHAM et al. (1993)[13] rapportent une durée de 542 à 580 minutes avec 50 à 60 coups par minute. Selon Schmidt Nielsen (1964)[48], les sacs glandulaires sont considérés comme des glandes salivaires accessoires. Ils pourraient être un lieu de production d'ions bicarbonatés ayant un effet tampon complémentaire de celui de la salive.

D'autres auteurs les considèrent comme de simples cavités destinées à la mise en réserve d'eau (HEGAZI, 1950)[23]. HOPPE et al, (1976)[27] ont montré que l'eau bue par un dromadaire est retenue pas moins de 24h dans les pré-estomacs et que l'hydratation et la réhydratation de l'animal se fait

progressivement. Il est probable que les sacs glandulaires jouent un rôle de piégeage de l'eau au niveau de c1. Selon ENGELHARDT et RUBSAMEN (1980) [17], la principale fonction de ces sacs serait d'absorber rapidement l'eau, les acides gras volatils et l'ammoniaque. Cette absorption est stimulée par la production des ions bicarbonates dans les sacs glandulaires.

II.3.2. La microflore et ses caractéristiques physico-chimiques.

Le nombre et la nature des micro-organismes dans les poches pré- stomacales des herbivores sont extrêmement variables selon le régime alimentaire (FAHMY, 1999) [(18)]. En effet, celui-ci conditionne la microflore par l'intermédiaire de la quantité et de la nature des substrats fermentescibles qu'il apporte et par les caractéristiques du milieu qu'il crée dans les compartiments pré stomacaux. JOUANY et KAYOULI (1989) [32] et STEWART (1991) [50] considèrent que la microflore est affectée par le biotope, le contact avec d'autres animaux et l'alimentation.

Cette population microbienne se divise, selon DEMEYER (1991) [12] ; JOUANY et al, (1995) [31] en trois groupes :

Les bactéries,
Les protozoaires,
Les champignons
Selon JOUANY (2000)[30], cette population microbienne anaérobie des pré -estomacs présente très peu de différence chez les camélidés et les ruminants.

- Les bactéries

C'est la population la plus dense. Les espèces dominantes de bactéries sont les mêmes et leurs nombres diffèrent peu (10^{10} –10^{11} par ml).

MORVAN et al, (1996)[43] montrent que les lamas hébergent une population plus abondante de bactéries acétogènes que les ruminants. Les différences ne sont pas significatives dans le dénombrement de bactéries méthanogènes, de bactéries sulfato-réductrices et les cellulolytiques. La concentration des bactéries viables totales serait plus faible chez les camélidés adultes (104 par ml).

- Les protozoaires

Le nombre de protozoaires ciliés est plus bas chez les camélidés que chez les ruminants. En effet, KAYOULI et al, (1991[35] et 1993[36]) ; JOUANY et al (1995) [31] indiquent que les concentrations en protozoaires sont plus faibles chez les dromadaires et les lamas que chez les ruminants (tableau 1 en annexe) (JOUANY, 2000) [30].
Des différences sur la répartition des genres de protozoaires ciliés sont relevées : les ciliés entodiniomorphes de grande taille sont uniquement du type B chez les camélidés, alors que les types A et B sont présents chez les ruminants.
La présence d'Isotrichidae n'a jamais été observée chez les camélidés. La présence de protozoaires, tout comme celle des bactéries évoquées précédemment est conditionnée par la nature du biotope, du régime alimentaire (PRINS, 1991) [44]. Cette population peut voir son nombre décroître voire même disparaître lors d'un jeun prolongé, d'un changement de régime alimentaire ou de la fréquence d'abreuvement (BOHATIER, 1991) [05].

- Les champignons

Durant longtemps seules les bactéries et les protozoaires étaient considérés comme constituants de la flore microbienne pré-stomacale. La paternité de la mise à jour de l'existence des champignons anerobie stricte, en dehors de la partie intestinale revient à Orpin en 1975 (FONTY, 1991) [(21)], SUSMEL et STEFANON, 1993) [51]. Les champignons anaérobies isolés sont regroupés en trois types morphologiques :
1 – Neocalli mastix sp
2 - Piromonas sp
*3 – Sphaeromonas s*p
Le développement de cette population est tributaire de la nature du régime alimentaire. FONTY (1991) [21] rapporte que l'accroissement de cette population est observé lors de l'ingestion d'une alimentation très fibreuse.

Le mode de fixation des champignons sur le substrat végétal fait que ceux-ci soient ainsi véhicules jusqu'au niveau de l'intestin. Cette population fongique se fixe grâce à ses rhizoides qui pénètrent les tissus ainsi que les stomates. Cette pénétration s'accompagne de la libération de sucres solubles qui par chimiotactisme vont attirer les autres champignons nageant dans le liquide stomacal, induisant la libération d'enzymes extracellulaires aptes à dégrader les différentes composantes de la paroi cellulaire (cellulose et hémicelluloses) et ceci malgré la présence de la lignine.

Il n'y a pas de données publiées sur les champignons anaérobies chez les camélidés ; toutefois, selon FONTY (communication personnelle) leur concentration dans le c1 des camélidés serait supérieure à celle mesurée dans le rumen. Cependant, la contribution à la digestion globale est encore méconnue aussi bien chez les ruminants que chez les camélidés.

II.3.3. La densité des particules alimentaires et leurs temps de séjour dans les compartiments.

Le temps de séjour des aliments dans les pré-estomacs des ruminants est considéré comme un facteur déterminant de l'ingestibilité et de la digestibilité des fourrages riches en composés pariétaux qui nécessitent un temps d'exposition important à l'attaque des micro-populations pré- stomacales. Le temps de séjour des particules alimentaires au niveau des pré-estomacs est conditionné aussi bien par la taille que la motricité de ces derniers.

Le MRT (Mean Retention Time) est d'autant plus long que le tractus gastro-intestinal est important. Les études conduites chez les ruminants et les camélidés montrent que la taille et la densité des particules alimentaires varient selon leur localisation dans le reticulo-rumen; les particules situées dans le sac dorsal sont d'une densité faible et plutôt de grande taille (supérieure à 1 cm). Celles qui sont dans le sac ventral sont d'une densité élevée et de petite taille.

La densité des particules alimentaires évolue au cours de leur séjour dans le rumen. Elle dépend de nombreux facteurs : la structure des fourrages, les espaces internes remplis de gaz, au moment de l'ingestion, la taille et la forme des particules, les microorganismes. Les particules les plus grosses et les plus légères sont sélectivement retenues plus longtemps dans le rumen. Elles doivent atteindre une densité égale à 1,2g/ml et la taille d'un millimètre pour quitter le reticulo–rumen. LECHNER-DOLL, et al, (1991) [36] montrent que la taille des particules sortant de c1 est de 3 mm chez les lamas.

Le temps de séjour moyen des particules solides est plus long chez les camélidés que chez les ruminants (LECHNER-DOLL al 1991[36], KAYOULI et al, 1993[34]). Il est de 44 heures chez le lama et de 27 heures chez le mouton. De tels écarts peuvent être dus à la faible activité de rumination des camélidés durant la journée ; celle-ci n'étant pas compensée par l'activité nocturne. Selon LEMOSQUET et al 1996 [39], les camélidés ruminent 1 heure de moins par jour, ce qui entraîne une augmentation du temps de séjour des particules dans c1. Quant à la phase liquide, elle séjourne 11 et 13 heures respectivement dans les pré-estomacs de lama et de mouton (LEMOSQUET et al,(1996)[39]).

L'augmentation de la vitesse de vidange des liquides et le temps de séjour plus long de la phase solide expliquent la plus grande teneur en matière sèche du contenu des pré-estomacs de camélidés par rapport aux ruminants.

II.3.4. Les conditions physico-chimiques et les fermentations dans les pré- estomacs

Selon JOUANY (2000) [(30)], les conditions physico-chimiques sont plus stables dans les compartiments de fermentation du tube digestif de camélidés par rapport aux ruminants.

II.3.4.1. La température des digesta

La température moyenne des *digesta* dans le compartiment 1 des lamas est inférieure de 2°c à celle des *digesta* dans le rumen. Cela s'explique par une élimination plus

importante des calories *via* la phase liquide des pré-estomacs dont le débit est plus important chez les camélidés, ou par une faible production de chaleur par les populations microbiennes ; ce qui signifierait que le rendement énergétique des fermentations en ATP serait supérieur chez les camélidés. Cela pourrait conduire à une capacité de synthèse de protéines microbiennes supérieure chez ces animaux (JOUANY,2000) [30].

II.3.4.2. Le pH.

Le pH des *digesta* des pré- estomacs des camélidés évolue lentement après le repas, même quand les régimes sont supplémentés en glucides rapidement fermentescibles (orge). Le pH ne descend jamais au-dessous de 6,5, ce qui permet d'éviter les troubles digestifs observés chez les ruminants alimentés avec des régimes riches en énergie digestible.

Le pH reste élevé dans les pré- estomacs des camélidés, même dans le cas de régimes peu digestibles. Cela signifie que la muqueuse digestive, le renouvellement de la phase liquide et la salive des animaux sont fortement impliquées dans la stabilisation du pH chez les camélidés par rapport aux ruminants classiques (JOUANY ,2000) [30].

II.3.4.3. La concentration en N-NH3

La concentration en N-NH3 est plus stable et plus faible dans le c1 du dromadaire que dans le rumen de mouton (FARID et al, 1984[19], KAYOULI et al, 1991[35] et 1993[36], ROUISSI, 1994[43]). Selon JOUANY (2000)[30], ce résultat peut s'expliquer par une absorption plus forte au niveau de la muqueuse et par une élimination plus importante de NH3 via le flux liquide hors de c1 et son utilisation par les bactéries pour assurer leur croissance.

Les faibles concentrations en N-NH3 dans c1 peuvent contribuer à limiter l'excrétion d'azote urinaire chez les dromadaires. L'absorption importante de N-NH3, liée au faible pouvoir tampon en milieu basique des digesta de c1, associée à une faible filtration rénale d'urée, rend les camélidés particulièrement sensibles aux intoxications par l'urée.

II.3.4.4. La pression osmotique

La pression osmotique du contenu digestif dans les pré- estomacs de lamas est supérieure par rapport à celle dans le rumen du mouton (LEMOSQUET et al ., 1996[(39)]).

Ce résultat traduit un apport plus important de minéraux et d'ions bicarbonatés et phosphates par la salive et la muqueuse de c1 (sacs glandulaires).

II. 3.4.5. Concentration totale et répartition des acides gras volatils (AGV)

La répartition molaire des AGV mesurées après les repas varie selon l'animal étudié. Cependant, DULPHY et al. 1997[(12)] trouvent qu'il n'y a pas de différence significative entre lamas et moutons pour les acides acétique et propionique. En revanche, la proportion en butyrate est plus faible chez les lamas.

II.4.Digestion et métabolisme comparés chez les camélidés et les ruminants.

II.4.1. Digestion de la matière organique et des parois cellulosiques

La digestibilité de la matière organique (MO) est plus élevée chez les dromadaires que chez les moutons. Cet écart devient beaucoup plus important lorsque l'on compare les digestibilités des parois cellulosiques. Ces résultats montrent clairement l'efficacité des camélidés par rapport aux ruminants dans l'utilisation des glucides pariétaux (cellulose, hémicelluloses) et même lignine (BACHA et CHERTOUH, 1995[2] ; CHEHMA et al, 2004 [7]; LONGO- HAMMOUDA et al, 2007) [40]. Les résultats s'accordent pour indiquer une grande activité hydrolytique de la population microbienne des camélidés par rapport à celle

des ruminants (JOUANY, 2000) [30]. Il n'y a pas de différence entre animaux sur la fraction considérée comme rapidement dégradable. La combinaison d'une plus grande activité cellulolytique microbienne dans les *digesta* de camélidés et d'un temps de séjour plus long des particules alimentaires dans leurs pré-estomacs, explique la capacité digestive exceptionnelle de ces animaux surtout pour les régimes particulièrement riches en composés pariétaux.

II.4.2. La digestion de l'amidon

La digestion de l'amidon est totale dans l'ensemble du tube digestif aussi bien chez les camélidés que chez les ruminants (JOUANY ,2000) [30].

II.4.3. La digestion et le métabolisme de l'azote

Les différences de digestibilité de l'azote entre camélidés et ruminants sont négligeables (MALOIY, 1972 [39] ; FARID et al. 1985[20]; GIHAD et al, 1989[22]; CORDESSE et al, 1992[9]; KAYOULI et al, 1993[34]; DULPHY et al, 1997[12]. LEMOSQUET et al, (1996) [39] ; CHEHMA et LONGO, 2004[8] ont observé une réduction particulièrement importante de l'excrétion urinaire et une augmentation très forte de la rétention azotée chez les lamas. Ceci s'explique à la fois par une plus faible capacité filtrante par la glomérule rénale et une aptitude supérieure des camélidés à recycler l'azote via la salive et la paroi des pré estomacs : jusqu'à 90% de l'azote uréique sanguin peut être recyclé dans les pré estomacs des camélidés, alors que cette valeur n'est que de 10 à 30% chez les ruminants. Les camélidés sont particulièrement bien adaptés à valoriser les régimes pauvres en azote en limitant les pertes d'azote sous forme urinaire.

II. 5. La digestion intestinale

TOOFANIAN et ALIKBARI (1977) [52] indiquent qu'il existe une activité substantielle de lactase dans l'intestin grêle et une faible activité en maltase, alors que l'activité du sucrase est très faible. Signalons, par ailleurs, que très peu d'informations concernant les secrétions digestives de l'intestin existent.

II. 6. La digestion cæcale

LECHNER-DOLL et al, (1989) [(36)] BICABA et al, (1992) [(03)] signalent une importante digestion cæcale et une rétention plus importante des particules solides dans ce compartiment. Une absorption des liquides se fait à ce niveau et les fécès sont plus secs.

CONCLUSION GENERALE

Le tractus digestif des camélidés est, anatomiquement et histologiquement, différent de celui des ruminants. Par conséquence, la transformation des aliments notamment lignocellulosiques se fait différemment (JARRIGE, 1988) [29.] Les camélidés sont plus efficaces dans l'utilisation digestive et métabolique des rations par rapport aux ruminants classiques, particulièrement l'azote et les composés pariétaux, à cause probablement de la microflore spécifique que renferme les -pré estomacs des Camélidés (KAYOULI et al, 1995[34] ; JOUANY, 2000[30] ; LONGO-HAMMOUDA et al ,2007) [40].

Ils sont particulièrement bien adaptés pour mieux utiliser à la fois l'énergie et l'azote des fourrages pauvres issus de leur environnement naturel.

Cependant, tous les phénomènes digestifs ne sont pas complètement élucidés. Il est nécessaire, par conséquent, de réaliser des études spécifiques, notamment sur la deuxième partie du tube digestif des camélidés, afin de déterminer leurs besoins nutritionnels.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abdouli H. Kraiem K, 1990 - Intake, digestion and feeding behaviour of the one humped Camel stall fed straw base diets. Livestock research for rural development – VOL 2 N° 2.;12p

2. Bacha. S., Chertouh. T. 1995. Etude comparée de l'utilisation des composes pariétaux chez trois espèces d'herbivores ruminants (mouton, bouc et dromadaire). a Thèse ingéniorat - INA EL HARRACH – ALGER, 72 p.

3. Bicaba Z.M., Arista. P.E., Faurie F., Masson C., Tisserand J.L., 1992. Etude comparée par la méthode des sachets en nylon de la dégradation de la paille de blé dans le rumen et le cæcum des ovins et des caprins. Ann. Zoot 41 (1) 1992. pp 71-72.

4. Boas J.E.V, 1890. Zur morphology des mageus der cameliden und der traguliden und uber die systematische scellung letzterer abteilung.J.MORPHOL. JAHRBUCH 16, pp :434-525.

5. Bohatier. J. 1991. The rumen protozoa: taxonomy, cytology and feeding behaviour in rumen microbial metabolism and ruminant digestion - INRA. J. P. JOUANY. Ed. PARIS 1991, pp: 27-38.

6. Brandt J.F., 1841. Beitrage zur henntnis der banges der inneren Weichteile des Lamas. Mémoire Académie Sciences – St Petersbourg – pp :1-78.7

7. Chehma A; Gaouar A ; Semadi A et Faye B ; 2004. Productivité fourragère des parcours camelins en Algérie : Cas des pâturages à base de « Drinn » Aristida stipagrostis. Revue Sciences et Technologie c 2004 c(21) :45-52

8. Chehma A.; Longo-Hammouda F.H., 2004. Bilan azoté et gain de poids chez le dromadaire et le mouton, alimentés à base de sous produits du palmier dattier, de paille d'orge et de Drinn (Stipagrostis pungens). Cah.Agric 2004 ; 13 :221-226

9. Cordesse R., Inseta M., Gaubert J.L., 1992. Intake and digestibility of four forage by Lamas and Sheep. Ann. Zoot. 41 (2) 1992 PP. 91.92

10. Cordier J.A. 1894. Recherches sur l'anatomie comparée de l'estomac des ruminants. Ann. Sciences Naturelles – Paris 16 – pp :1-28.

11. Cuvier G. 1805. Leçons d'anatomie comparée – Tome 3 – Paris Ed. – 591 p

12. DEMEYER D.I. 1991 – Quantitative aspects of microbial metabolism in the rumen and hindguts in rumen microbial metabolism and ruminant digestion. INRA - J.P. JOUANY Ed. PARIS 1991 – pp: 217-237.

13. Djegham. M., Matouss A., Souilem O., 1993 – Particularités anatomo physiologiques du tractus digestif du dromadaire (Camelus dromedarius). Magh.vet – VOL 71 N° 28 – juin - juillet 1993 – pp : 21-28.

14. Dulphy J.P., Dardillat C, Jailler M., Ballet J.M. 1997. Comparative Study of fore stomach digestion in Lamas and Sheep. – Rep. nutr. Develop. 37 – pp 709-735.

15. Engelhardt W.V., Abbas A.M., Moussa H.M., Lechner-Doll, 1992- Comparative digestive physiology of the fore stomachs in camelids. Pro. ist inter Camel, conf. pp: 263-270.

16. Engelhardt W.V., Ali K.E., Wipper E. 1979. Absorption and secretion in the tubiform fore stomach (compartment 3) of the Lama – Journal of comparative physiology 132, pp: 337-341.

17. Engelhardt W.V., Rubsamen K. 1980. Digestive physiology of camelids in w.r. cockerel . Ed, the camelid. An all purpose animal. Proceedings of the Kartoum workshop on Camels, vol. 1, pp: 307-319.

18. Fahmy A.S. 1999. Physiology of digestion in the dromedary Camel. The Camel applied research and development network. CARDN/ACSAD/CAMEL P 56/1999 – 85 p.

19. Farid M.F.A., Shawket S.M., Abdel Rahman M.H.A. 1984. The nutrition of camels and sheep under stress in W.R. Cockerel Ed. , The Camelid an all purpose

animal. Proceedings of the Khartoum workshop on Camel, vol. 1, pp: 293-322

20. Farid M.F.A., Sooud A.O., Hassan N.I. 1985. Effects of the type diet and level of protein intake on feed utilization in camels and sheep. Proceedings of the 3rd A.A.A.P. Animal sciences congress, vol 2, pp: 781-783.

21. Fonty G. 1991 – The rumen anaerobic fungi – J.P. JOUANY Ed. in: rumen metabolism and ruminant digestion INRA – Paris 1991, pp: 53-70.

22. Gihad E.A., El Gallad T.T., Sooud A.E., Abdou E.I., Nasr H.M., Farid M.F.A. 1989. Feed and water intake digestibility and nitrogen utilization by Camels compared to Sheep and Goats fed low protein desert by products. Options Méditerranéennes, Série A. Séminaires 2 : pp :75-81.

23. Hegazi A. E.I.H. 1950. The stomach of the camel . BR. Vet. J. 106, 209-213.

24. Heller R., Lechner-Doll M., Weyreter H., Engelhardt W.V. 1986.
Fore stomach fluid volume and retention of fluid and particles in the gastro intestinal tract of (Camelus dromedarius) J. Vet Med. A. 33, pp: 396-399.

25. Holler H, Breves G. Lechner Doll M. 1989. Mineral profiles and mineral turnover in the fore stomachs of camels in Kenya grazing under various seasonal conditions. Revue elev. med. vet. pays tropicaux - 1989, 42 (1) 81-87.

26. Hifny A., **Ahmed A.K**., **Ibrahim I.A. 1985**. Topography and morphology of the stomach of Camel Assiut. J. 15, pp: 45-49

27. Hoppe, **Kay R.N.B**., **Maloiy G.M.O**. **1976.** The rumen as a reservoir during dehydratation and rehydration in Camel. J. physiol. 254, pp: 76-77.

28. Jarrab, **BM**, **Taib N.B. 1989**. Histochemical Characterization and distribution of micro substances and enzyme activity in the lingual salivary glands of one lumped camel. Revue Elev. Med. Vet. Pays Tropicaux – 42 (1) 1989, pp : 63-71

29. Jarrige, **R. 1988**. Alimentation des bovins, ovins et caprins - Ed. JARRIGE 1988 – INRA – Paris 476 p.

30. Jouany. J P. 2000. La digestion chez les camélidés. Comparaison avec les ruminants. 2000, INRA production animale – 13, pp : 165-176

31. Jouany. J.P. Dardillat C., Kayouli C. 1995. Microbial cell wall digestion in Camelids – Elevage et Alimentation du Dromadaire. Ed. J.L. TISSERAND IAMZ – CIHEAM – Options Méditerranéennes Série B N° 13, 1995, pp : 33-42.

32. Jouany J.L., Kayouli C., 1989. La digestion microbienne chez les Camélidés Options Méditerranéennes. Série A2 – 1989, pp: 89-96.

33.Kay R.N.B., Maloiy G.M.O., 1989. Digestive secretions in camels Options Méditerranéennes – Série Séminaires N° 2. 1989, pp : 83-87.

34. Kayouli C., Dardillat C., Jouany J.L. 1995. Particularités physiologiques du dromadaire: conséquences sur son alimentation - Options Méditerranéennes – série B. Etudes et recherches, 13, pp : 143-155.

35. Kayouli C., **Jouany J.P**., **Ben Amor J. 1991.** Comparison of microbial activity in the fore stomachs of the dromedary and the sheep measured *in vitro* and *in Saco* on Mediterranean roughages.
Anim. feed. Sciences and technology, 33.pp 237-245.

36. Kayouli C. Jouany J.P., **Demeyer D.I., Ali Taoueb**, **Dardillat C. 1993**. Comparative studies on the degradation and mean retention tissue of solid and liquid phases in the fore stomachs of dromedaries and sheep fed on low quality roughages from Tunisia. Animal feed. Sciences and Technology. 40 pp. : 343-355.

37. Lechner-Doll. **M., Engelhardt W.V., Abbas A.M., Moussa H.M., Luciano**, **Reale E, 1995**. Particularities in fore stomach anatomy, physiology and biochemistry of Camelids compared to ruminants – Options Med. – SERIE B – Etudes et recherches n° 13. pp: 19-32.

38. Lechner-Doll M., Kaske M., Engelhart, 1991. Factors affecting the mean retention time of particles in the fore stomach of ruminants and camelids in T. Tsuda, Y. Sasaki, R. Kawashina, Ed. Physiological Aspects of digestion and metabolism in ruminants. 455- 482. Academic press – San Diego, California.

39. Lemosquet. S, Dardillat C., Jailler M., Dulphy J.P., 1996.
Voluntary intake and gastric digestion of two hays by lamas and sheep influence of concentrate supplementation. J.Agri.Sci. (CAMB) 127, pp. : 539-548.

40. Longo-Hammouda H. ; Siboukeur O. ; Chehma A. 2007. Aspects nutritionnels des pâturages les plus appréciés par *Camelus dromedarius* en Algérie. Cah. Agric., vol 16,no6 nov-dec. 2007;477-483

41. Luciano L., Voss Wermbter G, Behnke M., Engelhardt W.V. Reale E. 1979 . Die Struktur der Magenschleimhaut Bein Lama (Lama guanacoe ;Lama glama) i. wurmigen Gegenbaurs, morph. jahr b. 125 pp :519-549.

42. Maloiy G.M.O, 1972. Comparative studies on digestion and fermentation rate in the fore stomach of the one humped camel and the zebu steer. Res. Vet. Sci. 13. pp: 467-481.

43. Morvan B., Bonnemoy F., Fonty G., Gouet P. 1996. Quantitative determination of h2 utilizing acetogenic and sulphate – reducing bacteria and methanogenic, Achaea from digestive tract of different Curr. J ..microbio. 32. pp: 129-133.

44. Prins R.A. (1991). The Rumen ciliates and their functions. J.P. JOUANY Ed. ruminant microbial metabolism and ruminant digestion INA – Paris 1991. pp : 39-52.

45. Prud'hom M., Cordesse R., De Rouvilles, Thimonier J. 1993. Les camélidés sud américains. Le point des connaissances - INRA production animale 1993. g.1. pp: 5-15

46. Rouissi H. 1994. Etude comparative de l'activité microbienne dans le rumen des dromadaires, des ovins et des caprins. Thèse université de gent, Belgique,120 p.

47. Ruckebush, Y Bueno L., Fioramont J. 1981 - La mécanique digestive chez les mammifères. Ed. INRA et Masson - Paris 1981 - 131 p.

48. Schmidt-Nielsen K. 1964. Desert animals – clarendon press oxford. 287 p.

49. Shahrasbi H., Radmehr B. 1975. Recherches anatomiques et histologiques sur le troisième réservoir gastrique chez le chameau dromadaire des races de l'Iran – Cah. Med. Vet. 44. pp.106-109.

50. Stewart C.S. 1991. The rumen bacteria J.P. JOUANY ed. in rumen metabolism and ruminant digestion INRA – Paris 1991. pp 15-26.

51. **Susmel P., Stefanon B. 1993.** Aspect of lignin degradation by rumen microorganisms Journal of biotechnology 30 - 1993.pp: 141-148.

52. Toofanian F., Ali Akbari S 1977.– Studies on the digestion of carbohydrates in the camel (*Camelus dromedarius*) tropical animal health and production 9. Pp: 233-237.

53. Vallenas A., Cummings J.F., Munnell J.F. 1971. A gross study of compartmentalized stomach of two new world Camelids the Lama and Guanaco. J. Morph 134 - pp : 399-424.

54. Yagil R. 1985. The desert camel – comparative physiological adaptation - Revues Yagil – Basel – New York Karger 1985. 157 p.

Annexe

TABLEAU 1 :
Populations de protozoaires dans le principal compartiment
des pré-estomacs de camélidés et de ruminants
(JOUANY, 2000) .

Proportions de protozoaires (en %)		
Entodium m	77,8 +13,6 a	87,2 + 6,0 b
Epidinium c	14,6 + 7,4 a	0 b
Endiplodinium	6,1 + 4,5 a	0 b
Isotrichas s	0 a	8,4 + 3,0 b
Polyplastron	0 a	1,3 + 0,9 b
Ophryoscolex	0 a	3,0 + 2,1 b

a,b: les différences entre dromadaires et moutons sont significativement différentes au seuil $p<0,05$.
c : les ciliés utilisent efficacement la cellulose et les hémicelluloses.
s : ce genre utilise les substrats solubles
m : ce genre a une activité cellulolytique et se développe en présence d'amidon et d'oligo saccharides.

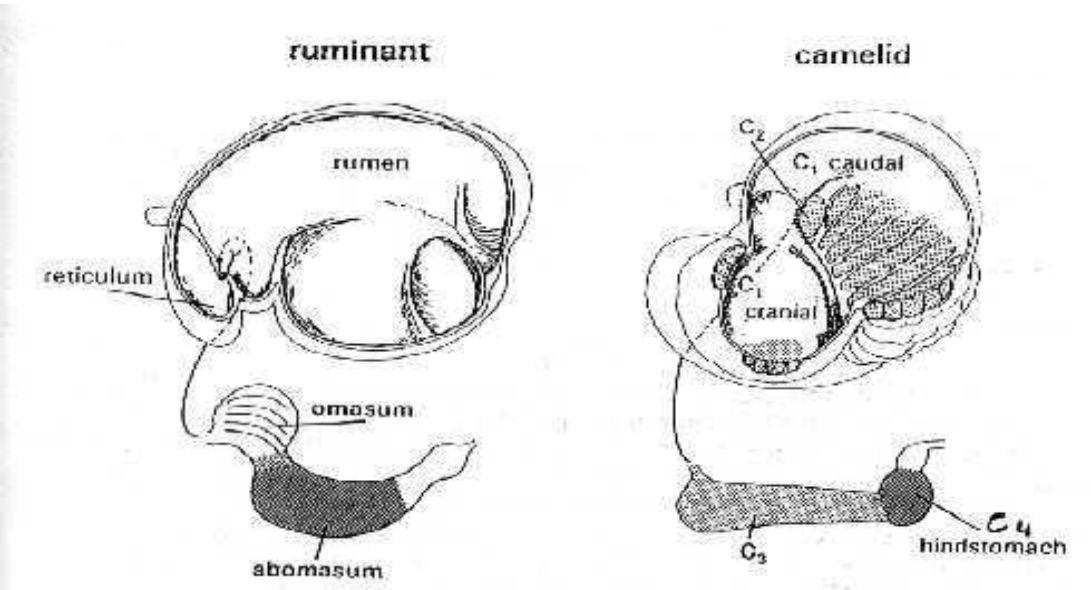

Figure 1 :Comparaison des compartiments des préestomacs des ruminants et des camélidés. LECHNER-DOLL et al.,1995

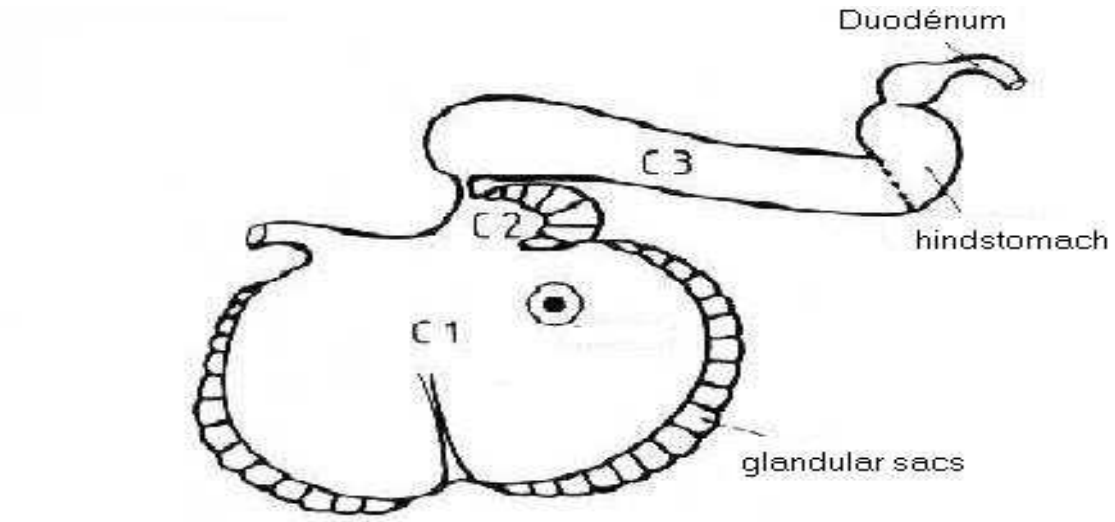

Figure 2 :Les sacs glandulaires sur les parties ventrales de C1 et C2. HÔLLER et al., 1989.

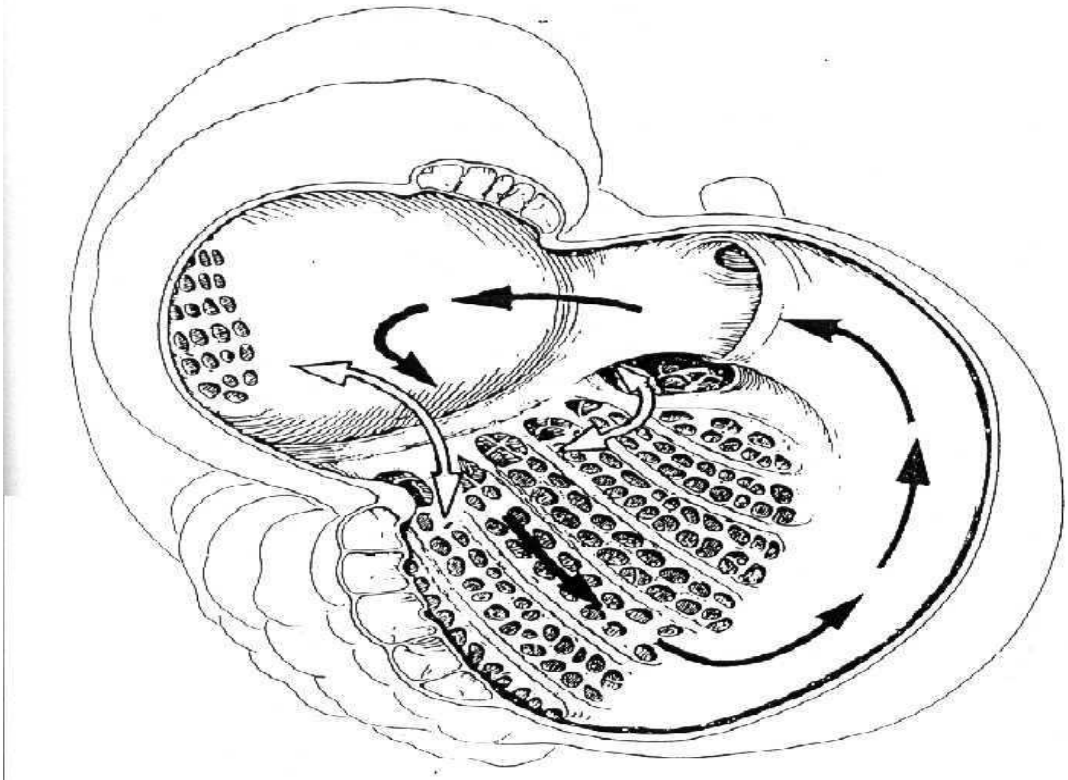

Figure 3 : Les mouvements du digesta dans les préestomacs des camélidés.
LECHNER-DOLL et al. 1995