



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : [http://oatao.univ-toulouse.fr/Eprints ID : 4093](http://oatao.univ-toulouse.fr/Eprints/4093)

To cite this version :

BENDAILH, Fabien. *Dégradabilité de l'azote de tourteaux gras de colza obtenus par pressage à chaud ou à froid : études in sacco et in vitro*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Toulouse 3, 2010, 72 p.

Any correspondance concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@inp-toulouse.fr.

DEGRADABILITE DE L'AZOTE DE TOURTEAUX GRAS DE COLZA OBTENUS PAR PRESSAGE A CHAUD OU A FROID. ETUDES IN SACCO ET IN VITRO.

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT
*présentée et soutenue publiquement en 2010
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

Fabien BENDAILH

Né le 18 décembre 1984, à PAU

Directeur de thèse : M. le Professeur Francis ENJALBERT

JURY

PRESIDENT :

M. Robert SALVAYRE

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSEESSEUR :

M. Francis ENJALBERT

M. Guy-Pierre MARTINEAU

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE(S) INVITES(S) :

Mme. Corinne Peyronnet

ONIDOL

A notre Président de thèse,

Monsieur le Professeur Robert SALVAYRE

Professeur des Universités
Chef de service de laboratoire de Biochimie

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de jury de thèse,
Hommage respectueux.

A notre jury de thèse,

Monsieur le Professeur Francis ENJALBERT

Professeur à l'école vétérinaire de Toulouse
Alimentation

Qui nous a confié ce travail et nous a guidé dans son élaboration
Pour son aide et sa disponibilité
Qu'il trouve ici le témoignage de notre reconnaissance et de notre profond respect.

Monsieur le Professeur Guy-Pierre MARTINEAU

Professeur à l'école nationale vétérinaire de Toulouse
Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour

Qui nous a fait l'honneur de participer à notre jury de thèse
Qu'il trouve ici l'expression de nos sincères remerciements.

Madame Corinne PEYRONNET

ONIDOL

Qui nous a fait l'honneur de participer à l'élaboration du projet
Qu'elle trouve ici l'expression de nos sincères remerciements.

A Katell CREPON (ONIDOL), Alain QUINSAC (CETIOM), pour leur collaboration déterminante dans la réussite de ce travail.

A Marie-Claude NICOT, Marie-Luce CHEMIT, Jean-Philippe VERGNES, pour leur aide précieuse et leur disponibilité dans la réalisation et l'aboutissement de ce travail.

A Jantot,
pour sa leçon de vie quotidienne et son courage.

A mes parents,
pour leurs sacrifices, leur dévouement et leur soutien, pour m'avoir fait confiance.

A Mamicon, Mougeot et Nugne,
Pour supporter mes petites moqueries, *entà lou me finet*.

A Francis et Jo,
Pour leur disponibilités et leurs oreilles attentives, pour leur présence de tous les instants.

A Caro, Nanou et Marie-Agnès,
Les amies des premiers instants,

A Sum et Canarete,
Sans qui je ne chanterais pas aussi mal maintenant

A Rimbo et sa panse, **Marcho** et son trou de la sécu,

A toute la bande de c....., Alliiian, Chloé, Claireeeeeeeeeee, **Clémence, Crédit Patate, Flunchynette, Guigui, Mélo, Miloute, Muss, Rominou** et ses portées de boom, **Soph** et tous les autres

A tous celles et ceux des morues et du VRC : Alice, Manu, Crado, JM, Babar, Psy, Jon, Iban et toutes et tous les autres

A mes docteurs, Doudou et son ricou, **Dumé** , ah c'est fumièrre je crois, **Nournours, Juliette, Noémie**...

A mes petits poulots,
Greg, Bala, Françou, Nico, Guinette, Cyril, Ximun....

A Marion,
Ma raison de vivre, mon empêcheuse de tourner en rond,
Que notre petit nuage puisse encore rester longtemps dans notre ciel bleu.

Table des matières.

Table des illustrations.....	9
Introduction.....	11
Partie 1 : étude bibliographique.....	12
1. Les protéines dans l'alimentation des ruminants.....	12
1.1. Particularités digestives des ruminants (Vérité et al., 1987).....	12
1.2. Valeurs protéiques des aliments pour les ruminants : le système PDI.....	13
1.3. Détermination des valeurs PDI.....	14
1.4. Détermination de la DT des aliments.....	14
1.4.1. <i>Méthode in sacco ou méthode des sachets Nylon (Michalet Doreau et al., 1987).</i>	14
1.4.2. <i>Méthode enzymatique.....</i>	16
2. Définition et valeurs alimentaires des tourteaux gras de colza.....	17
2.1. Définitions.....	17
2.2. Principe de fabrication d'un tourteau industriel déshuilé (Carre, 2006).....	17
2.3. Obtention des tourteaux industriels expellers (Quinsac, 2005).....	19
2.3.1. Procédé PEP (pression - extrusion - pression).....	19
2.3.2. Procédé ACP (<i>aplatissage - cuisson - pression</i>).....	20
2.4. Obtention des tourteaux gras fermiers.....	21
2.4.1. <i>Stockage et nettoyage des graines.....</i>	21
2.4.2. <i>Trituration des tourteaux gras fermiers.....</i>	22
2.4.2.1. <i>Les presses « à fourreau perforé » ou presses à vis.....</i>	22
2.4.2.2. <i>Les presses à barreaux.....</i>	23
2.4.3. <i>Stockage du tourteau gras fermier.....</i>	24
2.4.4. <i>Rendement de pressage.....</i>	25
2.4.5. <i>Durée des chantiers de pressage.....</i>	26
2.5. Motivations des éleveurs.....	26
2.6. Composition chimique des tourteaux gras.....	27
2.6.1. <i>Teneur en matière sèche.....</i>	27
2.6.2. <i>Teneur en matières grasses.....</i>	27
2.6.3. <i>Teneur en MAT.....</i>	28
2.6.4. <i>Teneur en cellulose brute.....</i>	28
2.6.5. <i>Teneur en minéraux.....</i>	28
2.6.6. <i>Teneur en facteurs antinutritionnels.....</i>	29
2.6.6.1. <i>L'acide érucique (C22 :1).....</i>	29
2.6.6.2. <i>Les glucosinolates.....</i>	29

2.7. Valeurs alimentaires.....	30
2.7.1. Valeurs énergétiques.....	30
2.7.1.1. Prévion de la valeur énergétique à partir de la matière grasse (Doreau et al., 2006).....	30
2.7.1.2. Valeurs calculées à partir de la composition chimique des tourteaux gras. (Veau et al., 2006).	32
2.7.2. Valeurs protéiques.....	33
2.7.2.1. Prévion de la valeur protéique à partir de la matière grasse (Doreau et al., 3R 2006).	33
2.7.2.2. Premières valeurs connues (INZO, 2007).	34
2.7.2.3. Valeurs protéiques calculées à partir de la composition chimique (Veau et al., 2006).....	35
3. Essais réalisés avec l'incorporation du tourteau de colza dans l'alimentation des ruminants.	37
3.1. Essais sur bovins.	37
3.1.1. Essais sur vaches laitières.....	37
3.1.1.1. Essais à la station des Trinottières.....	37
3.1.1.1.1. Essais avec des tourteaux gras fermiers (Brunschwig et Lamy et al., 2006). 37	
3.1.1.1.2. Essais de tourteaux industriels expellers (Brunschwig et al., 2005). 39	
3.1.1.2. Essais sur des rations à base de foin ventilé (Houssin et al., 2006).....	40
3.1.1.3. Essais sur des rations à base d'ensilage d'herbe (Chapuis et al., 2006). 41	
3.1.1.4. Incorporation de tourteau de colza obtenu par pression à froid dans une ration d'engraissement chez les taurillons, faculté de médecine vétérinaire de Liège (Mayombo et al., 1997).	43
3.1.1.5. Valorisation des tourteaux fermiers de colza en production de viande bovine. Essai sur jeunes bovins charolais (Bertin et al., 2008).	44
3.1.1.6. Valorisation des tourteaux fermiers de colza en production de viande bovine. Essai sur jeunes bovins Blanc Bleu Belge (Novak et Jossart, 2004).	45
3.2. Essais sur les ovins.	45
3.2.1. Essais sur les agneaux en croissance.	45
3.2.2. Essais sur les brebis en gestation-lactation : effets sur les agneaux.....	46
3.3. Essais sur les chèvres laitières (Lefrileux et al., station expérimentale caprine de Pradel, 2008).	47
4. Utilisation des tourteaux de colza en élevage (Veau et al., 2006).	48
4.1. Utilisation en élevage laitier.....	48
4.2. Utilisation en élevage allaitant.....	48
4.2.1. Effets sur les vaches allaitantes.	48
4.2.2. Utilisation en engraissement de taurillons.	49
4.3. Effets sur les performances.	49

Partie 2 : Etude expérimentale.....	49
1. Matériels et méthodes.....	50
1.1. Aliments à tester.....	50
1.2. Etude <i>in sacco</i>	52
1.3. Etude enzymatique.....	53
2. Résultats.....	54
2.1. Teneurs en MAT.....	54
2.2. DTN.....	54
2.3. Détermination de la DE1, calcul de la DTNe (DTNenzymatique) et corrélation avec la DTNs.....	56
2.4. Effet de la conservation en élevage.....	57
2.5. Valeurs PDI.....	57
3.1. Dégradabilité des tourteaux fermiers.....	60
3.2. Dégradabilité des tourteaux expellers.....	60
3.3. Liaison DE1-DTN.....	60
3.4. Valeurs PDI.....	61
3.4.1. Valeurs PDIN.....	61
3.4.2. Valeurs PDIE.....	62
3.5. Effet du mode de conservation sur les valeurs PDI.....	63
3.6. Incorporation des tourteaux gras dans l'alimentation animale.....	63
3.7. Intérêt de la mesure de la dégradabilité enzymatique des tourteaux fermiers pour la détermination de la valeur azotée des tourteaux gras.....	63
Conclusion.....	66
Bibliographie.....	68

Table des illustrations.

Figure 1 : utilisation digestive des matières azotées chez les ruminants (Inra, 2007).....	13
Figure 2 : principe de fabrication des tourteaux industriels déshuilés par extraction à l’hexane (Carre, 2006).	18
Figure 3 : schéma de fabrication des tourteaux industriels déshuilés (Carre, 2006).....	18
Figure 4 : schéma de fabrication du procédé PEP (Carre, 2006).	19
Figure 5 : schéma de fabrication du procédé ACP (Carre, 2006).	20
Figure 6 : presse à vis (Labergère, 2006).	23
Figure 7 : presse à barreaux (Labergère, 2006).....	24
Photo 1 : presse à vis (Alibert et Brunshwig, 2007).....	23
Photo 2 : presse à barreaux (Alibert et Brunshwig, 2007).....	24
Figure 1 : utilisation digestive des matières azotées chez les ruminants (Inra, 2007).....	13
Figure 2 : principe de fabrication des tourteaux industriels déshuilés par extraction à l’hexane (Carre, 2006).	18
Figure 3 : schéma de fabrication des tourteaux industriels déshuilés (Carre, 2006).....	18
Figure 4 : schéma de fabrication du procédé PEP (Carre, 2006).	19
Figure 6 : presse à vis (Labergère, 2006).	23
Figure 7 : presse à barreaux (Labergère, 2006).....	24
Tableau 1: concentration en calcium et phosphore (Institut de l’élevage-Chambre agriculture 49, 2005).....	29
Tableau 2 : valeurs PDI (INZO, 2006)	35
Tableau 3 : composition et valeurs alimentaires des rations des 3 groupes (Brunshwig et al., 2006).....	38
Tableau 4 : performances zootechniques et composition en acides gras du lait (Brunshwig et al., 2006).....	39
Tableau 5 : composition et valeurs alimentaires des rations des 3 groupes (Brunshwig et al., 2005).....	40
Tableau 6 : performances zootechniques et composition en acides gras du lait (Brunshwig et al., 2005).....	40
Tableau 7 : résultats et composition du lait (Housson et al., 2006).....	41

Tableau 8 : performances zootechniques des deux groupes (Chapuis et al., 2006).	42
Tableau 9 : composition nutritionnelle des rations en fonction de la part de tourteau incorporé (Mayombo et al., 1997).	43
Tableau 10 : composition nutritionnelle et valeur alimentaire du tourteau de colza incorporé (Mayombo et al., 1997).	44
Tableau 11 : teneur en glucosinolates et en matière grasse des différents tourteaux (Mandiki et al., 2000).	45
Tableau 12 : taux d'incorporation des tourteaux et performances zootechniques des brebis et des agneaux (Mandiki et al., 2000).	46
Tableau 13 : taux d'incorporation et performances des différents régimes (Lefrileux et al., 2008).	47
Tableau 14 : valeurs de matière grasse , de matières azotées totales, de cellulose brute des différents aliments.	51
Tableau 15 : valeurs a, b, c et DTN des aliments testés.	55
Tableau 16 : valeurs DE1, DTN calculée à partir de la DE1 des différents aliments.	57
Tableau 17 : valeurs PDIA, PDIMN, PDIME des différents aliments.	57
Tableau 18 : valeurs PDIN et PDIE calculée à partir de la dégradabilité théorique et de la dégradabilité enzymatique.	59

Introduction.

Face à la hausse observée en 2005 et 2006 du prix du carburant, certains éleveurs ont cherché des solutions à travers des sources d'énergie alternatives. L'utilisation comme carburant d'huile végétale pure (HVP), produite à partir de graines oléagineuses cultivées par l'agriculteur, est une solution qui présente en outre l'avantage de produire des tourteaux gras, riches en protéines, valorisables par les animaux d'élevage.

Le tourteau de colza est alors une alternative au tourteau de soja qui est la principale source de protéines dans l'alimentation animale. De plus, la majorité du tourteau de soja souffre de son image de produit importé donc coûteux en énergie lors du transport, souvent issu d'organisme génétiquement modifié ou dont le marché ne peut pas toujours certifier l'origine.

Le tourteau de colza répond donc à une attente sociétale, un coproduit d'une énergie renouvelable et un aliment dont on peut certifier l'origine.

L'incorporation de ces tourteaux gras dans l'alimentation animale nécessite de connaître exactement leur valeur alimentaire afin d'établir des rations. Peu d'études sont disponibles aujourd'hui sur la valeur protéique des tourteaux gras de colza et notamment sur la dégradabilité ruminale de leur azote. Les seules informations disponibles sont essentiellement des données issues d'estimations à partir des valeurs connues pour la graine de colza et le tourteau de colza industriel déshuilé.

Le travail qui va suivre se propose de rappeler, dans un premier temps, les bases du calcul des valeurs protéiques des aliments chez les ruminants et les principales techniques d'obtention des tourteaux gras ainsi que leur mode d'utilisation au niveau expérimental et dans les élevages. Dans un second temps, une étude expérimentale visant à déterminer la dégradabilité de l'azote de ces tourteaux par deux méthodes, *in vivo* et *in sacco*, sera présentée. Cette étude a permis d'établir les valeurs protéiques des tourteaux gras de colza pour les ruminants. Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une convention de recherches entre l'UMR 1289 INRA-ENSAT-ENVT « TANDEM » d'une part, et l'ONIDOL (Organisation Nationale Interprofessionnelle Des Oléagineux) et le CETIOM (Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains) d'autre part.

Partie 1 : étude bibliographique.

1. Les protéines dans l'alimentation des ruminants.

1.1. Particularités digestives des ruminants (Vérité et al., 1987).

Lors de leur passage dans le rumen, une part des protéines des aliments est dégradée en NH_3 par l'activité microbienne. La réutilisation de l'ammoniac produit permet la synthèse de protéines par les micro-organismes du rumen, l'énergie nécessaire à cette synthèse est issue de la fermentation des glucides. Les corps microbiens formés sortent alors du rumen et sont digérés dans l'intestin grêle. Les protéines représentent 80% des matières azotées des micro-organismes (PIM = Protéines Intestinales d'origine Microbienne). 80% des PIM sont digérées par les enzymes intestinales, la fraction digérée représentant les PDIM (Protéines Digérées dans l'Intestin d'origine Microbienne).

La part de la matière azotée (MA) des aliments qui est non dégradée dans le rumen forme les PIA (Protéines intestinales d'origine alimentaire). 60 à 85% des PIA sont digérées dans l'intestin et sont appelées PDIA (Protéines Digérées dans l'Intestin d'origine Alimentaire).

Les PDIA et PDIM sont absorbées sous forme d'acides aminés. L'addition des PDIA et PDIM donne les PDI (Protéines Digérées dans l'Intestin).

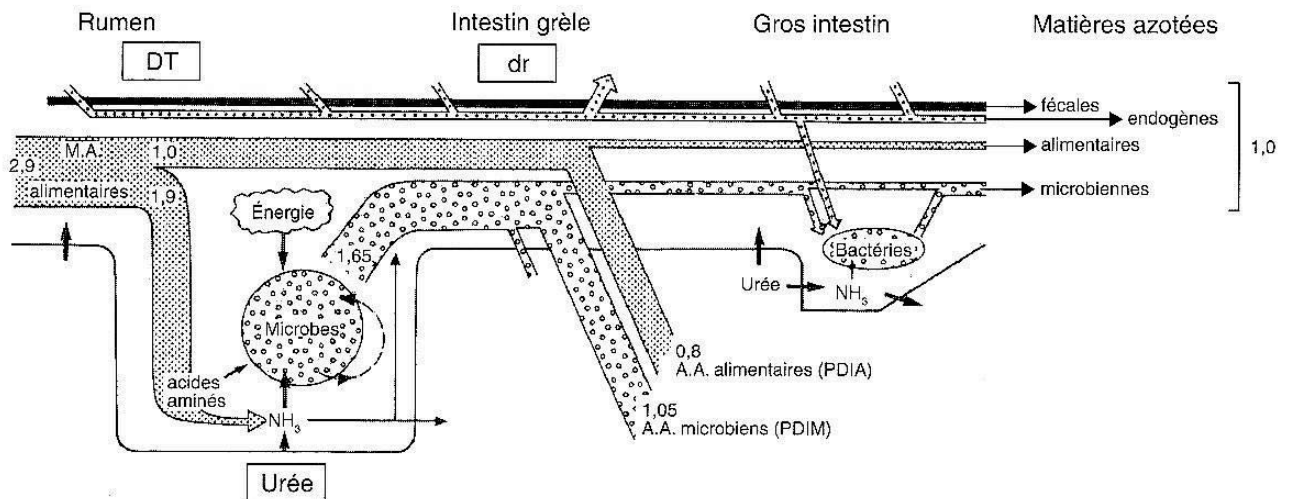


Figure 1 : utilisation digestive des matières azotées chez les ruminants (Inra, 2007)

1.2. Valeurs protéiques des aliments pour les ruminants : le système PDI.

Le système PDI (Vérité et al., 1987) est basé sur la synthèse de protéines microbiennes, qui dépend de l'équilibre entre la MA (Matière Azotée) dégradée et la MOF (Matière Organique Fermentescible). Deux valeurs sont alors définies :

- *PDIMN* : PDIM qui correspondent au potentiel de synthèse de protéines microbiennes à partir de l'azote de l'aliment dégradé dans le rumen. Cette valeur est donc proportionnelle à la MA dégradée.
- *PDIME* : PDIM qui correspondent au potentiel de synthèse de protéines microbiennes à partir de l'énergie de l'aliment fermentescible dans le rumen (INRA, 2007). Cette valeur dépend de la MOF.

Deux valeurs PDI finales sont alors définies :

- PDIN : Protéines Digérées Intestinales permises par l'azote avec :

$$PDIN = PDIMN + PDIA$$

- PDIE : Protéines Digérées Intestinales permises par l'énergie avec :

$$PDIE = PDIME + PDIA$$

1.3. Détermination des valeurs PDI.

La prévision de la valeur PDI des aliments nécessite la prise en compte de 4 paramètres :

- la teneur en matières azotées totales (MAT),
- la dégradabilité théorique des matières azotées (DT), mesurée en sachets Nylon,
- la digestibilité réelle des protéines dans l'intestin grêle (dr). Par exemple, $dr = 0,79$ pour les tourteaux de colza et $dr = 0,80$ pour la graine de colza (Sauvant et al., 2004),
- la teneur en MOF, dépendant de la matière organique digestible (MOD), des teneurs en matières grasses (MG) et en matières azotées non dégradables dans le rumen ($MAT * (DT - 0,1)$).

Les formules de base sont (INRA, 2007) :

- $PDIA = MAT \times 1,11 \times (1 - DT) \times dr$
- $PDIMN = MAT \times [1 - 1,11(1 - DT)] \times 0,9 \times 0,8 \times 0,8$
- $PDIME = 0,8 \times 0,8 \times 0,145 \times [MOD - MG - MAT \times (1 - DT)]$.

1.4. Détermination de la DT des aliments.

1.4.1. *Méthode in sacco ou méthode des sachets Nylon* (Michalet-Doreau et al., 1987).

Succédant à la méthode de mesure de la fermentescibilité après 6 heures dans un milieu tampon proche du jus de rumen (Vérité et Demarquilly, 1978), la méthode *in sacco* a été mise en place par l'INRA dans les années 80.

La méthode consiste à placer des sachets de nylon contenant 3 grammes d'aliments dans des rumens de vaches équipées de canules ruminales, dites fistulées. Ces vaches sont dans le dernier mois de lactation ou tarées, elles reçoivent un régime à base de foin et de concentrés. Afin de limiter la variabilité animale, des mesures sur deux vaches différentes sont nécessaires.

Chaque mesure comprend 6 points de cinétique : 2-4-8-16-24 et 48 h, avec six répétitions pour chaque point de cinétique. Les sachets de nylon sont attachés autour d'un plomb et introduits tous en même temps, avant le repas, de manière à les placer dans des conditions d'incubation identiques. En effet, l'activité microbienne ruminale varie au cours de la journée,

principalement au cours des premières heures qui suivent la distribution des repas. Cependant, afin d'éviter les retraits des sachets durant la nuit (point cinétique 16h), ces sachets sont introduits avant le 2^{ème} repas de la journée, et retirés à 8h le lendemain matin. La mise en place de deux aliments de référence dans chaque série, un tourteau de soja et une luzerne déshydratée, permet de s'assurer de la validité des résultats.

Après leur sortie du rumen, les sachets sont rincés et rapidement placés à -15°C pour arrêter la protéolyse. Le lavage, après décongélation, est réalisé dans une machine à laver (3 cycles de 5 minutes), jusqu'à l'obtention d'une eau de rinçage claire, afin d'éliminer les débris de micro-organismes et une partie des bactéries accrochées aux aliments. Les sachets sont ensuite séchés dans une étuve à 80°C pendant 48h et pesés. Les résidus font l'objet d'un dosage d'azote.

Dans des conditions de transit normal, cette dégradabilité, dite théorique, est fonction :

- du rythme de passage des particules alimentaires hors du rumen, un taux de passage de particules (k_p) constant de 0,06 par heure a été retenu par l'INRA,
- de la vitesse de dégradation microbienne des protéines, déterminée par la cinétique de disparition en sachets.

Le calcul est basé sur un modèle exponentiel (Orskov et Mac Donald, 1979) en prenant pour hypothèse que la vitesse de disparition de protéines (k_d) est constante :

Avec :

- a et b représentant respectivement les fractions immédiatement et progressivement dégradables,
- $c = k_d$, représentant la vitesse de dégradation de la fraction b.

Le calcul des paramètres a, b et c est effectué après transformation logarithmique des données en admettant que la totalité de l'azote potentiellement dégradable (a+b) est disparu après 48h.

Pour chaque répétition de chaque aliment, la droite $\ln(S(t) - S_{48})$ en fonction du temps est tracée avec $S(t)$, la proportion de N restant dans le sachet au temps t. L'équation de la droite permet de calculer :

- b, correspondant à l'exponentielle de l'ordonnée à l'origine de la courbe,
- c, correspondant à la pente de la courbe,
- $a = 1 - S_{48} - b$.

La dégradabilité théorique (DT) est ensuite calculée par :

$$DT = a + b.c/(c+k_p) \text{ avec } k_p=0,06$$

Malgré la standardisation de la méthode, une forte variabilité entre les laboratoires, les animaux et les jours subsiste. Ces fluctuations de DT reflètent des variations d'activité microbienne (fonction du pH ruminal et du volume de liquide ruminal).

1.4.2. Méthode enzymatique.

La méthode *in sacco* reste lourde et coûteuse, aussi une méthode enzymatique plus facile à mettre en œuvre en laboratoire permet d'estimer la dégradabilité théorique et donc la valeur PDI des aliments. La méthode retenue par l'INRA (Aufrère et al., 1989) utilise une préparation enzymatique d'origine bactérienne extraite de *Streptomyces Griseus* (protéase type XIV Sigma) dans un tampon borate-phosphate à pH 8. Les échantillons d'aliment de 0,500 g sont mis à incuber pendant une heure avec la solution contenant les protéases, ainsi que de la tétracycline et de la niacine. Le dosage de l'azote dégradé est effectué sur le surnageant par la méthode de Kjeldhal.

On en déduit la dégradabilité enzymatique après une heure d'incubation :

$$DE1 = \text{quantité d'azote}_{(\text{dégradée } 1h)} / \text{quantité d'azote}_{\text{initiale}}$$

La dégradabilité théorique pour la plupart des matières premières est calculée à l'aide d'une équation commune du type :

$$DT = 0,36 \times DE1 + 0,479 + \Delta$$

Avec Δ variant pour chaque aliment, par exemple 14,5 pour les tourteaux de colza.

Lorsque l'aliment n'est pas référencé dans les tables d'Aufrère et al. (1989), l'équation de prévision est (INRA, 2007) :

$$DT = 1,48 DE1 - 0,76 (DE1)^2 + 0,211$$

2. Définition et valeurs alimentaires des tourteaux gras de colza.

2.1. Définitions.

Les tourteaux sont les résidus solides issus de la pression de graines d'oléagineux. Ce sont des co-produits de la trituration de ces graines.

Il existe différents types de tourteaux de colza commercialisés en France :

- Les tourteaux industriels déshuilés ($2\% < \text{MG} < 5\%$) : obtenus après extraction de l'huile par un solvant,
- les tourteaux industriels expellers ou les tourteaux semi-industriels ($9\% < \text{MG} < 13\%$) : obtenus après pression à chaud,
- les tourteaux fermiers ou artisanaux ($14\% < \text{MG} < 35\%$) : obtenus après pression à froid uniquement.

On regroupe les termes de tourteaux industriels expellers et de tourteaux fermiers sous le terme de tourteau gras. Un tourteau gras est défini par une teneur en matière grasse supérieure à 5%. Certains auteurs assimilent les tourteaux industriels expellers à des tourteaux artisanaux.

2.2. Principe de fabrication d'un tourteau industriel déshuilé (Carre, 2006).

Les graines sont aplaties, préchauffées, puis cuites pour diminuer la teneur en eau, puis pressées de façon continue. Les lipides résiduels (6-10% MG) sont ensuite extraits par lavage du tourteau de première pression à froid par des solvants organiques (comme l'hexane). La dernière étape est une distillation par chauffage (115-120°C) du mélange pour séparer le solvant et l'huile.

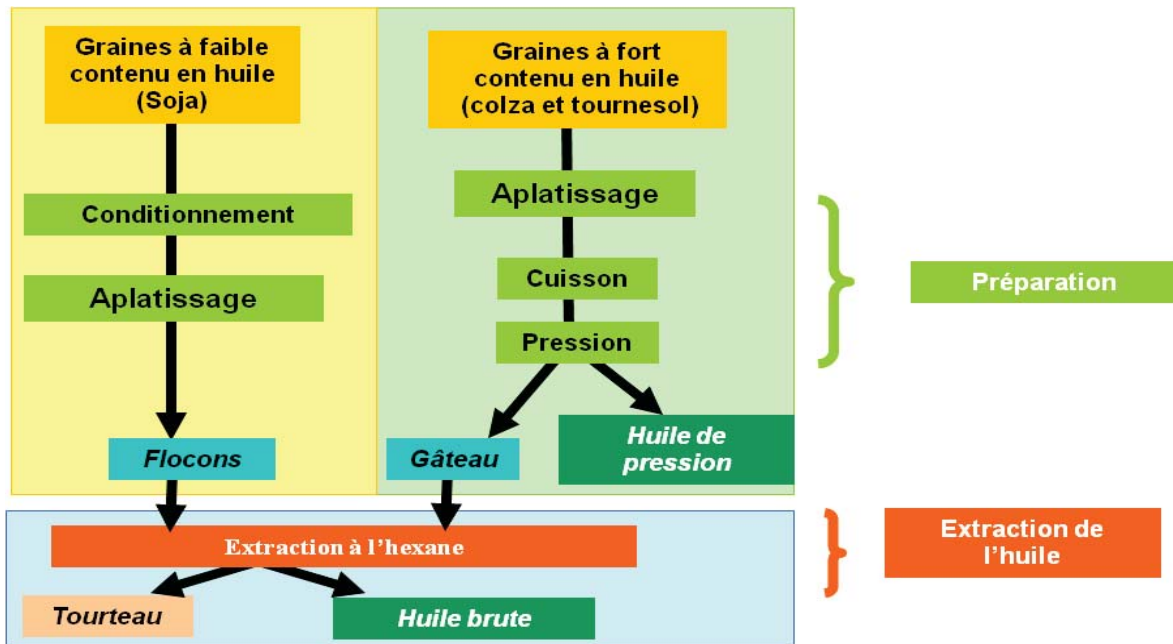


Figure 2 : principe de fabrication des tourteaux industriels déshuilés par extraction à l'hexane (Carre, 2006).

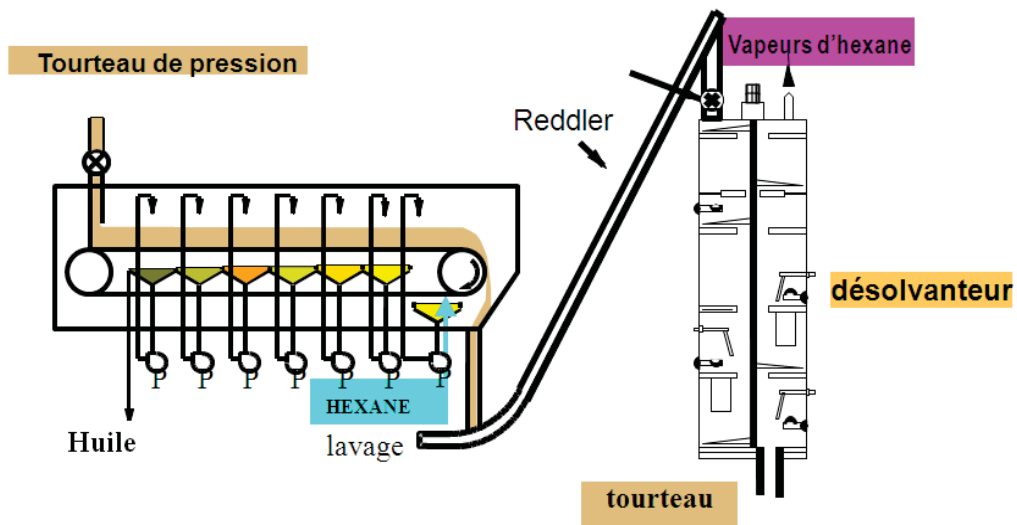


Figure 3 : schéma de fabrication des tourteaux industriels déshuilés (Carre, 2006).

2.3. Obtention des tourteaux industriels expellers (Quinsac, 2005).

Les procédés d'obtention des tourteaux industriels expellers sont dérivés des deux procédés : PEP et ACP.

2.3.1. Procédé PEP (pression - extrusion - pression).

Le procédé PEP nécessite une pré-pression à froid, une extrusion à 175°C suivie d'une pression. L'extrusion est un procédé qui permet d'appliquer à la fois un traitement thermique et un traitement mécanique, par la pression et le cisaillement (Eynard, 2002), et qui a un « effet tannage », c'est-à-dire qu'il entraîne en général une diminution de dégradabilité des protéines voisine de celle obtenue avec un traitement par des tannins. Le débit de chantier est d'environ 200 kg/heure.

Le procédé PEP produit deux qualités d'huile : d'une part, une huile de pression à froid d'excellente qualité, peu altérée (indices d'acide et d'oxydation faibles) et à teneur faible en phospholipides, adaptée à de multiples usages, et d'autre part, une huile de qualité moindre (huile PEP) et beaucoup moins valorisable. Cette dernière, très riche en phospholipides et en composés d'oxydation impossibles à éliminer complètement, ne peut être valorisée actuellement que par combustion.

Certains procédés utilisés dans des usines semi-industrielles remplacent l'extrusion par une cuisson ne permettant pas un effet tannage aussi fort que l'extrusion.

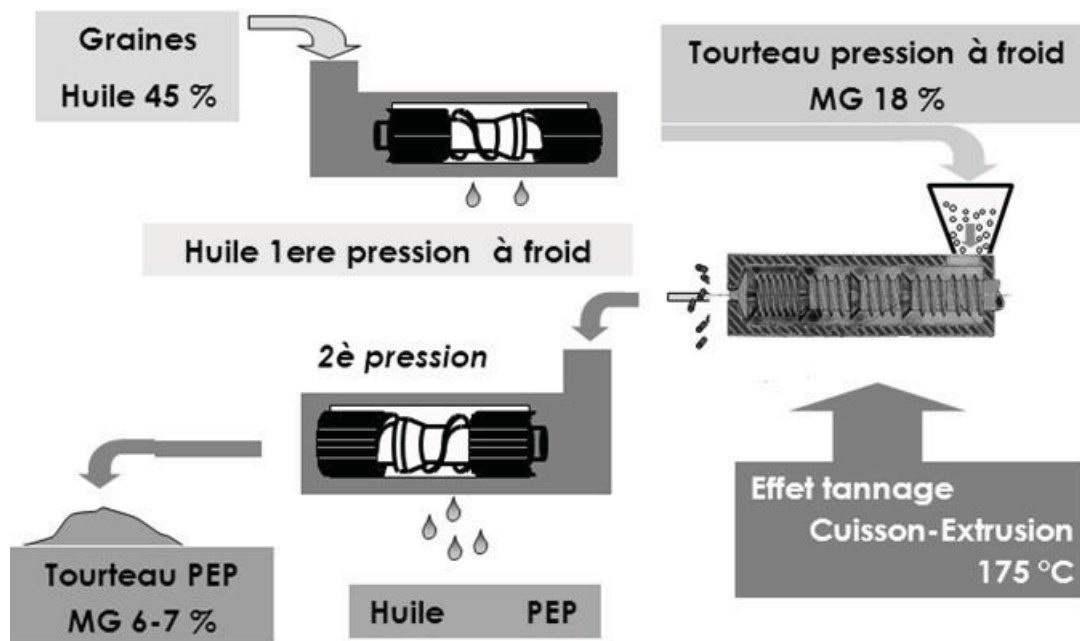


Figure 4 : schéma de fabrication du procédé PEP (Carre, 2006).

2.3.2. Procédé ACP (*aplatissage - cuisson - pression*).

Le procédé ACP permet de traiter 500 kg/h, il nécessite un aplatissage, une cuisson pendant 75 minutes à 125°C, suivie d'une pression. L'huile ACP est de qualité intermédiaire entre les huiles de première pression à froid et l'huile PEP. Elle peut être transformée en biodiesel ou valorisée sur le marché des huiles brutes pour l'alimentation humaine avec un indice d'oxydation inférieur à 10 meq/kg. L'indice d'oxydation est une combinaison de l'indice peroxyde et de l'indice d'anisidine, évaluant l'état d'acidification de la matière grasse.

La teneur en phospholipides de l'huile n'est pas négligeable mais elle peut être fortement réduite par une simple opération de dégomme à l'eau (transformation des phospholipides non hydratés en phospholipides hydratés par l'acide phosphorique puis lavage à l'eau). Ce procédé produit deux types de tourteaux industriels expellers :

- des tourteaux avec réintroduction des gommages, riches en phosphore,
- des tourteaux sans réintroduction des gommages, pauvres en phosphore.

Dans les usines semi-industrielles, la cuisson est généralement moins importante que dans le procédé ACP avec une durée écourtée (30-60 minutes) et une température abaissée (100-110°C).

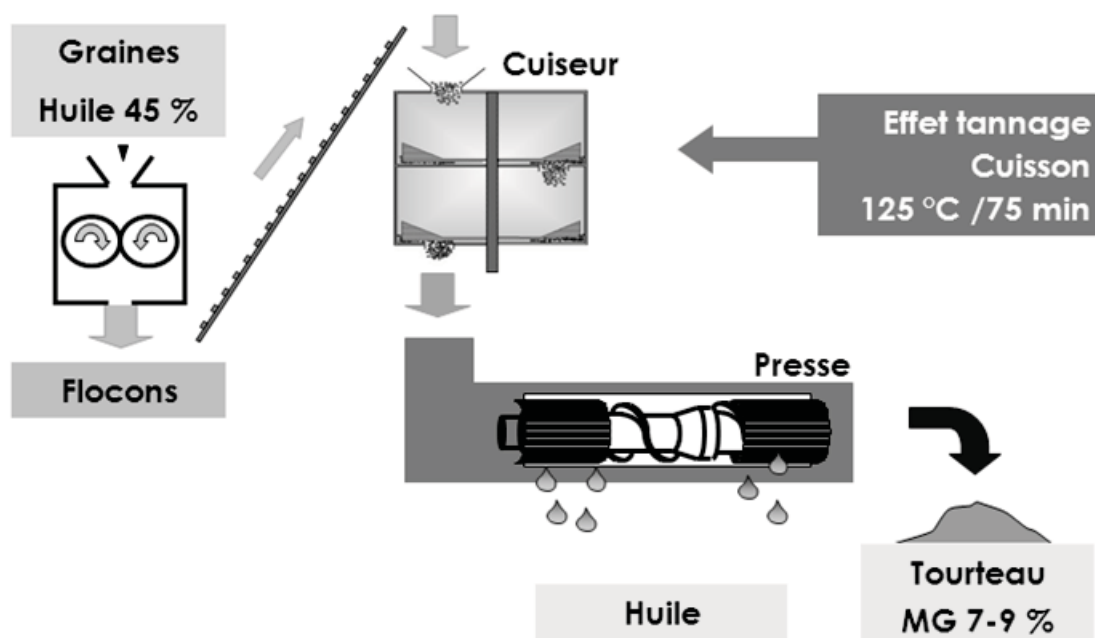


Figure 5 : schéma de fabrication du procédé ACP (Carre, 2006).

2.4. Obtention des tourteaux gras fermiers.

L'obtention se réalise en trois phases avec, pour commencer un entreposage et une trituration des graines et enfin un stockage des coproduits.

2.4.1. *Stockage et nettoyage des graines.*

Le stockage est une étape très importante puisque la trituration se réalise tout au long de l'année, le plus souvent, et donc pour une partie des graines plusieurs mois après la récolte. De mauvaises conditions de stockage des graines de colza favorisent le développement de micro-organismes mais aussi un phénomène spécifique aux oléagineux : l'acidification avec un dégagement de chaleur particulièrement important pour le colza (Labergère, 2006). Les facteurs favorisant l'altération des graines sont l'humidité et la température des lots. Quand les graines de colza sont récoltées à des températures élevées, l'humidité naturelle des graines et des impuretés permet aux micro-organismes de se développer et entraîne rapidement un échauffement de la masse. Les graines s'altèrent. Les graines altérées voient leur acidité (exprimée en % de masse d'équivalent d'acide oléique libre) augmenter.

Des acariens (*Tyrophagus putrescentiae*) peuvent se développer dans des stocks de colza mal conservés. Ils peuvent alors se nourrir des moisissures qui se développent sur les graines. Ces populations d'acariens n'affectent pas la totalité du grain stocké. Ils fuient les points d'échauffement et se concentrent près de la surface. Les dégâts causés par les acariens n'ont pas d'incidence économique grave. Par contre, ils révèlent que le grain n'a pas été conservé dans de bonnes conditions (Novak et Jossart, 2004).

Par contre, conservés dans de bonnes conditions de température (10°C) et d'humidité de l'air (70 %), les oléagineux sont à l'abri des attaques d'insectes (Cetiom, 2008). A la différence des céréales, il n'existe d'ailleurs pas de matière active homologuée pour le traitement insecticide des oléagineux stockés. La plupart des insectes ne survivent pas dans ces graines et disparaissent après quelques temps (Novak et Jossart, 2004).

Le nettoyage permet l'élimination des impuretés (graines d'autres plantes, morceaux de la plante de colza, petites pierres ou objets métalliques). Ce nettoyage commence dès le battage par un bon réglage de la moissonneuse-batteuse. Il se réalise aussi juste avant la pression pour éviter d'endommager la presse. Il permet d'optimiser le rendement d'extraction, les impuretés retenant une part d'huile. Il était effectué par la moitié des éleveurs sur l'année 2005-2006,

mais ce nettoyage pré-pression tend à se généraliser chez les utilisateurs de presse (Labergère, 2006).

2.4.2. *Trituration des tourteaux gras fermiers.*

Le principe général de trituration des graines de colza pour la fabrication de tourteaux gras fermiers est la pression à froid (température < 80°C) avec des presses de faible capacité. Il existe deux types de presses : des presses à vis ou à barreaux. Une grande partie (44%) des presses sont achetées en CUMA (Coopérative d'Utilisation du Matériel Agricole), ce sont des presse mobiles avec des débits de pressage élevés (>25 kg/h). En 2006, 27% des presses n'appartenaient qu'à un seul éleveur, cette proportion a augmenté ces 3 dernières années, de nombreux éleveurs préfèrent posséder leur propre unité de trituration pour obtenir du tourteau plus frais. Les 29% restant sont en location ou copropriété hors CUMA (Veau et al., 2006).

2.4.2.1. *Les presses « à fourreau perforé » ou presses à vis.*

La vis pousse la graine vers une filière située en bout de cage. Sous l'effet de la compression des graines dans la chambre intérieure, l'huile est extraite des graines et sort en remontant par le fourreau perforé. Le tourteau sort sous forme de bouchons en fin de presse.

L'inconvénient de ces presses est que l'évacuation de l'huile n'est pas située dans la zone de plus forte compression, le rendement d'extraction est alors diminué et la teneur en huile du tourteau de colza augmentée. Le débit de pression est fortement commandé par le diamètre de sortie de la filière (8mm le plus souvent), ce débit ne dépasse pas les 50 kg/h de graines pour ce type de presse. Il semblerait que l'huile issue de ce type de presse soit moins riche en cire et phospholipides (appelés gomme), indésirables dans le carburant, que l'huile issue des presses à barreaux (ADEME, 2004). Les marques que l'on retrouve le plus fréquemment en France sont Täby et Kern Kraft.

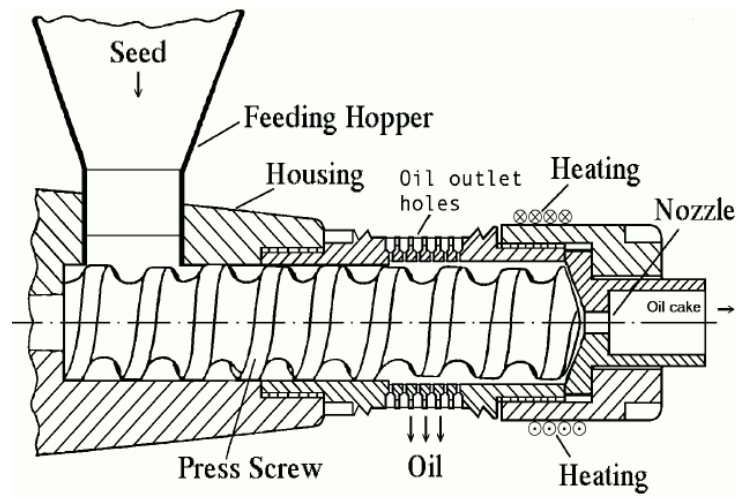


Figure 6 : presse à vis (Labergère, 2006).



Photo 1 : presse à vis (Alibert et Brunshwig, 2007).

2.4.2.2. Les presses à barreaux.

La pression est obtenue par réduction progressive du volume engendrée par la rotation de la vis dans une cage constituée de barreaux espacés. Il existe des cages à barreaux droits comme dans les presses industrielles, et des cages à barreaux circulaires entourant la vis.

L'huile s'écoule entre les barreaux de la cage avec un meilleur rendement que pour les presses à fourreau fermé. Les résidus sont évacués à l'extrémité de la presse, sous forme d'écaillés, via un étranglement entre la vis et la cage extérieure. Le débit est supérieur aux presses à vis, de 25 à 2500 kg/h dans des presses semi-industrielles. Cette huile contient une grande quantité de phospholipides réduisant la qualité pour les moteurs (Labergère, 2006).

Parmi les fournisseurs les plus connues, on citera La Mécanique Moderne, Reinartz, Olier, Euratec et Agri-Biosystem.

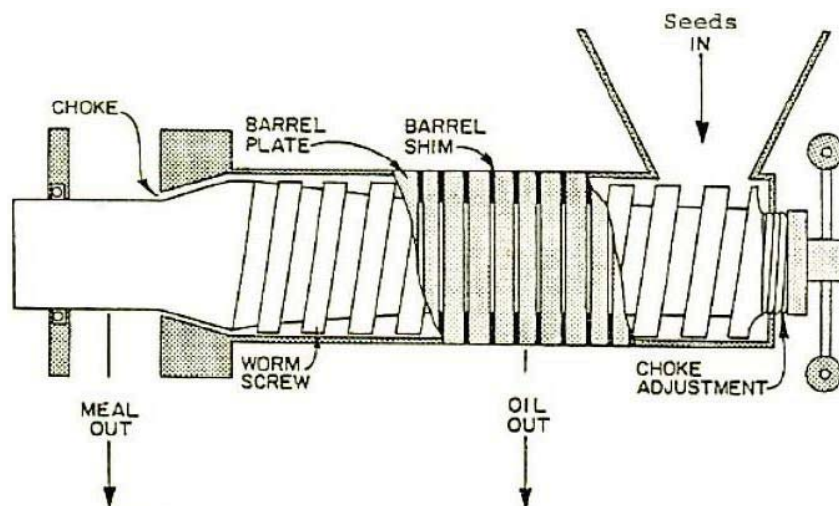


Figure 7 : presse à barreaux (Labergère, 2006).



Photo 2 : presse à barreaux (Alibert et Brunshwig, 2007).

Les tourteaux gras sortis de la presse sont à une température de 60°C, il est donc conseillé de les laisser refroidir avant de les stocker pour éviter le développement de moisissures au cours de la conservation.

2.4.3. *Stockage du tourteau gras fermier.*

Le tourteau doit être entreposé au frais, à l'abri de la lumière et de l'humidité. Ainsi on évitera les problèmes de rancissement occasionnant de l'inappétence. L'humidité favorise le développement de champignons susceptibles de produire des mycotoxines rendant le tourteau

impropre à la consommation, un taux d'humidité inférieur à 10 % garantit un bon stockage (Brunschwig et al., 2008).

Le stockage s'effectue pour l'essentiel en big-bag (conteneur souple en plastique) (43%), en vrac (à plat ou en remorque) (36%) ou en cellule (10%), il n'excède pas 6 mois par crainte d'un rancissement (Veau et al., 2006).

Les principales dégradations rencontrées au cours du temps sont :

- une oxydation à la surface du tas de tourteau gras, les éleveurs mettent à l'écart de la distribution ce tourteau, à l'image des zones moisies de l'ensilage,
- une apparition de moisissures blanches ou bleues, lors de stockage à l'humidité ou lorsque le tourteau est humide après le pressage et qu'il n'est pas suffisamment ventilé lors du stockage (Labergère, 2006).

2.4.4. *Rendement de pressage.*

En moyenne, une tonne de graines de colza produit 300 litres d'huile végétale pure et 650 kilogrammes de tourteaux gras fermiers. Le rendement d'extraction oscille autour de 75 %. Un hectare de colza produit environ 30 quintaux de graines, il est donc possible d'espérer 900 litres d'huile et près de 2 tonnes de tourteaux gras fermiers avec un hectare de colza.

Ce rendement varie fortement selon :

- la qualité de la graine : son taux d'impuretés, son taux de matières grasses, la variété et l'humidité (optimum de 7 %),
- la presse :
 - le modèle, (pour une tonne de graine, la presse à vis (Täby) donne 285 litres d'huile contre 380 litres pour la presse à barreaux (Reinartz) (Labergère, 2006))
 - les diamètres de sortie de la buse pour les presses à vis : plus le diamètre de sortie est faible, plus le rendement d'extraction est élevé (Veau et al 2006),
 - le débit de la presse (dépendant fortement de la buse et de la température de fonctionnement),
- l'environnement lors du pressage : notamment la température extérieure et l'hygrométrie. Tous les fabricants recommandent de presser à température ambiante extérieure ou dans des bâtiments où règne une température d'au moins 15 ou 16°C pour assurer un meilleur débit (Labergère, 2006).

2.4.5. *Durée des chantiers de pressage.*

Elle varie de 1 à 305 jours par an. Les plus longues durées sont retrouvées avec des petites presses, chez des éleveurs qui souhaitent avoir des tourteaux gras fermiers « frais ».

Le pressage s'effectue en continu car le nettoyage de la machine s'avère long et fastidieux mais obligatoire à chaque arrêt. La surveillance et l'entretien des chantiers de pressage ne nécessitent qu'une à deux heures par jour, acceptables comme astreinte d'après les éleveurs. Ce temps de travail correspond à l'alimentation de la presse en graines, le changement des bacs de récupération de l'huile et du tourteau.

2.5. Motivations des éleveurs.

Au cours de la campagne 2005-2006, 192 exploitations Françaises pressaient des graines oléagineuses (colza et tournesol). Les exploitations avaient une forme collective majoritairement de type GAEC ou EARL, les trois quarts possédaient un atelier laitier et un quart un atelier allaitant ou d'engraissement (Veau et al., 2006).

Les principales motivations des exploitations agricoles au développement de la pression à la ferme de tourteau de colza sont (Alibert et al., 2007):

- l'autonomie alimentaire de l'exploitation,
- l'augmentation du prix du carburant.

Des motivations secondaires sont présentes chez certains presseurs (Veau et al., 2006) :

- la valorisation des matières premières,
- la diminution du coût alimentaire,
- les préoccupations environnementales,
- la sécurisation de la qualité des aliments, suite aux nombreuses crises alimentaires (vache folle, poulets à la dioxine, OGM),
- l'autonomie en carburant.

Le prix du carburant est la motivation principale des grandes exploitations (SAU > 160 ha), une certaine surface de culture est nécessaire pour valoriser l'huile dans les carburants. L'huile est pour la plupart des tracteurs incorporée à 30 % dans le carburant. Pour des raisons de garantie des moteurs de la part des constructeurs, les exploitants hésitent à ajouter plus

d'huile dans les carburants, freinant ainsi leur consommation. Les quantités d'huile produites dans les exploitations de faible taille sont supérieures aux besoins, le surplus est commercialisé, utilisé comme combustible dans le chauffage domestique ou pour sécher le foin. Dans certains cas, l'huile ne trouve pas de débouchés, limitant la surface engagée en oléagineux sur ces exploitations.

En moyenne, au cours de l'enquête de Veau et al. (2006), 17 tonnes de graines étaient pressées par exploitation, le volume augmentait avec la taille et le type d'élevage bovin de l'exploitation. La forte teneur en matières grasses des tourteaux gras fermiers obtenus freine les éleveurs laitiers dans leur incorporation dans les rations, la substitution totale des concentrés protéiques par les tourteaux gras fermiers de colza semble difficile dans les élevages laitiers.

2.6. Composition chimique des tourteaux gras.

2.6.1. Teneur en matière sèche.

La teneur en matière sèche des tourteaux fermiers gras et des tourteaux industriels expellers de colza dépend de la teneur en humidité de la graine, et avoisine les 90 %. Elle est proche de celle des tourteaux industriels déshuilés (88,7%, INRA, 2007).

2.6.2. Teneur en matières grasses.

La teneur en huile résiduelle, correspondant ici à la matière grasse du tourteau, est fonction du rendement d'extraction. Les valeurs des tourteaux gras fermiers sont comprises entre 11% et 35% de la matière sèche, elles restent élevées par rapport à un tourteau industriel déshuilé. En moyenne, cette teneur en matière grasse se situe autour de 20% (Institut élevage, 2006). Les tourteaux industriels expellers, ont des teneurs en matière grasse plus faible (7-11%), le préchauffage améliorant le rendement de pressage.

L'huile résiduelle dans le tourteau présente le même profil en acides gras que l'huile extraite ou que les graines. Les tourteaux gras fermiers et industriels expellers sont donc riches en triglycérides possédant des acides gras à doubles liaisons (acides oléique (C18:1), linoléique (C18:2), linoléique (C18:3)). La présence de ce type d'acides gras dans l'alimentation des

animaux entraîne des perturbations de la fermentation ruminale et une réduction de la synthèse des acides gras courts du lait (Institut élevage, 2006).

2.6.3. *Teneur en MAT.*

La quantité d'azote présente dans l'huile extraite est généralement considérée comme négligeable. Il est admis que la totalité des protéines de la graine se retrouve dans le tourteau, donc le profil en acides aminés essentiels est celui des graines. Il est donc possible de calculer la teneur en MAT à partir de la teneur de la graine et du rendement d'extraction.

Les teneurs en MAT sont comprises entre 18% et 35% pour les tourteaux fermiers, avec une moyenne à 29,9% (Institut élevage, 2006). Plus la teneur en matières grasses des tourteaux gras fermiers augmente, plus la teneur en MAT diminue.

La teneur en MAT des tourteaux industriels expellers (34,7% et 35,5%) (Brunschwig et Lamy et al., 2005) est supérieure à celle des tourteaux fermiers, le préchauffage réalisé pour l'obtention de ces tourteaux permettant de diminuer la quantité d'huile résiduelle et donc augmente la teneur en MAT.

2.6.4. *Teneur en cellulose brute.*

D'après les données recueillies par Labergère (2006), la teneur en CB varie entre 8,2 et 18,1%, avec une moyenne à 11,8%.

2.6.5. *Teneur en minéraux.*

Les rares données sur les tourteaux gras fermiers de colza confirment l'intérêt de l'utilisation du tourteau de colza quelle que soit sa teneur en matières grasses. Les apports en calcium et phosphore des tourteaux gras fermiers sont proches de ceux du tourteau industriel déshuilé. Ils permettent de diminuer les quantités de complément minéral à apporter par rapport à un tourteau de soja.

Tableau 1: concentration en calcium et phosphore des tourteaux de colza gras, industriel déshuilé et du tourteau de soja 48 (Labergère, 2006).

Minéraux en g/kg MB	Tourteau de colza gras	Tourteau de colza industriel déshuilé	Tourteau de soja 48
Calcium	6,7	8,3	3,4
Phosphore total	10,9	11,4	6,2
Phosphore absorbé	7,7	8,1	4,4

2.6.6. Teneur en facteurs antinutritionnels.

La graine de colza possède deux facteurs antinutritionnels majeurs : l'acide érucique et les glucosinolates.

2.6.6.1. L'acide érucique (C22 :1).

Il représentait à l'origine la moitié de l'huile extraite des graines de colza. Il a été reconnu dans les années 70 comme facteur favorisant l'apparition de myocardopathies primitives chez les animaux de laboratoire. La mise en place de variétés simple 0 a permis de produire de l'huile de colza pauvre en acide érucique. Il est à noter que l'acide érucique est utilisé comme détergent dans l'industrie, des surfaces de colza sont donc implantées avec des variétés dont les graines sont riches en acide érucique. Les éleveurs, acheteurs de graines pour fabriquer leur tourteau gras fermier, doivent donc rester attentifs à l'origine des graines.

2.6.6.2. Les glucosinolates.

Les glucosinolates sont des composés présents naturellement dans les graines de colza. Leur hydrolyse produit des composés à caractère antinutritionnel, dont notamment des thiocyanates responsables de l'inappétence et la 5-vinyl-1,3-oxazolidine-2-thione responsable de dysfonctionnements thyroïdien, rénal et hépatique (Wathelet et al., 1997). Ils sont responsables d'une diminution de la croissance et des performances des animaux (Mandiki et al., 1999). Cette hydrolyse est réalisée par une enzyme, la myrosinase, activée par la trituration ou produite par le tube digestif.

La mise en culture de variétés à faible teneur en glucosinolates, appelées 00 (double zéro), permet de diminuer la teneur en facteurs antinutritionnels du tourteau de colza (Wathelet et

al., 1997). La limite maximale pour les variétés de type 00 est fixée entre 20 et 35 μmol de glucosinolates /g de MS tandis que dans les variétés de type 0, la teneur est supérieure à 40 $\mu\text{mol/g}$ de MS (Wathelet et al., 1997). Les glucosinolates sont insolubles dans l'huile et non dégradés par pression à froid, si bien que la totalité des glucosinolates se retrouvent donc dans le tourteau. La teneur en glucosinolates des tourteaux gras fermiers est en moyenne de 18,5 $\mu\text{mol/g}$ MS avec des extrêmes entre 5,4 et 37,6 $\mu\text{mol/g}$ MS (Labergère, 2006).

Une étude de Mandiki (1999) a montré qu'une incorporation de tourteau de colza jusqu'à 30% de la ration est possible sans affecter la croissance des animaux. A des proportions élevées, la synthèse d'hormones thyroïdiennes diminue surtout chez les jeunes qui ne possèdent pas de mécanismes de détoxification des glucosinolates complètement actifs au niveau ruminal essentiellement, et hépatique. Cette détoxification est adaptative, elle est plus importante lorsque l'aliment contient des glucosinolates. Elle semble avoir été particulièrement importante dans l'expérience de Wathelet et al. (1997), puisqu'aucun glucosinolate n'a été mis en évidence dans le liquide ou dans le contenu de rumen (dosage par chromatographie liquide à haute performance). D'autre part, les produits de dégradation avaient en majorité disparu après 6 heures.

2.7. Valeurs alimentaires.

Les tourteaux gras fermiers et industriels expellers de colza sont des aliments « récents ». Par conséquent, toutes leurs valeurs alimentaires ne sont pas connues et beaucoup sont estimées à partir des valeurs connues de la graine, de l'huile et du tourteau industriel de colza publiées (INRA-AFZ, 2007).

2.7.1. Valeurs énergétiques.

2.7.1.1. Prévion de la valeur énergétique à partir de la matière grasse (Doreau et al., 2006).

Deux méthodes d'estimation de la valeur UFL et UFV existent. La première (1) consiste à considérer le tourteau de colza gras comme un mélange de tourteau industriel déshuilé (x) (2% de MG) et de graine (y) (42 à 45% de MG). Dans la seconde (2), le tourteau gras est un mélange de tourteau industriel déshuilé (x) à 2% de MG et d'huile de colza (z).

Pour un tourteau gras à p % de MG (avec $7\% < p < 30\%$), et donc un tourteau à $(p - 2\%)$ de matières grasses en plus du tourteau industriel, les systèmes suivants permettent d'établir les estimations :

$$(1) \begin{cases} p\% = 2\%x + 42\%y \\ 1 = x + y \end{cases}$$

$$(1) \text{ UF}_{\text{Tourteau gras à } p\% \text{ MG}} = (p - 2)/40 \times \text{UF}_{\text{graine}} + (42 - p)/40 \times \text{UF}_{\text{tourteau industriel}}$$

$$(2) \begin{cases} p\% = 2\%x + 100\%z \\ 1 = x + z \end{cases}$$

$$(2) \text{ UF}_{\text{Tourteau gras à } p\% \text{ MG}} = (p - 2)/98 \times \text{UF}_{\text{huile}} + (100 - p)/98 \times \text{UF}_{\text{tourteau industriel}}$$

Avec les valeurs INRA, (2007) :

$$(1) \text{ UFL}_{\text{Tourteau gras à } p\% \text{ MG}} = 0,0215p + 0,917$$

$$(2) \text{ UFL}_{\text{Tourteau gras à } p\% \text{ MG}} = 0,0181p + 0,924$$

De même :

$$(1) \text{ UFV}_{\text{Tourteau gras à } p\% \text{ MG}} = 0,023p + 0,854$$

$$(2) \text{ UFV}_{\text{Tourteau gras à } p\% \text{ MG}} = 0,019p + 0,861$$

Les deux méthodes apportent des valeurs proches pour des teneurs de matières grasses inférieures à 20%, qui sont les cas le plus fréquemment rencontrés lors de préparation à la ferme. Lorsque les teneurs en MG dépassent 30%, l'équation (1) se rapproche probablement le plus de la valeur réelle, les tourteaux gras ont plus un profil plus de graine que de tourteau industriel dans lequel de l'huile de colza aurait été rajoutée.

2.7.1.2. Valeurs calculées à partir de la composition chimique des tourteaux gras (Veau et al., 2006).

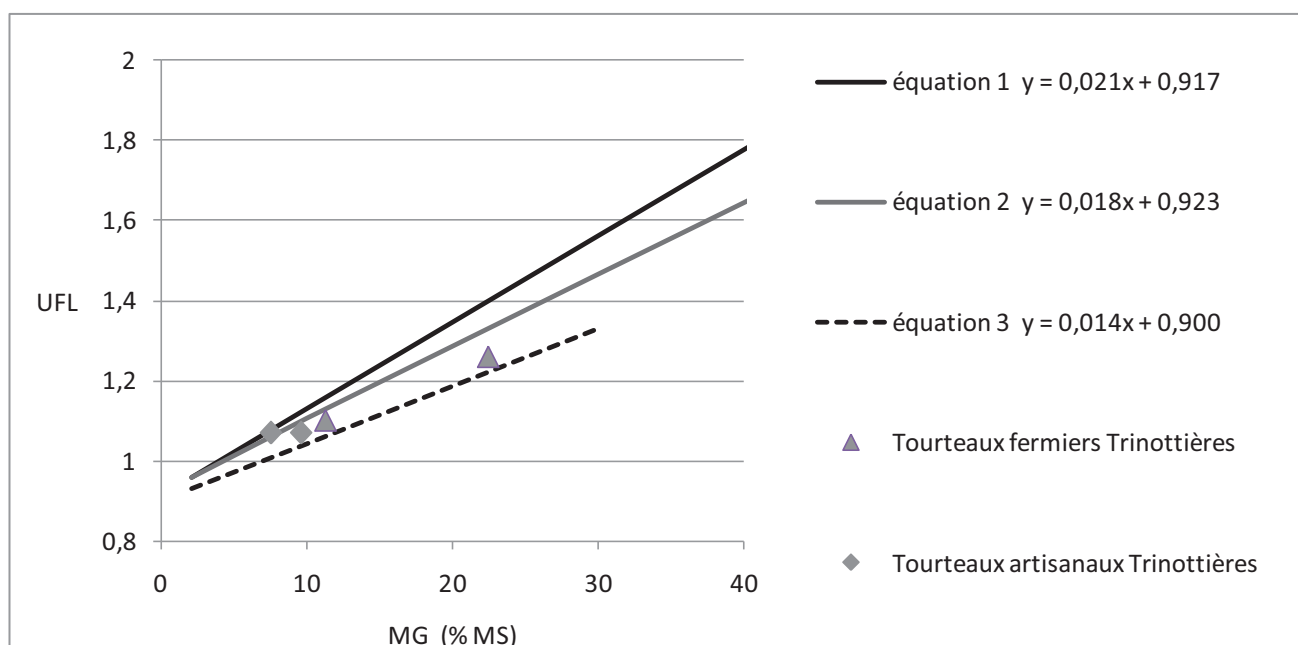
L'analyse des 26 tourteaux gras de colza a donné les teneurs en MS, MG, MAT, MM (Matières Minérales), CB et dE (digestibilité de l'Énergie). Cette composition chimique (analyses INZO, Château-Thierry) a permis, d'après les équations INRA, de calculer les valeurs UFL et UFV (Sauvant et al, 2004). Les auteurs ont ensuite établi des équations simplifiées permettant d'exprimer la valeur UF des tourteaux gras uniquement en fonction de la matière grasse. On obtient une équation du type :

$$(3) \text{ UFL} = 0,0143p + 0,9009 \text{ avec } R^2 = 0,02558$$

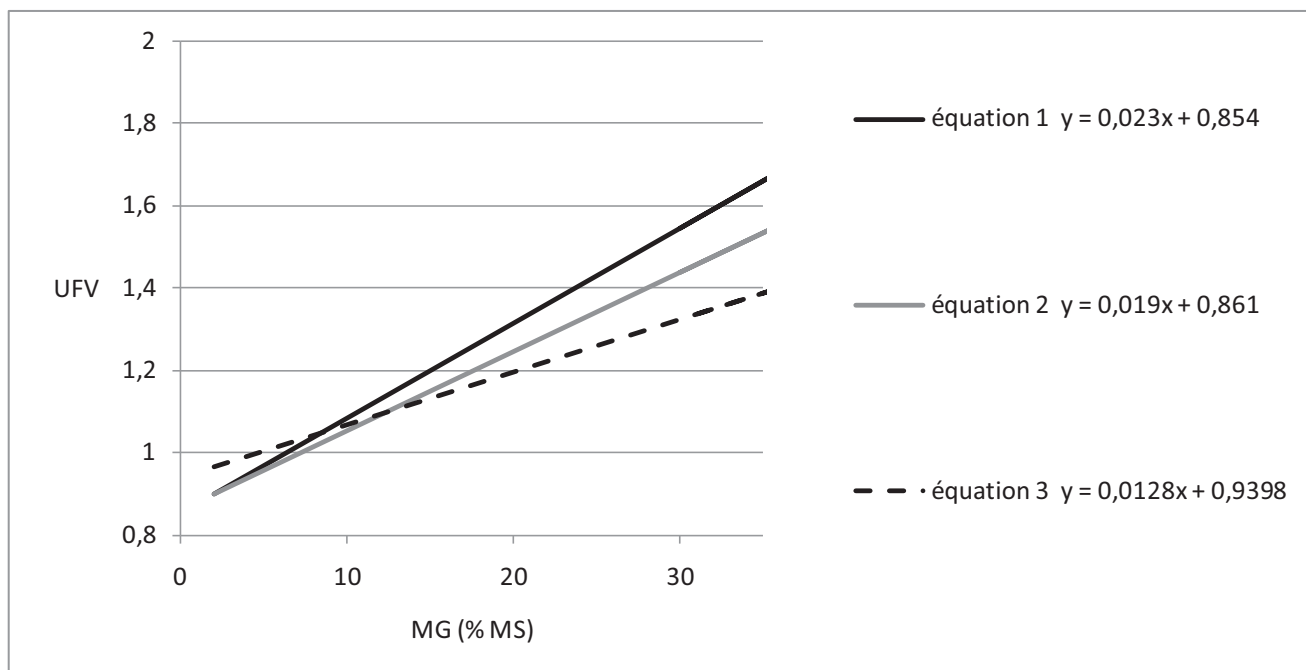
$$(3) \text{ UFV} = 0,0128p + 0,9393 \text{ avec } R^2 = 0,9917$$

avec $p = \%$ matières grasse du tourteau par rapport à la matière sèche

Les valeurs énergétiques des tourteaux gras fermiers de colza varient de 0,7 à 1,1 UFL et 1,1 à 1,3 UFV. Seules les UFV sont fortement corrélées à la matière grasse ($R^2=0,9917$), il semble difficile d'évaluer la valeur UFL avec la seule teneur en matière grasse ($R^2=0,2558$).



Graphique 1 : valeur UFL des tourteaux gras en fonction de la teneur en matière grasse.



Graphique 2 : valeur UFV des tourteaux gras en fonction de la teneur en matière grasse.

Les analyses des tourteaux gras fermiers réalisées à la ferme des Trinottières donnent des valeurs UFL de 1,1 et 1,26 pour des valeurs de MG de 11,2 % et 22,4 %/ MS respectivement. Les deux tourteaux industriels expellers testés présentaient des valeurs UFL de 1,07 pour des valeurs de matière grasse de 7,5 et 9,6%/MS. Si on reporte ces valeurs sur le graphique des valeurs UFL en fonction de la matière grasse, ces valeurs sont comprises entre les équations (2) et (3).

2.7.2. Valeurs protéiques.

2.7.2.1. Prévion de la valeur protéique à partir de la matière grasse (Doreau et al., 2006).

De même qu'avec les valeurs UF, il est théoriquement possible d'approcher la valeur PDI des tourteaux gras fermiers à partir de la teneur matière grasse résiduelle. Les tourteaux industriels expellers subissent un chauffage au cours de leur processus de fabrication entraînant une diminution de leur dégradabilité ruminale. L'estimation de leur valeur PDI s'effectue à partir de la valeur PDI des tourteaux de colza industriel déshuilé, en réalisant

l'hypothèse que les DT des tourteaux industriels expellers et des tourteaux industriels déshuilés sont voisines.

Les équations de prévision sont :

- pour les tourteaux expellers d'après le système (2) (cf 2.7.1.1.) :

$$(4) \text{ PDI}_{\text{tourteau gras à p \%MG}} = (100 - p)/98 \text{ PDI}_{\text{tourteau industriel}}$$

Le temps de chauffage étant négligeable lors du pressage à la ferme dans de petites unités, la valeur PDI des tourteaux gras fermiers est estimée à partir de la valeur PDI des graines de colza en réalisant l'hypothèse que la graine de colza est un mélange de tourteau gras fermier et d'huile. On obtient le système suivant :

$$(5) \begin{cases} 42\% = px + 100\%z \\ 1 = x + z \end{cases}$$

D'où (5) $x = 58/(100 - p)$

- pour les tourteaux fermiers :

$$(5) \text{ PDI}_{\text{tourteau gras à p \%MG}} = (100 - p)/58 \text{ PDI}_{\text{graine de colza}}$$

2.7.2.2. Premières valeurs connues (INZO, 2007).

Deux tourteaux gras fermiers, titrant 22,5% et 17,2% MG/MB et un seul tourteau industriel expeller à 8,3% ont été analysés par la méthode « *in sacco* ». Ces premières analyses montrent une forte dégradabilité des protéines des tourteaux fermiers (0,84 et 0,86 respectivement) d'où une faible teneur en PDI par rapport au tourteau de colza industriel. Le tourteau industriel expeller a des valeurs similaires au tourteau industriel déshuilé malgré des teneurs en matière grasse 2 à 3 fois supérieures.

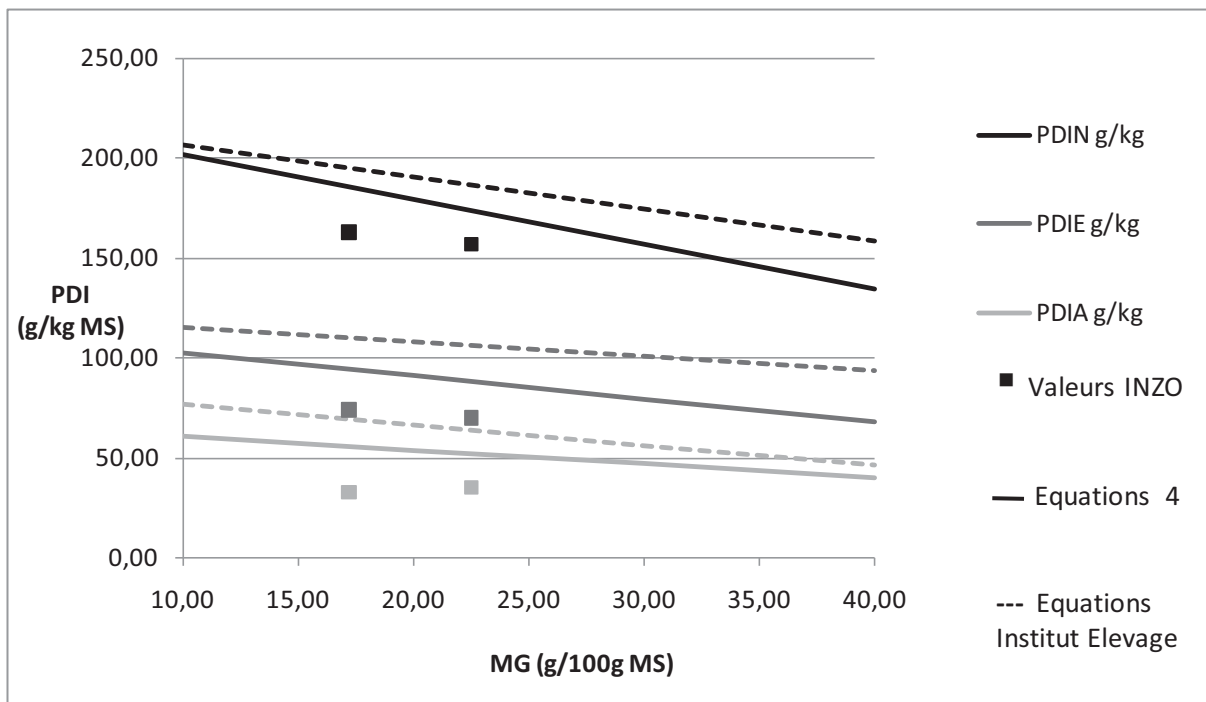
Tableau 2 : teneurs en MAT et MG, valeurs DT et PDI des tourteaux de colza gras fermiers, industriel expeller, industriel déshuilé (INZO, 2007).

	Tourteau de colza gras fermier		Tourteau de colza industriel expeller	Tourteau de colza industriel déshuilé
% humidité	10,9	9,6	6,7	12,2
MG (g/kg MB)	225	172	83	32
MAT (g/kg MB)	256	268	339	331
DTN	0,84	0,86	0,67	0,68
PDIA (g/kg MB)	35	33	92	93
PDIN (g/kg MB)	157	163	220	217
PDIE (g/kg MB)	70	74	137	138

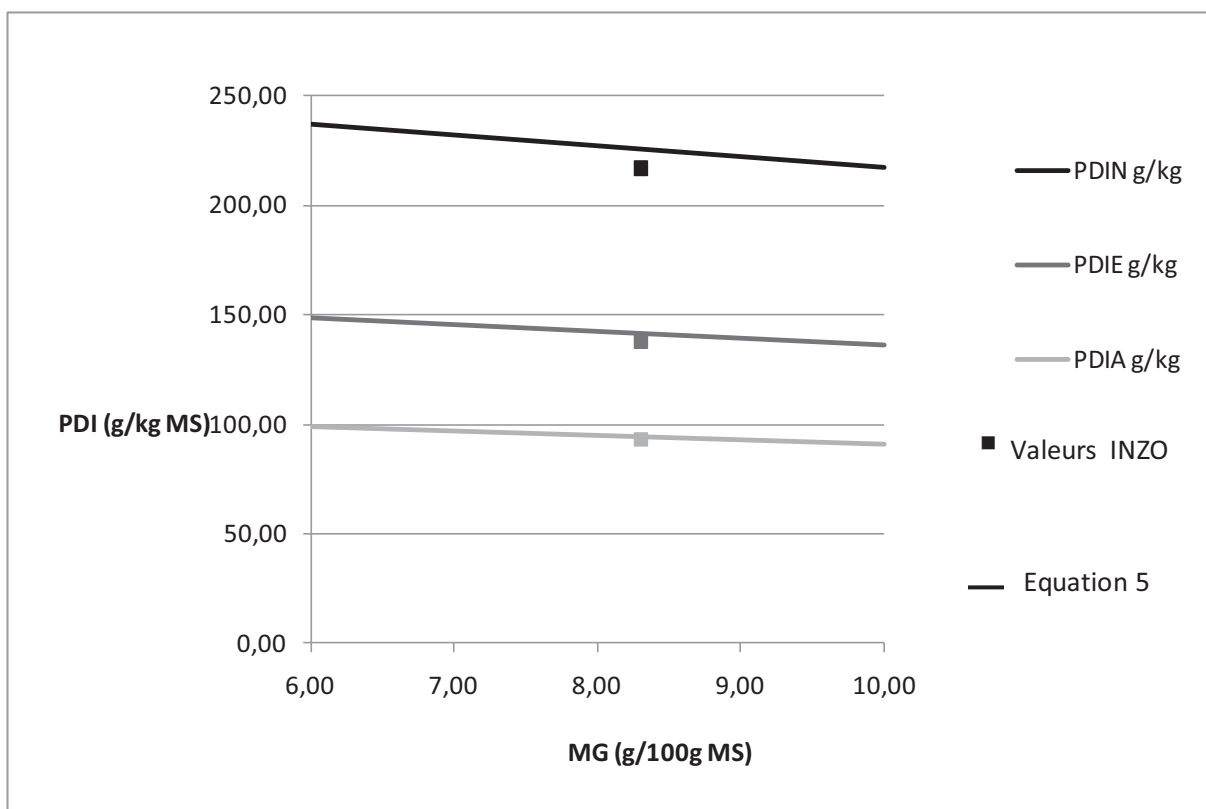
2.7.2.3. Valeurs protéiques calculées à partir de la composition chimique (Veau et al., 2006).

De même qu'au 2.7.1.2, les calculs des valeurs PDI ont été effectués à partir de la composition chimique des tourteaux gras. Le rapport ne mentionne aucun calcul de valeur de dégradabilité théorique de l'azote des tourteaux gras de l'enquête. La teneur en PDIN des tourteaux gras de colza varie entre 164 et 228 g/kg MS avec une grande majorité d'échantillons située en dessous de 210 g/kg MS, leur teneur en PDIE varie entre 69 et 153 g/kg MS, avec une grande majorité d'échantillons située en dessous de 130 g/kg MS et leur teneur en PDIA varie entre 25 et 100 g/kg MS.

L'analyse des 26 échantillons de tourteaux gras fermiers, aboutit donc à la même conclusion que les données INZO (2007). Les valeurs PDI des tourteaux gras sont assez faiblement corrélées à leur teneur en matière grasse ($R^2 = 0,2$). Il est donc difficilement possible de prédire simplement les valeurs PDI. Pour réaliser des rations exactes, une détermination de la dégradabilité théorique des tourteaux fermiers est nécessaire.



Graphique 3 : prévision de la valeur PDI des tourteaux fermiers à partir de leur teneur en matière grasse.



Graphique 4 : prévision de la valeur PDI des tourteaux expellers à partir de leur teneur en matière grasse.

3. Essais réalisés avec l'incorporation du tourteau de colza dans l'alimentation des ruminants.

Afin de connaître les effets de l'utilisation de tourteau gras en élevage, de nombreux essais ont été réalisés sur toutes les espèces et productions de ruminants dans des fermes expérimentales.

3.1. Essais sur bovins.

3.1.1. Essais sur vaches laitières.

3.1.1.1. Essais à la station des Trinottières.

Les deux essais suivants étaient réalisés pendant 10 semaines, sur des vaches en milieu de lactation, recevant une fois par jour individuellement une ration complète mélangée. Les vaches étaient pour moitié des primipares dans chaque groupe.

Pour chaque essai, trois groupes étaient constitués :

- un groupe témoin recevant de l'ensilage de maïs et un tourteau de soja 48 « Ts »,
- deux groupes recevant de l'ensilage de maïs et un tourteau de colza gras.

3.1.1.1.1. Essais avec des tourteaux gras fermiers (Brunschwig et Lamy et al., 2006).

Les deux tourteaux étaient issus du pressage par une presse à barreau de type « Reinartz » (Rn) à 10,1 % MG, et d'une presse à vis de type « Täby » (Tb) à 20,5% MG. Les graines de colza des deux groupes provenaient d'un même lot homogène de graines.

L'ingestion a été augmentée dans les deux lots avec du tourteau de colza (+ 1,2 kg pour « Rn » et + 0,8 kg pour « Tb » par rapport à « Ts »). Les concentrés représentaient une plus grande part dans les rations contenant du tourteau de colza gras, augmentant l'appétence de celle-ci. L'ingestion plus importante a permis en outre une meilleure production laitière.

Le taux protéique du lait (TP) a été maintenu dans le groupe Rn mais a été diminué par rapport à Ts, avec une ration dont la teneur en MG est supérieure à 5% (Tb).

La diminution du TB des lots Tb et Rn par rapport à Ts, est due à l'effet de dilution provoqué par l'augmentation de production et au flux alimentaire d'AGPI pouvant favoriser la synthèse d'AG *trans* réduisant la synthèse de MG (Chilliard et Ferlay, 2004). En outre, on retrouve un profil d'acides gras du lait avec des rations comportant des tourteaux gras fermiers de colza comparable à celui obtenu avec du tourteau de colza industriel. Le profil en acides gras longs insaturés des lots Tb et Rn présente un intérêt technologique (amélioration de la tartinabilité du beurre), organoleptique et nutritionnel pour les produits laitiers.

Tableau 3 : composition et valeurs alimentaires des rations avec tourteau de soja (Ts) ou des tourteaux gras de colza à 10 (Rn) ou 20 (Tb)% MG/MS (Brunschwig et Lamy et al., 2006).

Groupe	Ts	Rn	Tb
Ensilage % MB	83,4	70,9	74,7
Paille % MB	2,1	2,1	2,1
Tourteau de soja % - <i>kg brut/j/vache</i>	11,9 - 3	2,1 - 0,6	7,4 - 1,9
Tourteau de colza Rn % - <i>kg brut/j/vache</i>		23,8 - 3	
Tourteau de colza Tb % - <i>kg brut/j/vache</i>			14,3 - 3,5
Urée et minéraux % - <i>kg brut/j/vache</i>	2,6	1,1	1,5
UFL / kg MS	0,91	0,94	0,96
MG g/kg MS	27	49	56
PDIN g/kg MS	85	87	87

Tableau 4 : production laitière, taux butyreux et protéique, composition en acides gras du lait des groupes de vaches recevant du tourteau de soja (Ts) ou des tourteaux gras de colza à 10 (Rn) ou 20 (Tb)% MG/MS (Brunschwig et Lamy et al., 2006).

Groupe	Ts	Rn	Tb
Lait brut (kg/j)	27,8	30,1*	32,1*
TB (g/kg)	36,8	31,3*	30,8*
TP (g/kg)	31,4	32,0	30,9
Variation de poids (g/j)	722	890*	809*
Composition en acides gras du lait, en % des AG totaux			
C4+C6+C8 (%AG totaux)	6,6	5,6	5,6
C10+C12+C14	18,2	15,5	15,2
C16 : 0	36,3	24,3	26,0
C18 : 0	7,2	9,2	9,8
C18 : 1 cis	18,9	26,6	26,9
AGPI cis	2,3	3,7	3,1
AG trans	2,1	6,1	5,3

* signifie que les différences entre le lot TS et Tb ou Rn sont significatives avec $p < 0.1$

Légende : TB : Taux Butyreux ; TP : Taux Protéique ; Cx : acides gras à x carbones ; AGPI : Acides Gras Poly-Insaturés.

3.1.1.1.2. Essais de tourteaux industriels expellers (Brunschwig et al., 2005).

L'objectif de l'essai était de mesurer l'impact zootechnique de l'utilisation de 2 tourteaux de colza industriels expellers obtenus par deux procédés différents :

- un lot « ACP » dont le tourteau contenait 9,6% MG,
- un lot « PEP » dont le tourteau contenait 7,5% MG.

Les rations étaient isoénergétiques et isoprotéiques d'après l'utilisation des équations (cf 2.7.1.1 et 2.7.2.1) pour l'estimation des valeurs énergétiques et protéiques des tourteaux industriels expellers.

L'augmentation d'ingestion des deux lots « ACP » et « PEP » par rapport à « Ts » était en partie due à l'augmentation de la part de concentrés dans les rations à base de tourteaux de colza.

L'amélioration du TP s'explique par une plus forte concentration en méthionine dans les rations des lots « ACP » et « PEP » (1,95 pour « ACP » et « PEP » contre 1,8 MetDI, en % PDIE pour « Ts »).

Tableau 5 : composition et valeurs alimentaires des rations avec du tourteau de soja (Ts) ou des tourteaux de colza expeller réalisé selon les procédés ACP ou PEP (Brunschwig et al., 2005).

Groupe	TS	ACP	PEP
Ensilage % MB	82	73	74,7
Paille % MB	0,5	0,5	2,1
Tourteau de soja %	13,8		7,4 – 1,9
Mélange tourteaux de soja et colza tanné %	2	3	
Tourteau de colza ACP %		22,3	
Tourteau de colza PEP %			22,3
Urée et minéraux %	1,7	1,2	1,5
UFL (/ kg MS)	0,90	0,91	0,91
MG (g/kg MS)	30	44	40
PDIE (g/kg MS)	96	89	89

Tableau 6 : ingestion, production laitière, taux butyreux et protéique, variation de poids des 3 groupes de vaches recevant les rations avec tourteau de soja (Ts) ou des tourteaux de colza expeller réalisés selon les procédés ACP ou PEP (Brunschwig et al., 2005).

Groupe	Ts	ACP	PEP
Ingestion totale (kg MS/j)	20,5	22,6	22,4
Lait brut (kg/j)	32,2	34,8	33,8
TB (g/kg)	40,4	39,9	40,3
TP (g/kg)	28,7	29,5	29,1
Variation de poids (g/j)	-3	-232	-137

3.1.1.2. Essais sur des rations à base de foin ventilé (Houssin et al., 2006).

Deux rations à base de foin ventilé « FV » et deux rations à base d'ensilage de maïs « EM » étaient complétées avec du tourteau de colza déshuilé industriel « TCI » (2,5 % MG) ou du tourteau de colza gras fermier « TCG » (18 % MG). L'essai a été réalisé sur 8 semaines sur 4 lots de 10 vaches normandes. Ils ont reçu les 4 régimes alimentaires suivants :

- ensilage de maïs + 3.2 kg de tourteau de colza industriel (EM - TCI),
- ensilage de maïs + 3 kg de tourteau de colza gras (EM - TCG),
- foin ventilé + 1 kg de tourteau de colza industriel (FV - TCI),
- foin ventilé + 3 kg de tourteau de colza gras (FV - TCG).

Les performances zootechniques et le profil en acides gras du lait étaient ensuite mesurés.

L'apport de « TCG » dans les rations à base de foin ventilé a permis une augmentation de la production laitière de 1,9 kg/vache/j par rapport à « TCI », avec un abaissement du TP de 1,6 point. Les résultats obtenus avec les deux rations à base de maïs ensilage ne mettaient pas en évidence de réelles différences sur le plan zootechnique par rapport à ceux obtenus à la ferme des Trinottières (Brunschwig et Lamy et al., 2006).

Avec les deux types de ration, le tourteau gras fermier de colza a entraîné une diminution du pourcentage des acides gras moyens et une augmentation du pourcentage d'acides gras mono et poly insaturés.

Tableau 7 : composition de la ration, production laitière, taux butyreux et protéique et composition du lait des groupes de vaches ayant consommé des rations à base d'ensilage de maïs (EM) ou foin ventilé (FV), complétées avec du tourteau de colza industriel (TCI) ou fermier (TCG) (Houssin et al., 2006).

	Lot EM TCI	Lot EM TCG	Lot FV TCI	Lot FV TCG
Fourrages (kg MS/VL/jour)	14,9	13,8	14,1	14,0
Concentrés (kg brut/VL/jour)	6,1	6,2	6,1	6,1
MG ration totale (% MB)	3,1	5,5	2,2	4,5
Lait produit (kg/VL/j)	27,4	27,4	24,5 ^a	26,4 ^b
TB (g/kg)	39,8	40,1	37,8	38,9
TP (g/kg)	34,0 ^a	32,1 ^b	32,6 ^a	31,0 ^b
AG moyens du lait (%)	50,4 ^a	43,0	50,0 ^a	37,9 ^b
AG longs du lait (%)	38,5 ^a	46,3 ^b	39,0 ^a	53,6 ^b
AG Mono insaturés (%)	26,5 ^a	30,6 ^b	27,1 ^a	35,6 ^b
AG polyinsaturés (%)	4,2	4,4	5,2 ^a	5,6 ^b
Omega 3 (%)	0,64	0,58	1,24 ^a	1,14 ^b
Omega 6 / Omega 3	2,95	2,84	1,83	1,77
Acides gras trans (%)	2,04 ^a	2,88 ^b	1,51 ^a	2,63 ^b

^{a,b} signale une différence entre tourteau témoin et fermier significative à p<0,05.

3.1.1.3. Essais sur des rations à base d'ensilage d'herbe (Chapuis et al., 2006).

Un essai a été réalisé en milieu de lactation, pendant 12 semaines (2 séries consécutives de 6 semaines) sur 22 vaches laitières, recevant quotidiennement la même ration mixte (ensilage herbe-maïs) complète mélangée avec :

- pour le lot témoin « TCI » du tourteau industriel à 2,5 % de MG

- pour le lot tourteau de colza fermier « TCG » : deux tourteaux de colza fermiers à 13,5% MG pour la première série, et 19,4 % pour la deuxième série.

L'apport de 4,0 kg MS de tourteau gras de colza en remplacement de 2,8 kg MS de tourteau industriel de colza a fait passer la teneur de la ration « TCG » régulièrement au-dessus de 5 % MG. Le dépassement de ce seuil a probablement perturbé le fonctionnement ruminal et de fait, réduit l'ingestion dans le lot « TCG » malgré une ration à plus forte proportion de concentré.

Ce constat a expliqué le maintien de la production laitière au niveau du lot « TCI », la baisse de TP des lots « TCG ». Celle-ci était plus marquée en 2^{ème} période d'essai quand la teneur en MG de la ration est plus élevée.

Le bilan énergétique du lot « TCG » plus élevé de 0,4 UFL/j par rapport au lot « TCI » a expliqué la reprise d'état corporel plus importante de ce lot.

L'utilisation des tourteaux fermiers de colza gras (>12 % MG) pour corriger des rations fourragères, mixtes ou non, doit respecter la limite de 5 % de MG dans la ration pour ne pas pénaliser le TP.

Tableau 8 : teneur en matière grasse de la ration, ingestion totale, production laitière, taux butyreux et protéique, variation d'état corporel des deux groupes de vaches recevant des rations avec du tourteau de colza industriel (TCI) ou gras (TCG) (Chapuis et al., 2006).

Groupe	TCI		TCG	
	1 ^{ère}	2 ^{ème}	1 ^{ère}	2 ^{ème}
Série				
MG de la ration (g/kg MS)	29		51	64
Ingestion totale (kg MS)	21,8		20,9	
Lait produit (kg/j)	25,8	26,1	25,6	25,6
TB (g/kg)	42,7	41,9	42,3	42,0
TP (g/kg)	34,7	34,8	33,5*	32,4*
Variation de note d'état corporel	0,43	0,16	0,73*	0,05

* signale une différence entre tourteau industriel tourteau fermier significative à p<0,10

3.1.1.4. *Incorporation de tourteau de colza obtenu par pression à froid dans une ration d'engraissement chez les taurillons (Mayombo et al., 1997).*

L'ingestion, la digestion et la cinétique de dégradation de la ration dans le rumen ont été mesurées sur quatre rations d'engraissement de taurillons contenant différents taux d'incorporation du même tourteau de colza obtenu par pression à froid et contenant 8,6% de matières grasses. La ration témoin était composée de pulpes séchées, céréales, tourteau de soja et lin. Dans les trois autres rations, les matières azotées du tourteau de colza ont remplacé à raison de 33, 66 et 100 % celles des tourteaux de soja et de lin.

Huit taurillons de race Blanc Bleu de conformation mixte ont été utilisés dans un modèle de 2 carrés latins 4 x 4 (4 séries de 4 animaux). Les animaux pesaient à mi-expérience en moyenne 530 kg. Ils étaient porteurs d'une canule du rumen. Chaque période du carré latin avait une durée de 42 jours avec une période de transition de 7 jours.

Le tourteau de colza utilisé présentait une dégradabilité théorique de 0,717 (détermination par la méthode des sachets nylon). Les teneurs en minéraux Ca/P/Mg étaient élevées pour un aliment de ce type, les concentrations en Cu, Zn et Mn couvraient les besoins de taurillons en engraissement.

La ration contenant 3/3 de tourteau de colza a entraîné une réduction de l'ingestion très faible et non significative mais une diminution significative du coefficient de digestibilité de la matière organique. Selon les auteurs, l'apport accru de matières grasses aurait réduit l'efficacité ruminale.

Les coefficients de digestibilité du tourteau et des rations sont maximaux lors de l'apport d'un 1/3 de tourteau de colza.

Tableau 9 : teneur en matières grasses et azotées des rations et digestibilité de la matière organique en fonction de la part de tourteau gras incorporé (Mayombo et al., 1997).

Part du tourteau de colza dans les concentrés	0	1/3	2/3	3/3
Matières azotées (%/MS)	16,3	16,2	16,2	16,1
Matières grasses (%/MS)	3,2	3,3	4,0	4,2
dMO de la ration (%)	77,9 ^{ab}	78,8 ^a	77,6 ^b	76,5 ^c

Les valeurs suivies de lettres différentes dans une même ligne sont significativement différentes ($p > 0,05$)

Tableau 10 : composition chimique et valeur alimentaire du tourteau de colza incorporé (Mayombo et al., 1997).

Matières azotées (% MS)	37,8
Matières grasses (% MS)	8,6
ADF (% MS)	27,1
Ca/P/Mg (g/kg MS)	9,6/12,6/4,6
UFL (/kg MS)	1,11
UFV (/kg MS)	1,07
PDIN (g/kg MS)	152
PDIE (g/kg MS)	259

Légende : ADF : Acid Detergent Fibre.

3.1.1.5. Valorisation des tourteaux fermiers de colza en production de viande bovine. Essai sur jeunes bovins charolais (Bertin et al., 2008).

Dans cet essai, trois types de régimes à base d'ensilage de maïs et paille à volonté ont été comparés pour l'engraissement de deux séries de 36 taurillons charolais d'environ 10 mois :

- un régime « TCG » complété avec 2,5 kg/j de tourteau de colza gras fermier à 12% de MG,
- un régime « TCI » complété avec 1,3 kg/j de blé et 1,7 kg de tourteau de colza fortement déshuilé à 3 % de MG,
- un régime témoin « Ts » complété avec 1,8 kg/j de blé et 1,2 kg/j de tourteau de soja.

Cet essai montre qu'une ration complétée avec 2,5 kg/j de tourteaux de colza gras (à environ 12% de matière grasse) a donné des résultats de performances et de carcasse identiques à ceux obtenus avec un régime complété avec du blé et du soja.

Le tourteau de colza gras suffit seul en tant que concentré pour satisfaire les besoins des jeunes bovins sans engendrer de problèmes d'appétence.

Tableau 11 : durée d'engraissement, performances zootechniques et proportion de matière grasse des jeunes bovins ayant reçu du tourteau de soja (Ts) ou du tourteau de colza industriel (TCI) ou fermier (TCG) (Bertin et al., 2008).

	Ts	TCI	TCG
Durée engraissement (j)	206	207	205
Croissance (g/j)	1632	1572	1602
Indice de consommation (kg MS/ kg gain poids vif)	6,34	6,72	6,44
MG ration (% MS)	2,5	2,7	4,6

3.1.1.6. *Valorisation des tourteaux fermiers de colza en production de viande bovine. Essai sur jeunes bovins Blanc Bleu Belge (Novak et Jossart, 2004).*

Neuf taurillons Blanc Bleu Belge d'un poids voisin de 500 kg ont été séparés en deux lots. Le premier lot a reçu un régime témoin contenant 6 % de tourteau de lin et 10 % d'aliment contenant de la graine de lin expansée, le second lot un régime contenant 16 % de tourteau de colza gras fermier, les aliments étant distribués de manière à assurer une ingestion *ad libitum*, pendant 4 mois.

Aucune différence de GMQ n'a été mise en évidence, seule une amélioration de l'indice de consommation a été constatée avec le tourteau gras.

3.2. Essais sur les ovins.

3.2.1. *Essais sur les agneaux en croissance.*

Deux types de tourteaux gras de colza ont été incorporés à 25% dans les concentrés de jeunes animaux en croissance (Mandiki et al., 2000). Les tourteaux différaient par leur teneur en glucosinolates et leur teneur en graisse résiduelle. Ces rations étaient comparées à une ration ne contenant pas de tourteau de soja.

Les performances zootechniques n'ont pas été altérées par l'incorporation de tourteau de colza par rapport à la ration témoin sans tourteau de colza. L'ingestion des tourteaux gras a eu des effets limités au niveau endocrinien et métabolique, excepté au niveau de la thyroïde pour laquelle une hypertrophie a été constatée. Ces phénomènes sont restés sans conséquence car globalement, les performances zootechniques obtenues avec ces deux tourteaux de colza gras ont été pratiquement équivalentes au témoin sans colza. Par ailleurs, il a été constaté avec le colza, une diminution de la teneur en cholestérol dans le gras de dépôt des agneaux en croissance.

Tableau 12 : teneur en glucosinolates et en matière grasse des différents tourteaux (Mandiki et al., 2000).

	Variété Samourai	Variété Honk
Teneur en glucosinolates ($\mu\text{mol/g MS}$)	10,89	24,14
Teneur en matières grasses (% MS)	18,5	22,0

3.2.2. Essais sur les brebis en gestation-lactation : effets sur les agneaux.

Mandiki et al (2000) ont également étudié les effets de la distribution de tourteaux gras de colza sur les performances zootechniques des brebis mais surtout des agneaux. Deux concentrés contenant 40 % de tourteau de colza à 15 % de MG ont été testés en comparaison avec un témoin sans colza.

L'essai a montré que globalement la distribution des tourteaux de colza n'a eu aucun effet marqué sur les performances des brebis et des agneaux. Une augmentation du niveau des ions thiocyanates dans le plasma et le lait a été constatée dans les lots colza mais est restée réversible et n'a eu pas d'incidence sur les performances de reproduction et de lactation.

Tableau 13 : composition chimique de la ration et performances zootechniques des brebis et des agneaux en fonction de l'aliment concentré (Mandiki et al., 2000).

Aliment concentré	Témoin sans colza	Colza Apex	Colza synergy	Témoin sans colza	Colza Samouraï	Colza Honk
Teneur en MG des tourteaux (% MS)	7,0	7,25	7,65	5,3	6,2	6,9
Protéines brutes (% MS)	21,9	21,7	21,8	18,3	16,4	15,9
Glucosinolates (µmol/g MS)	0	5,1	6,3	0	1,9	4,2
Brebis						
Evolution du poids avant mise bas (g/j)	+ 257	+ 282	+ 285			
Evolution du poids après la mise bas (g/j)	+ 127	- 22	+ 26			
Ions thiocyanates dans plasma (%µmol/ml)	0,03	0,35	0,50			
Agneaux						
Mortalité (%)	10	5	0			
Poids à la naissance (kg)	3,9	4,6	4,2			
Croissance générale (g/j)	255	257	251			
Agneaux en croissance						
Gain quotidien général (g/j)				257	260	260
Age à l'abattage (j)				136	130	131
Poids de carcasse (kg)				17,0	17,4	17,2

3.3. Essais sur les chèvres laitières (Lefrileux et al., station expérimentale caprine de Pradel, 2008).

Cinq lots de 18 chèvres adultes ont reçu en complément d'une alimentation à base de foin et pâturage, 800g de concentré au DAC. Les niveaux d'incorporation de tourteaux gras de colza dans le concentré variaient de 0 à 600 g/jour/chèvre, le maïs complétait le reste du concentré, la teneur en matière grasse des différentes rations n'excédait pas les 5%. Un seul type de tourteau gras de colza, à 11,7% de matière grasse, a été utilisé au cours de cette expérimentation.

L'introduction de tourteau gras de colza à des niveaux élevés s'est associée à une hausse de la production de lait. Les poids vifs et les états corporels sont restés stables sur la durée de l'essai. Enfin aucun effet n'a été remarqué sur l'aptitude du lait à la transformation fromagère et la qualité des picodons (fromages de chèvre au lait cru produit dans la Drôme et dans l'Ardèche).

Tableau 14 : taux d'incorporation et production laitière de chèvres recevant des régimes avec différentes quantités de tourteau gras de colza (Lefrileux et al., 2008).

Maïs (kg MB/j)	0,8	0,65	0,5	0,45	0,15
Tourteau colza gras (kg MB/j)	0	0,15	0,3	0,45	0,6
Lait brut (kg/j)	2,20	2,22	2,31	2,38	2,64

L'ensemble des essais menés sur les principales productions de ruminants élevées en France, permet de constater à une possible utilisation des tourteaux gras de colza dans leur alimentation en limitant l'incorporation pour ne pas dépasser 5 % de MG dans la ration.

4. Utilisation des tourteaux de colza en élevage (Veau et al., 2006).

Les informations suivantes sont issues d'une enquête réalisée en 2006 dans 81 élevages bovins uniquement (23 élevages allaitants et 56 élevages laitiers).

4.1. Utilisation en élevage laitier.

Les vaches laitières recevaient en moyenne 1,2 kg MS /jour/animal [0,1-3,8] de tourteau gras, représentant 1/3 des concentrés distribués. La quantité de tourteau distribué était supérieure dans les élevages dont l'ensilage de maïs représentait plus de 30% de la ration.

La quantité de tourteaux gras distribuée aux vaches laitières a été déterminée par les éleveurs en fonction de la quantité de tourteaux gras qui avait été produite et de sorte que la distribution soit la plus longue possible pour 57% des élevages. Le deuxième critère pris en compte par les éleveurs pour déterminer le niveau de distribution du tourteau gras a été le taux de matière grasse de ce produit (23% des élevages).

Le tourteau gras a été majoritairement distribué en ration complète ou en mélange avec les autres concentrés. Seuls cinq élevages ont connu des difficultés d'adaptation pendant les trois premiers jours avant que les vaches ne le mangent correctement mais aucun problème d'appétence n'a été rapporté au cours de l'enquête.

4.2. Utilisation en élevage allaitant.

4.2.1. Effets sur les vaches allaitantes.

La majorité des élevages possédant un troupeau de vaches allaitantes distribuant du tourteau gras l'utilisaient pendant la période d'hivernage. Le tourteau de colza représentait en moyenne 50% des concentrés de la ration, soit 1,5 kg/jour/vache.

Le tourteau de colza a aussi été utilisé pour l'engraissement de vaches de réforme en complément de ration à base de foin ou de paille, le tourteau représentait alors 18% des concentrés en moyenne soit 43,3 kg/mois/animal. Dans tous les cas, la part de tourteau gras n'excédait jamais 35% de la ration.

4.2.2. *Utilisation en engraissement de taurillons.*

La quantité de concentrés distribuée aux taurillons était en moyenne de 5 kg MS/jour/taurillon. La part du tourteau gras dans les concentrés était assez faible et proche de celle donnée aux vaches allaitantes mises à l'engraissement, en moyenne de 12,9 % de la ration, distribué en mélange avec les autres concentrés de la ration.

4.3. Effets sur les performances.

Il est difficile de mesurer, dans le cadre de cette enquête, l'impact des tourteaux gras sur les performances zootechniques des animaux qui les ont ingérés, tant les facteurs les influençant sont nombreux. Les effets rapportés sont davantage fondés sur les appréciations qualitatives des éleveurs, que sur des données chiffrées. Une augmentation de la production laitière et une diminution du TB a été observée dans 30% des élevages laitiers enquêtés. Le TP n'a pas subi de grandes modifications d'après les observations des éleveurs.

Aucun problème d'appétence n'a été soulevé par les éleveurs, de plus le tourteau de colza n'a pas eu d'impact négatif apparent sur les performances.

En conclusion de cette partie bibliographique, les tourteaux gras de colza sont des aliments riches en énergie avec des valeurs UFL supérieures à des tourteaux de colza industriels déshuilés, ils permettent d'augmenter la concentration énergétique des rations. Les tourteaux industriels expellers possèdent des valeurs PDI proches des tourteaux industriels déshuilés avec des valeurs énergétiques légèrement plus élevées.

La teneur plus faible en PDI des tourteaux fermiers incite à ajouter de grosses quantités de tourteaux pour atteindre le même seuil de correction mais leur richesse en matière grasse est un facteur limitant, car il faut veiller à ne pas dépasser 5% de matières grasses dans la ration des vaches laitières. Leur utilisation est donc délicate.

La teneur élevée en calcium et phosphore des tourteaux industriels déshuilés se retrouve dans les tourteaux gras, permettant une diminution de l'apport en calcium et phosphore d'origine minérale. La teneur en glucosinolates ne représente plus un frein à l'incorporation de tourteaux gras dans l'alimentation grâce à la mise en culture de variétés 00.

Partie 2 : Etude expérimentale.

La connaissance des valeurs azotées des aliments pour ruminants (PDIN, PDIE) s'avère essentielle pour la formulation de rations des ruminants. Ces valeurs azotées dépendent majoritairement de la teneur en MAT, de la DT et de la teneur en MOF.

Peu de résultats expérimentaux sont à ce jour parus dans la littérature sur la valeur protéique des tourteaux gras de colza.

Les objectifs de l'étude sont :

- la mesure *in sacco* de la dégradabilité ruminale de l'azote des tourteaux gras
- la mesure *in vitro* de cette dégradabilité
- la recherche de relations entre ces deux mesures
- une approche des effets de la conservation à la ferme sur la dégradabilité.

1. Matériels et méthodes.

1.1. Aliments à tester.

Les aliments sont fournis par l'ONIDOL (Organisation Nationale Interprofessionnelle des Oléagineux), les tourteaux gras de colza ayant une gamme de teneur en matière grasse assez large [9,7-38,7 du produit brut], 10 tourteaux ont été choisis parmi les 39 tourteaux recensés dans une enquête tourteaux gras réalisée par cet organisme :

- un tourteau industriel expeller obtenu par double pression : première pression à froid, cuisson, deuxième pression à chaud [1-Ext-Co],
- un tourteau industriel expeller obtenu avec cuisson préalable (100-110°C pendant 30-60 minutes) sans réintroduction de gommes [2-EpiSsg-Co],
- un tourteau industriel expeller obtenu avec cuisson préalable (100-110°C pendant 30-60 minutes) avec réintroduction de gommes [3-EpiAvg-Co]
- sept tourteaux fermiers, dont deux [Tx-5JPV] provenant de la même fabrication, un étant conservé à -11°C plusieurs mois, l'autre étant conservé dans l'élevage.

Chaque aliment a été analysé pour déterminer les teneurs en CB (méthode de Weende) et en constituants pariétaux (méthode de « Van Soest ») : teneurs en parois végétales totales (NDF : Neutral Detergent Fibre) et en fraction lignocellulosique (ADF : Acide Detergent Fibre).

Tableau 15 : composition chimique et teneur en matière organique digestible des aliments testés. La digestibilité de la MO a été calculée selon la méthode INRA (2007).

Aliments		MAT (g/kg MS)	CB (g/kg MS)	MG (g/kg MS)	Mm (g/kg MS)	ADF (g/kg MS)	NDF (g/kg MS)	MOD (g/kg MS)
Tourteaux industriels expellers	1-Ext-Co	345	158	106	71	297	206	686
	2-EpiSSg-Co	330	158	107				670
	3-EpiAVg-Co	339	162	116	69	298	252	682
	Moyenne	338	159	110	70	298	229	685
Tourteaux fermiers	4-JCG-Co	258	109	349	54	235	176	768
	6-SC-Co	327	109	154	67	272	232	758
	7JMC-Co	257	125	248	62	236	155	738
	8-NT-Co	237	118	292	62	249	198	749
	9-DR-Co	286	124	183	67	300	183	736
	TX-5JPV -11°C	305	99	211	64	229	187	773
	TX-5JPV	307	97	219	64	253	164	777
	Moyenne	282	112	237	63	253	185	757
Témoins	Tourteau déshuilé industriel	355	134	28	81	361	261	712
	Graine de colza	180	226	395	43	340	237	610
	Tourteau de soja 48	515	81	27	73	157	82	847

Ces échantillons sont représentatifs des différentes teneurs en matière grasse rencontrées sur le terrain. Seule la teneur en matière grasse a été déterminante dans le choix des tourteaux fermiers.

A titre de référence, un tourteau de soja 48, un tourteau de colza industriel déshuilé (2,5% MG / MB) et de la graine brute de colza ont été analysés.

1.2. Etude *in sacco*

Elle a été réalisée selon la méthode de Michalet-Doreau *et al* (1987) :

- broyage à la grille de 1 mm (broyeur Retsch),
- mise en sachets nylon de 11 x 6 cm, de 50 microns de taille de pores :
3 grammes d'échantillon par sachet,
- durées d'incubation 2, 4, 8, 16, 24, 48 heures,
- 6 répétitions par échantillon et durée d'incubation,
- lavage des sachets après incubation (deux lavages successifs en machine),
- séchage à l'étuve (45°C) et pesée des résidus,
- broyage des résidus : broyeur à bille Dangoumeau,
- dosage de l'azote résiduel (méthode Dumas).

L'essai s'est déroulée sur le domaine de Borret (expérimentation *in vivo*) et dans les laboratoires ENVT et INRA de TANDEM (expérimentation *in vitro*).

Deux séries d'expérimentation *in vivo* ont été réalisées, avec dans la première la mise en place des sachets contenant les aliments 1 à 4, et 6 à 9. La graine de colza, le tourteau industriel déshuilé et le tourteau de soja ont été les témoins de cette première série (mai – juin 2008).

Dans la deuxième série, les tourteaux 5 conservés au congélateur et dans des conditions d'élevage, ainsi que les témoins (tourteau de colza industriel et tourteau de soja) ont été mis en incubation (octobre 2008).

Trois génisses Prim'Holstein (Alyssa, Buchette, Buser) de 24 mois non gestantes, munies d'une canule ruminale, ont été utilisées pour la première série d'expérimentation. Seules Alyssa et Buser furent utilisées pour la deuxième série. Les animaux étaient logés en stalle, alimentés à volonté individuellement avec deux distributions équivalentes par jour (8h et 7h). Les rations couvraient les besoins d'entretien des animaux.

Quantités en kg bruts/jour :

- Foin de luzerne : 5 kg,
- Paille de blé : 2 kg,
- Farine de maïs : 2,5 kg,
- AMV 5/21 : 0,3 kg/j.

1.3. Etude enzymatique.

Elle a été réalisée selon la méthode d'Aufrère et Cartailier (1988).

Dans 50 ml de tampon borate à pH 8, contenant 1 mg de protéase, 0,05 mg de tétracycline et 0,5 mg de nystatine, 500 mg d'échantillon sont mis au bain-marie pendant une heure à 44°C. Le mélange est ensuite centrifugé pendant 5 minutes à 3000 tours/mn, filtré sur filtres plissés Durieux 2B. L'azote restant est dosé par la méthode de Kjeldahl. L'azote organique est minéralisé par l'acide sulfurique : l'azote ammoniacal formé (sulfate d'ammonium) est placé en milieu basique, distillé et recueilli dans une solution d'acide sulfurique en excès. L'acide sulfurique excédentaire est dosé par colorimétrie (rouge de méthyl). Deux répétitions sont réalisées par échantillon, avec pour chaque série un témoin (luzerne déshydratée) et un échantillon blanc.

La dégradabilité enzymatique (DE1) est obtenue en calculant le rapport de l'azote dégradée sur l'azote initial. On en déduit la DTNe à partir des équations (vues dans le 1.4.2) :

- pour les tourteaux (Aufrère et al., 1989)

$$DT = 0.36DE1 + 0.479 + \Delta, \text{ avec } \Delta = 14,5 \text{ pour les tourteaux de colza et } 3,6 \text{ pour le tourteau de soja.}$$

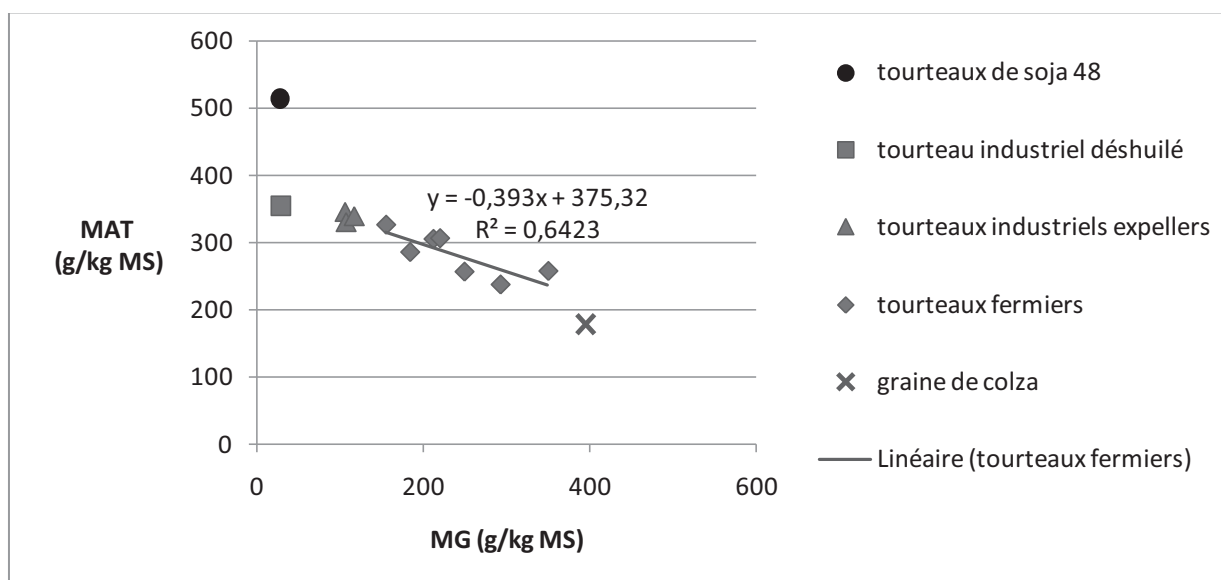
- pour les graines de colza (INRA, 2007) :

$$DT = 1,48 DE1 - 0,76 (DE1)^2 + 0,211$$

2. Résultats.

2.1. Teneurs en MAT.

Les valeurs de MAT des tourteaux gras de colza sont comprises entre les teneurs du tourteau de colza industriel (355 g/kg MS) et de la graine (180 g/kg MS). Les teneurs des tourteaux de colza expellers (entre 330 et 345 g/kg MS) sont supérieures aux teneurs des tourteaux de colza fermiers (entre 237 et 307 g/kg MS). La corrélation entre les teneurs en MAT et MG des tourteaux fermiers est satisfaisante ($R^2 = 0,64$), la matière grasse explique donc 64% des variations de teneur en matière azotée totale.



Graphique 5 : Teneur en matière azotée totale en fonction de la teneur en matière grasse.

2.2. DTN.

Le tableau 16 représente les valeurs des fractions immédiatement dégradables (a), progressivement dégradée (b), la vitesse de disparition dans le rumen (c) de la fraction b et la DTNs (DTN *in sacco*) pour chaque aliment.

Tableau 16 : Expérimentation *in sacco* : teneurs en fractions immédiatement dégradables (a, proportion de l'azote total), progressivement dégradée (b, proportion de l'azote total), vitesse de dégradation (c, par heure) de la fraction b et dégradabilité de l'azote (proportion de l'azote total).

Aliments		a	b	c	Ecart-type a	Ecart-type b	Ecart-type c	DTNs	
Tourteaux industriels expellers	1-Ext-Co	0,38	0,55	0,09	0,06	0,06	0,01	0,71	
	2-EpiSSg-Co	0,29	0,64	0,12	0,04	0,05	0,02	0,72	
	3-EpiAVg-Co	0,24	0,69	0,17	0,10	0,10	0,03	0,75	
	Moyenne	0,30	0,63	0,13				0,73	
Tourteaux gras fermiers	4-JCG-Co	0,61	0,32	0,24	0,08	0,07	0,07	0,86	
	6-SC-Co	0,69	0,24	0,22	0,07	0,07	0,06	0,88	
	7JMC-Co	0,64	0,30	0,20	0,09	0,09	0,07	0,86	
	8-NT-Co	0,66	0,26	0,21	0,10	0,10	0,08	0,86	
	9-DR-Co	0,58	0,34	0,19	0,09	0,09	0,03	0,84	
	TX-5JPV -11°C	0,79	0,15	0,13	0,01	0,01	0,01	0,89	
	TX-5JPV	0,84	0,10	0,08	0,05	0,04	0,08	0,89	
	Moyenne	0,69	0,25	0,18				0,87	
Témoins	Tourteau déshuilé industriel	<i>in sacco</i>	0,10	0,83	0,13	0,12	0,11	0,02	0,66
		Sauvant et al, 2004	0,27	0,67	0,10				0,69
	Graine de colza	<i>in sacco</i>	0,25	0,68	0,21	0,18	0,19	0,07	0,78
		Sauvant et al, 2004	0,40	0,55	0,15				0,79
	Tourteau de soja 48	<i>in sacco</i>	0,11	0,88	0,11	0,18	0,18	0,03	0,67
		Sauvant et al, 2004*	0,13	0,85	0,085				0,63

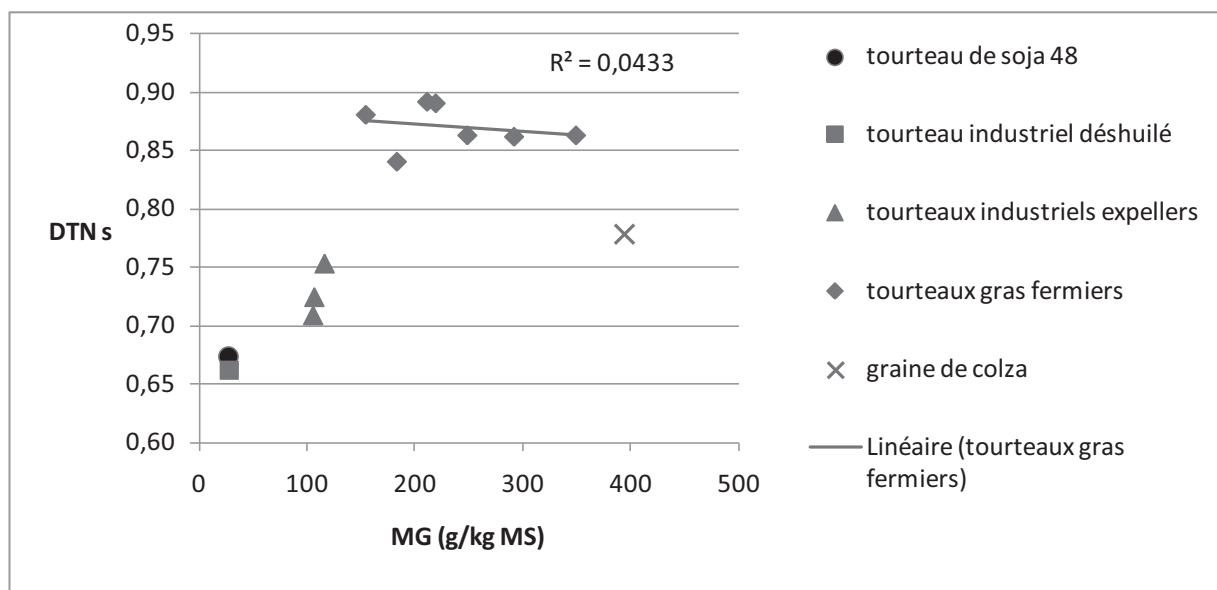
* valeurs du tourteau de soja 50

La DTNs des témoins colza (66% pour le tourteau de colza et 78% pour les graines de colza) a été proche des valeurs de tables INRA-AFZ (Sauvant et al., 2004) (respectivement 69% et 79%). Les témoins permettent de valider notre protocole expérimental. La valeur déterminée pour le tourteau de soja (67%) a été supérieure à la valeur des tables (63%), mais l'écart reste

dans une zone plausible de variabilité, eu égard à la diversité des provenances de tourteaux de soja.

La DTNs des tourteaux fermiers a été comprise entre 84 et 89%, avec une moyenne à 87%. Cette valeur de DTNs a été indépendante de la teneur en MG (graphique 6, $R^2=0,0439$) et supérieure à la valeur de DTNs de la graine.

La DTNs des tourteaux expellers a été comprise entre 71 et 75%, avec une moyenne à 73%. Le faible nombre d'échantillons (3) ne permettent pas d'établir une corrélation entre la MG et la DTNs des tourteaux expellers.



Graphique 6 : liaison entre teneur en MG et DTNs.

2.3. Détermination de la DE1, calcul de la DTNe (DTN enzymatique) et corrélation avec la DTNs.

Le tableau 13 reprend les DE1 pour les différents aliments, et les DTNe calculées

La DE1 des tourteaux gras fermiers se situe entre 0,55 et 0,75, la DE1 des tourteaux industriels expellers est comprise entre 0,41 et 0,50. Les DTNe obtenues sont comprises entre 0,82 et 0,88, les différences avec les DTNs sont faibles, comprises entre 0,3% et 3,3% (moyenne 1,2%) pour les tourteaux gras fermiers. Cette différence est plus élevée avec les tourteaux industriels expellers (entre 9,8% et 2,4% ; en moyenne 6,7%).

Tableau 17 : valeurs DE1 et DTN calculée à partir de la DE1 des différents aliments, et écart relatif entre les DTN mesurées *in sacco* et par méthode enzymatique

Aliments		DE1	DTNe	Différence DTNs- DTNe(%)
Tourteaux industriels expellers	1-Ext-Co	0,41	0,77	-8,1
	2-EpiSSg-Co	0,50	0,80	-9,8
	3-EpiAvg-Co	0,41	0,77	-2,4
	<i>Moyenne</i>	<i>0,44</i>	<i>0,78</i>	<i>-6,7</i>
Tourteaux gras fermiers	4-JCG-Co	0,71	0,88	-1,7
	6-SC-Co	0,74	0,89	-1,1
	7JMC-Co	0,65	0,86	0,6
	8-NT-Co	0,73	0,89	-2,9
	9-DR-Co	0,68	0,87	-3,3
	TX-5JPV	0,75	0,89	0,5
	TX-5JPV -11 °c	0,73	0,89	-0,4
	<i>Moyenne</i>	<i>0,71</i>	<i>0,88</i>	<i>1,2</i>
Témoins	Tourteau industriel déshuilé	0,17	0,69	-3,6
	Graine de colza	0,55	0,82	-5,2
	Tourteau de soja 48	0,38	0,65	3,0

2.4. Effet de la conservation en élevage.

Aucun effet de la conservation n'a été remarqué sur la DTNs (0,89 pour les deux échantillons TX-5) et sur la DE1 (0,73 et 0,75). Le tourteau est resté 3 mois en élevage. Cette absence d'effet devra être vérifiée avec d'autres échantillons conservés pendant 6 mois.

2.5. Valeurs PDI

Les valeurs PDI ont été calculées comme indiqué au paragraphe 1.3. de la partie bibliographique, avec la dr des tables (Sauvant et al., 2004), soit 79% pour les tourteaux de colza, 80% pour la graine de colza et 95% pour le tourteau de soja.

Tableau 18 : valeurs PDIA, PDIMN, PDIME (g/kg MS) calculées à partir des dégradabilités *in sacco* (indice s) et enzymatique (indice e) des différents aliments.

Aliments		PDIA _s	PDIMN _s	PDIME _s	PDIA _e	PDIMN _e	PDIME _e
Tourteaux expellers	1-Ext-Co	88	134	45	69	148	47
	2-EpiSSg-Co	80	132	44	57	148	48
	3-EpiAvg-Co	73	142	45	68	146	45
	Moyenne	81	136	44	65	147	46
Tourteaux fermiers	4-JCG-Co	31	126	36	27	128	36
	6-SC-Co	34	163	52	31	165	53
	7JMC-Co	31	125	42	32	125	42
	8-NT-Co	29	116	39	23	120	40
	9-DR-Co	40	136	47	33	141	48
	TX-5JPV	29	155	49	30	154	49
	TX-5JPV -11°C	29	154	49	28	156	49
	Moyenne	32	140	45	29	141	45
Tourteau industriel déshuilé		105	128	52	98	133	53
Graine de colza		35	78	16	33	80	17
Tourteau de soja 48		177	189	61	189	182	59

Les résultats des témoins (tourteaux de colza industriel, graine, tourteau de soja 48) sont inférieurs aux valeurs des tables (Sauvant et al., 2004 et INRA, 2007), sauf la valeur PDIE du tourteau de colza industriel déshuilé.

Les valeurs PDIN des tourteaux gras sont comprises entre 145 g/kg et 198 g/kg MS, et les valeurs PDIE entre 66 g/kg et 87 g/kg MS.

En accord avec les données INZO (2007), les tourteaux industriels expellers ont des valeurs PDIN proches des valeurs du tourteau industriel déshuilé malgré une teneur en matière grasse 2 à 3 fois supérieure, mais une valeur PDIE nettement plus faible (en moyenne 125 g/kg MS contre 158 pour le tourteau déshuilé).

Les tourteaux fermiers ont des valeurs PDI nettement inférieures aux tourteaux expellers même pour des teneurs en matière grasse similaires.

Pour les tourteaux gras fermiers, les valeurs PDI calculées à partir de la DE sont proches des valeurs PDI obtenues à partir de la DT. Les différences n'excèdent pas 2% avec une moyenne

de 0,3% pour les PDIN. Les différences sont plus élevées pour les PDIE avec une différence moyenne de 2,9% et des extrêmes à 1,1% et 7,7%.

Pour les tourteaux industriels expellers, les différences entre les valeurs de PDIN obtenues *in sacco* et par la méthode enzymatique sont assez faibles. Ces différences sont plus importantes pour les valeurs PDIE, comprises entre 4,2% et 15,2%, les fortes différences étant observées avec les tourteaux obtenus sans réintroduction de gommages.

Tableau 19 : valeurs PDIN, PDIE (g/kg MS) obtenues à partir de la dégradation *in sacco* et enzymatique de différents aliments.

Aliments		PDINs	PDIEs	PDINe	PDIEe	Différence PDIN (%)	Différence PDIE (%)	
Tourteaux expellers	1-Ext-Co	223	133	217	116	2,3	12,7	
	2-EpiSSg-Co	212	123	205	105	3,0	15,2	
	3-EpiAVg-Co	215	118	213	114	0,7	4,2	
	<i>Moyenne</i>	<i>217</i>	<i>125</i>	<i>212</i>	<i>114</i>	<i>2,0</i>	<i>10,8</i>	
Tourteaux fermiers	4-JCG-Co	157	66	156	64	0,6	4,6	
	6-SC-Co	198	86	197	84	0,4	3,0	
	7JMC-Co	156	73	157	74	-0,2	-1,5	
	8-NT-Co	145	68	143	64	1	7,1	
	9-DR-Co	175	87	174	81	1,1	7,3	
	TX-5JPV -11°C	184	78	184	79	-0,2	-1,3	
	TX-5JPV ambient	184	78	184	77	0,1	1,1	
	<i>Moyenne</i>	<i>171</i>	<i>77</i>	<i>171</i>	<i>75</i>	<i>0,4</i>	<i>2,9</i>	
Témoins	Tourteau industriel déshuilé	<i>in sacco</i>	233	158	232	151	0,9	4,4
		Sauvant et al, 2004	247	155				
	Graine de colza	<i>in sacco</i>	113	52	113	49	0,6	4,1
		Sauvant et al, 2004	130	66				
	Tourteau de soja 48	<i>in sacco</i>	366	238	371	248	-1,3	-4,5
		Sauvant et al, 2004	377	261				

3. Discussion.

3.1. Dégradabilité des tourteaux fermiers.

En l'absence de chauffage pour le pressage de ces tourteaux, on pouvait s'attendre à une DTN voisine de celle la graine (Doreau *et al.*, 2006). La DTNs élevée observée est difficile à expliquer, et il est difficile d'écarter des raisons méthodologiques tenant à la méthode de broyage. La graine n'a été broyée qu'une fois en laboratoire, alors que le tourteau a subi deux broyages (broyage pendant la trituration et rebroyage au laboratoire).

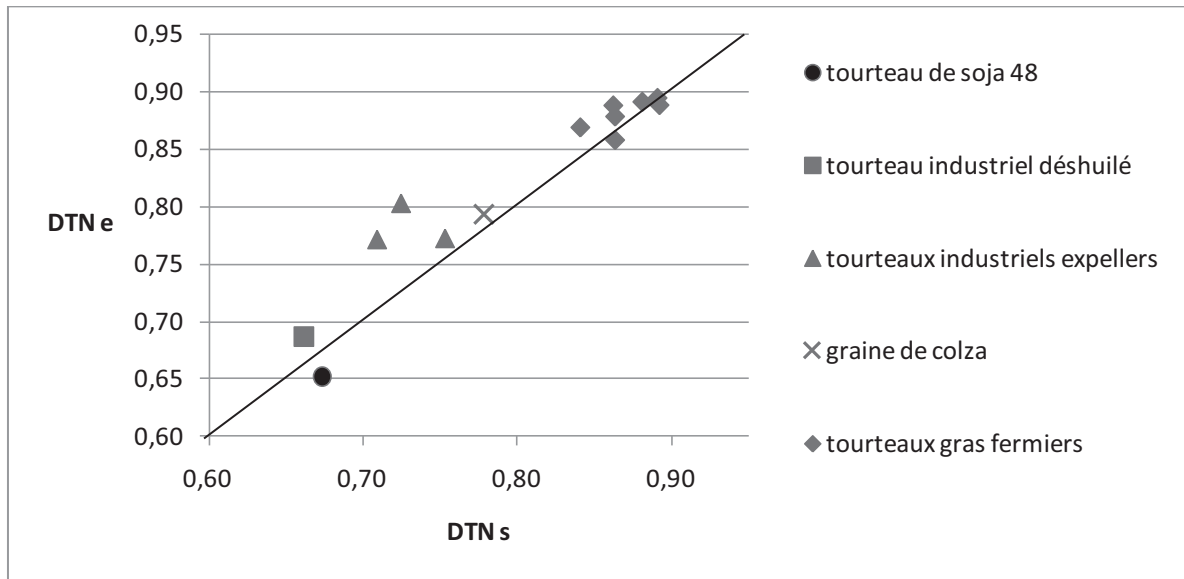
Ces valeurs sont en accord avec les valeurs de DTN trouvées par INZO (2007).

3.2. Dégradabilité des tourteaux expellers.

La dégradabilité des tourteaux expellers est intermédiaire entre le tourteau de colza industriel et la graine. Ce constat est relativement conforme aux attentes car le traitement thermique du process d'obtention des tourteaux industriels expellers est moins drastique pour la solubilité des protéines que le traitement hydrothermique (injection de vapeur) pratiqué pour la désolvantation des tourteaux industriels.

3.3. Liaison DE1-DTN.

La DE1 a permis une très bonne prédiction de la DTN des tourteaux fermiers (graphique 7), du tourteau industriel et de la graine de colza (différences inférieures à 3%, moyenne 0,5%). Par contre, elle a surestimé de 2 à 8% la DTN des tourteaux expellers. Il est difficile d'établir des équations de corrélation avec seulement trois échantillons, une nouvelle série d'analyses permettrait d'établir un nouveau Δ pour ce type d'aliment. Il est seulement possible d'observer que les tourteaux sans réintroduction de gommés (1-Ext-Co, 2-EpiSsg-Co) ont des différences DTNe - DTNs plus importantes que les valeurs du tourteau avec réintroduction de gommés (3-EpiAvg-Co). La présence de gommés pourrait influencer sur l'estimation de la DTN à partir de la DE, mais cette observation nécessite d'être confirmé par des essais incluant plusieurs échantillons de tourteaux industriel expellers avec et sans réintroduction de gommés.



Graphique 7 : liaison DTN *in sacco* et DTN calculée à partir de la DE1.

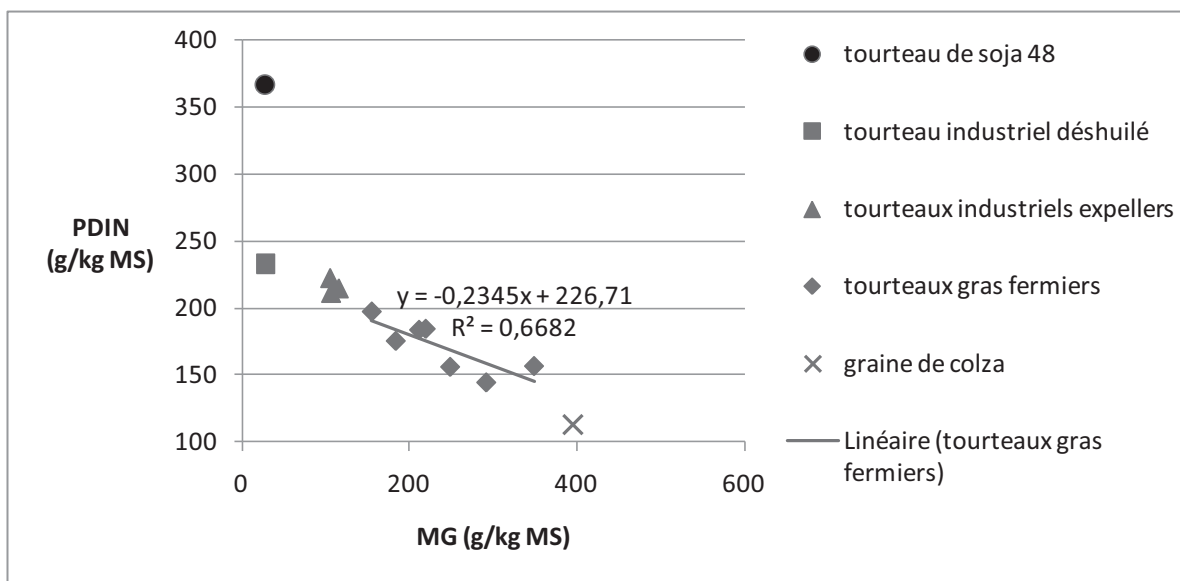
3.4. Valeurs PDI.

Les valeurs PDIMN et PDIME des tourteaux expellers et fermiers sont relativement proches (moyenne à 136 et 140 g/kg MS respectivement pour les PDIMN, 44 et 45 g/kg MS pour les PDIME). La différence des valeurs PDIN et PDIE entre les tourteaux expellers et fermiers s'explique par les écarts entre les valeurs PDIA (73 et 32 g/kg) : la forte DT et la faible teneur en MAT pénalisent les tourteaux fermiers.

3.4.1. Valeurs PDIN.

L'évaluation de la valeur PDIN des tourteaux gras fermiers avec la seule teneur en matière grasse ne peut être qu'approximative, l'équation obtenue à partir des résultats *in sacco* ayant un coefficient de détermination relativement faible.

$$\text{PDIN (g/kg MS)} = - 0,2347 \text{ MG (g/kg MS)} + 226,99 \text{ avec } R^2 = 0,668$$

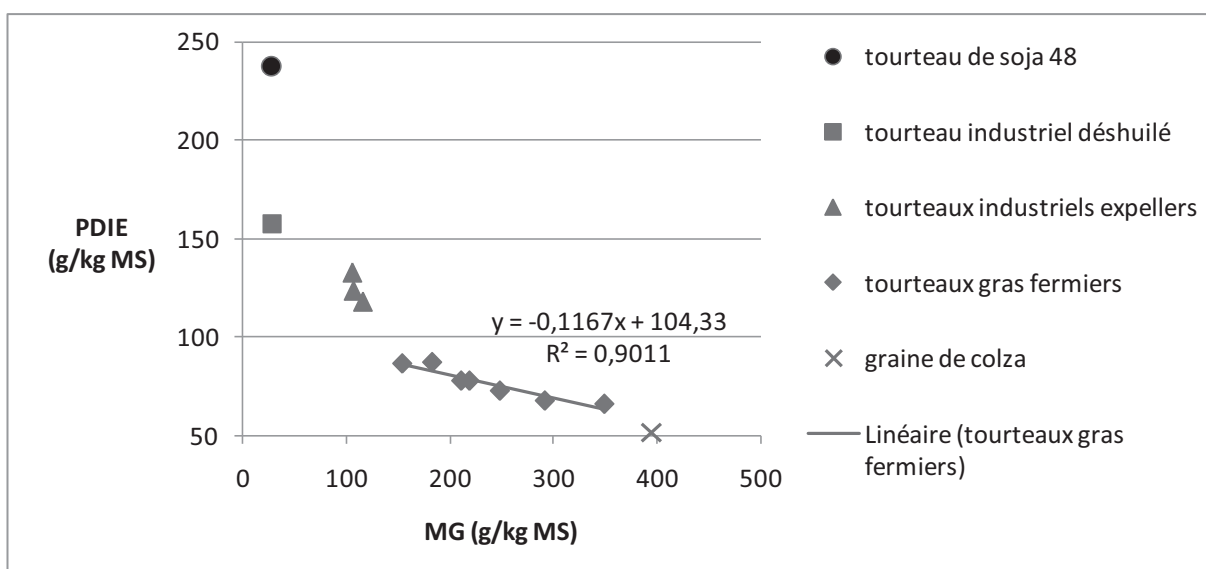


Graphique 8 : valeurs PDIN en fonction de la matière grasse

3.4.2. Valeurs PDIE.

Les valeurs PDIE des tourteaux gras fermiers sont fortement corrélées à la teneur en matière grasse ($R^2 = 0,90$). Les données obtenues à partir des expériences *in sacco* permettent de prédire la valeur PDIE à partir de la valeur de la matière grasse grâce à l'équation :

$$\text{PDIE (g/kg MS)} = -0,1171 \text{ MG (g/kg MS)} + 104,79 \text{ avec } R^2 = 0,9102$$



Graphique 9 : valeurs PDIE en fonction de la matière grasse.

3.5. Effet du mode de conservation sur les valeurs PDI.

Tout comme pour les valeurs DTN, peu d'effets du mode de conservation ont été remarqués sur les valeurs PDIN et PDIE. Ces effets n'ont cependant été mesurés que pour une conservation de 3 mois. D'autres essais seront nécessaires pour généraliser cette observation à des périodes de conservation plus longues en se limitant à 6 mois (période de conservation maximale en ferme, Veau et al., 2006).

3.6. Incorporation des tourteaux gras dans l'alimentation animale.

Les faibles valeurs PDI des tourteaux gras de colza fermiers leur confèrent une faible valeur protéique pour un correcteur azoté. En prenant la valeur moyenne PDIN des tourteaux gras fermiers (171 g/kg MS) et la valeur PDIN du tourteau de soja des tables INRA 2007 (377 g/kg MS), 2,2 kg de tourteau de colza fermier sont nécessaires pour substituer 1 kg de tourteau de soja. Leur forte teneur en matière grasse ne permet pas une forte incorporation dans la ration de bovins. Il paraît donc difficile de n'utiliser que du tourteau de colza fermier comme correcteur azoté de rations pour vaches laitières. Pour ne pas dépasser la limite de 5% de matière grasse dans une ration de vache laitière, l'incorporation de tourteaux gras à 18% de matière grasse doit être inférieure à 3 kg/vache/jour. L'utilisation de tourteau gras à 18% de matière grasse ne permet alors de substituer qu'1,4 kg de tourteau de soja 48. Cette quantité paraît faible pour compléter des rations de base déficitaires en protéines comme des rations à base d'ensilage de maïs, qui nécessitent en moyenne 3 kg de tourteau de soja comme correcteur azoté.

Les plus faibles besoins en protéines des vaches allaitantes permettent l'incorporation des tourteaux gras de colza comme seul correcteur azoté dans des rations de stabulation type (foin + céréales).

3.7. Intérêt de la mesure de la dégradabilité enzymatique des tourteaux gras pour la détermination de leurs valeurs azotées.

L'estimation des valeurs PDIN et PDIE calculée à partir de la DTe permet d'approcher très précisément les valeurs PDIs pour les tourteaux fermiers ($R^2 = 0,98$).

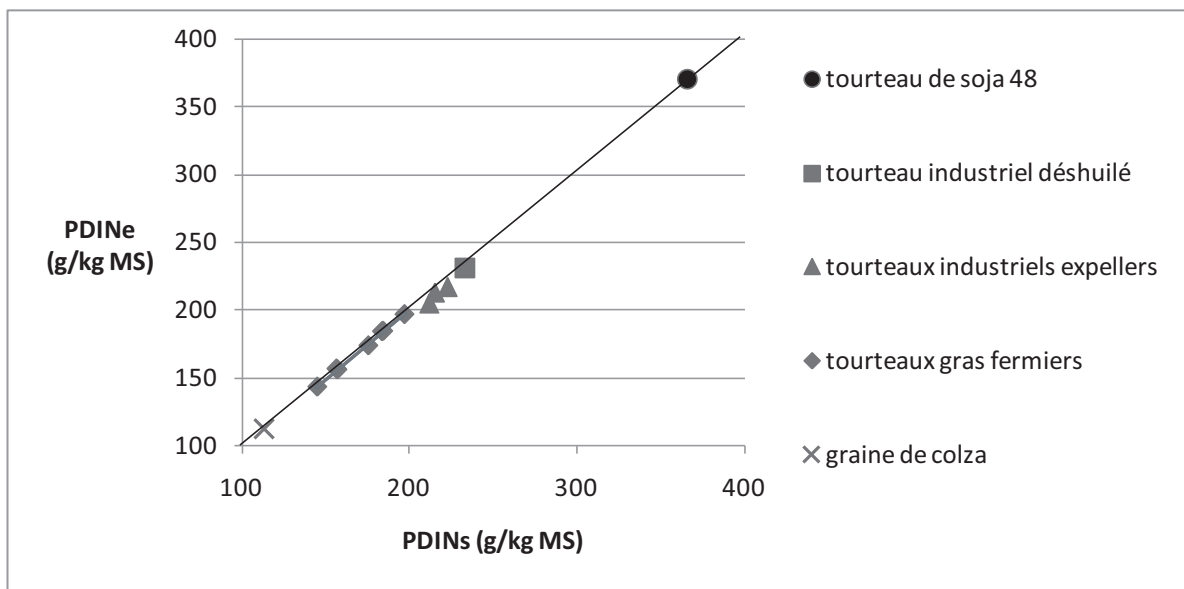
La prédiction de la valeur PDIN des tourteaux industriels expellers à partir de la DE1 permet une bonne approche de la valeur PDINs. Cette prédiction est néanmoins plus éloignée de la

valeur obtenue *in sacco* pour les PDIE. En effet, la DE1 surestime la dégradabilité de l'azote. Cette surestimation entraîne une valeur PDIAe plus faible que PDIA_s (cf tableau 17). Cette différence est compensée dans le calcul de la valeur PDIN par une plus forte valeur de PDIMNe que PDIMNs. Cette compensation n'existe pas dans le calcul des PDIE puisque la valeur de DTN influe très peu sur la valeur de PDIME. Les valeurs PDIE des tourteaux expellers sont donc sous-estimées par la dégradation enzymatique, la différence avec la méthode *in sacco* est en moyenne de 10%, soit environ 12g/kg.

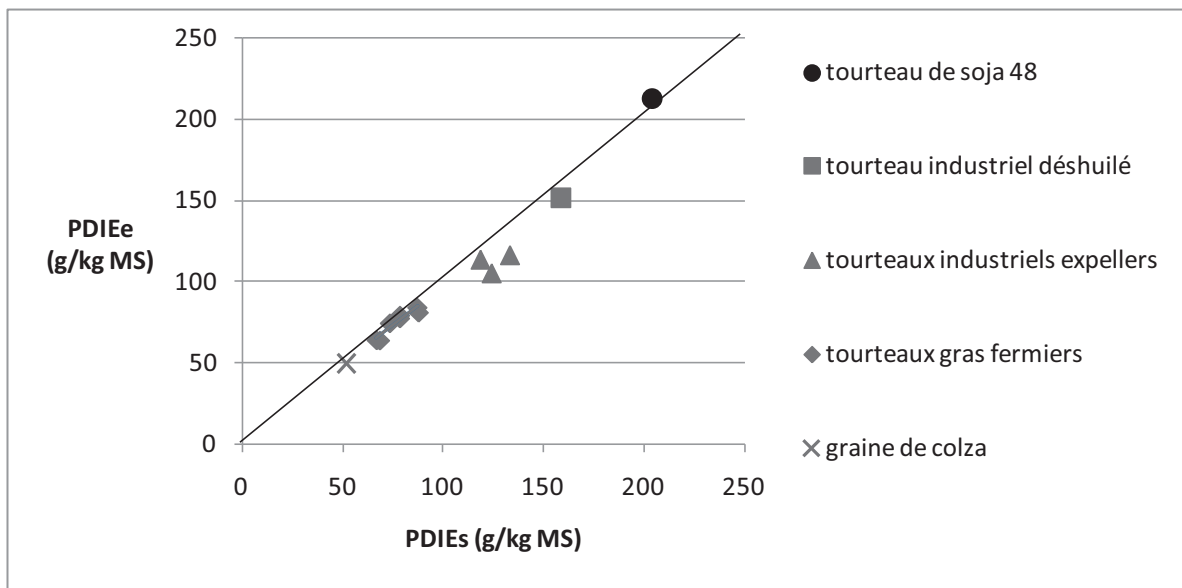
L'établissement d'un nouveau Δ pour les tourteaux industriels expellers de colza dans l'équation

$$DT = 0.36 * DE_1 + 0.479 + \Delta$$

permettrait une meilleure prédiction de la DT, et par conséquent une meilleure prédiction de la valeur PDI. Le faible nombre d'échantillons dans cet essai ne permet cependant pas d'établir ce nouveau Δ .



Graphique 10 : liaison entre les valeurs PDIN obtenues à partir de la DT *in sacco* ou enzymatique.



Graphique 11 : liaison entre les valeurs des PDIE obtenues à partir de la DT *in sacco* ou enzymatique.

Conclusion

La dégradabilité des tourteaux de colza gras fermiers est supérieure à la dégradabilité de la graine, elle est indépendante de la teneur en matière grasse. Cette forte dégradabilité, et donc des valeurs PDI faibles, est un facteur limitant supplémentaire à son utilisation dans des rations pour ruminants, le premier facteur limitant étant la forte teneur en matière grasse. L'équation de prédiction de DTN à partir de DE avec l'équation proposée pour les tourteaux de colza industriel semble satisfaisant pour une bonne évaluation des valeurs PDI.

La dégradabilité mesurée sur 3 échantillons de tourteaux expellers est comprise entre celle des tourteaux industriels et de la graine. Ces valeurs PDI proches des valeurs d'un tourteau de colza industriel leur confèrent une valeur protéique intéressante pour l'utilisation dans l'alimentation de bovins laitiers. De plus les tourteaux expellers possèdent une valeur énergétique supérieure à celle des tourteaux industriels, compte tenu de leur quantité de matière grasse résiduelle. Cette teneur en matière grasse reste tout de même assez faible pour ne pas entraîner des problèmes d'excès de matière grasse dans la ration. Cependant l'équation proposée par l'INRA pour calculer la DTN à partir de la DE des tourteaux industriels déshuilés, satisfaisante pour les tourteaux gras fermiers, paraît perfectible pour les tourteaux industriels expellers pour approcher la valeur PDIE au mieux.

Les réformes PAC 2010 mettent en œuvre une aide à la diversification de l'assolement. Pour cela, l'assolement doit comporter 4 cultures différentes avec pour chacune une surface minimale de 5% de la SCOP (surfaces en céréales, oléagineux et protéagineux). La mise en culture de 5% de la SCOP en oléagineux donne droit à une prime. La culture du colza présente l'avantage d'être un facteur de diversification des rotations, ce qui se traduit par des rendements améliorés des céréales. On observe également une diminution globale des problèmes sanitaires et donc des coûts de produits phytosanitaires (CETIOM, 2009). Le calendrier de culture du colza et notamment la date de semis s'intercale bien avec celui des autres types d'assolement. Ces nouvelles réformes PAC favorisent donc la culture du colza et donc la fabrication de tourteaux de colza.

Cette incitation financière couplée à la méfiance de la population sur le tourteau de soja OGM largement importé en France plaide en faveur de la mise en place de colza dans l'assolement des agriculteurs français et dans l'alimentation de leurs animaux.

Au vu des valeurs protéiques, seuls les tourteaux industriels expellers présentent un intérêt en tant que correcteur azoté dans des rations de vaches laitières. Les tourteaux gras fermiers peuvent trouver leur place dans des rations de vaches allaitantes, pour lesquelles les déficits en protéines sont en général plus faibles que pour des vaches laitières.

Bibliographie

1. ADEME, 2004. Huile végétale pure et tourteaux – Comment les produire et les utiliser ?
2. Anonyme. 2009. CETIOM. Atouts du colza : agronomie et environnement. <http://www.cetiom.fr/index.php?id=11977>. 4 p.
3. Anonyme. Du tourteau de colza dans la ration. 2008. *Agriculture Drômoise*. 1826 : 5.
4. AUFRERE J., CARTAILLER D. 1988. Mise au point d'une méthode de laboratoire de prévision de la dégradabilité des protéines alimentaires des aliments concentrés dans le rumen. *Ann. Zoot.* 37, 255-270.
5. AUFRERE, J., D. GRAVIOU, C. DEMARQUILLY, R. VERITE, B. MICHALET-DOREAU, P. CHAPOULOT. 1989. Aliments concentrés pour ruminants : prévision de la valeur azotée PDI à partir d'une méthode enzymatique standardisée. *INRA Prod. Anim.* 2 , 249-254.
6. BERTIN, M-A., D. BASTIEN, F. CHAIGNEAU, J. MOLLE, A. JOULIE. 2008. Valorisation des tourteaux fermiers de colza en production de viande bovine – Essai sur jeunes bovins charolais. Compte-rendu de synthèse des essais réalisés à la Station des Etablières. *Institut de l'élevage, chambre d'agriculture de la Vendée, station des Etablières, chambre régionale d'agriculture des Pays de la Loire*. 33 p.
7. BRUNSCHWIG, P. 2006. Produire son correcteur azoté - Les vaches laitières valorisent bien les tourteaux de colza fermiers. *Cap élevage n°1*. 12-13 p.
8. BRUNSCHWIG, Ph., J.-M. LAMY, A. QUINSAC, C. PEYRONNET, P. CARRÉ. 2005. Valorisation de tourteaux de colza artisanaux dans des rations pour vaches laitières. *Rencontres Recherche Ruminants*. 121.

9. BRUNSCHWIG, PH., J-M. LAMY. 2006. Valorisation de tourteaux de colza fermiers dans des rations pour vaches laitières. *Rencontre Recherche Ruminants*. 13 :124.
10. BRUNSCHWIG, PH., J-M. LAMY. 2006. Production de diester à la ferme : possibilités et conséquences de la production et de l'utilisation des tourteaux produits. *Journées AFPF-Prairies, élevage, consommation d'énergie*. 139-146 p.
11. BRUNSCHWIG, PH., JP. FARRIE, L. SAGOT, MC. LECLERC, G. BRANDON, G. CABON. 2008. Les tourteaux gras pour les ruminants – Mode d'emploi. Institut de l'élevage, Arvalis.
12. BRUNSCHWIG, PH., L.ALLIBERT. 2007. Production et utilisation de tourteaux gras fermiers : le cas du pressage de colza à la ferme. Journées AFTAA « les coproduits des *biocarburants*».
13. CARRE P. 2006. Trituration et huilerie. *ADEME – journées techniques*.
14. Centre de ressources sur les semences et les espèces végétales. Intérêts agronomiques et économiques du colza. 2007. <http://www.gnis-pedagogie.org/pages/colza/6.htm>.
15. CETIOM. 2008. Stockage à la ferme des oléagineux. *Fiche technique : 1 p*.
16. Chambre d'agriculture 31. 2009. Prévoir son assolement : aides disponibles en 2010. <http://www.agriculture31.com/IMG/pdf/panneau-pac-3.pdf>.
17. CHAPUIS, D., PH.BRUNSCHWIG, N.DELPOUVE, S. TRELAT. Année ? Utilisation de tourteau de colza fermier comme unique correcteur de ration pour vaches laitières. *Rencontre Recherche Ruminants*. 13 : 130.
18. CHILLIARD, Y., A. FERLAY, 2004. Dietary lipids and forages interactions on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties. *Reproduction. Nutrition. Développement*. 44 : 467-492.

19. DOREAU, M., C.PEYRONNET, Ph. BRUNSCHWIG, A. QUINSAC, D. SAUVANT 2006. Evaluation de la valeur énergétique et azotée des tourteaux gras à partir des valeurs tabulées des graines et des tourteaux classiques. *Rencontre Recherche Ruminants*. 13 : 108.
20. EYNARD, P. 2002. Etude *in vitro* de la biohydrogénation ruminale des acides gras d'un mélange graine de colza-tourteau de colza et de la graine de soja chez la vache laitière : influence de l'extrusion. *Thèse vétérinaire, ENVT, 75p.*
21. HOUSSIN, B., F.CHENAIS, C. PEYRONNET, A. HARDY. 2006. Utilisation de tourteaux gras de colza par les vaches laitières sur les rations foin ventilé et maïs ensilage - Influence sur les performances zootechniques et sur la composition de la matière grasse du lait. *Prairiales normandes*.
22. INRA. 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins – Besoins des animaux – Valeurs des aliments. *INRA Editions Quae : 307 p.*
23. INZO. 2007. Tourteaux de colza gras : cinétique de dégradation *in sacco*. *Recherche Développement Ruminants*.
24. JOSSART, JM., P. NIJSKENS, M-S. REMACLE. 2005. Les biocarburants en Wallonie. *Valbiom.117 p.*
25. LARBERGERE, C. 2006. Les tourteaux gras ou tourteaux expellers et leur valorisation en alimentation animale. *CETIOM, Service Valorisation et Transformation des graines. 67 p.*
26. LAUGE, V., L. ALIBERT. 2006. Le tourteau de colza gras : Etat des lieux et approche technico-économique en élevage porcin. *ENSAT, IFIP, mémoire de fin d'études.86 p.*
27. LEFRILEUX, Y., A. POMMARET. 2008 Utilisation du tourteau gras de colza chez la chèvre laitière : incidences zootechniques et impacts sur la transformation fromagère. *Rencontres Recherches Ruminants. 15 : 296.*

28. MANDIKI, S.N.M., JL. BISTER, G. DERYCKE, N. MABON, JP. WATHELET, M. MARLIER, R. PAQUAY. 1999. Potentialités du tourteau de colza pour l'engraissement des ruminants : performances zootechniques, sécrétions hormonales et devenir des substances anti-nutritionnelles. *Rencontre Recherche Ruminants*. (6), 151-154.
29. MANDIKI, S.N.M., JL. BISTER, G. DERYCKE, N. MABON, JP. WATHELET, M. MARLIER, R. PAQUAY. 2000. Les potentialités du tourteau de colza pour l'engraissement de jeunes ruminants. *Presses Universitaires de Namur*. 23-54.
30. MAYOMBO, AP., P. BALDWIN, JP. WATHELET, M. MARLIER, L. ISTASSE. 1997. Incorporation de tourteau de colza obtenu par pression dans une ration d'engraissement chez le taurillon. I. Ingestion, digestibilité et fermentation dans le rumen. *Annales Zootechnie*. 46, 57-70.
31. MICHALET-DOREAU B., VERITE R., CHAPOUTOT P. 1987. Méthodologie de la mesure *in sacco* de l'azote des aliments dans le rumen. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA*, 69, 5-7.
32. NOVAK, M-H., J-M. JOSSART. 2004. Diversification agricole : guide pour la production et les débouchés d'huile et de tourteau de colza à la ferme. Valbiom. 31-32.
33. ORSKOV, E.R., J. Mc DONALD. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci. Camb.* 92, 499-503.
34. QUINSAC, A. 2005. Le tannage thermique des tourteaux de colza, alternative au traitement chimique. *CETIOM, Rapports d'activité*. 39-40.
35. QUINSAC, A., P. BRUNSCHWIG, P. CARRE, J. EVRARD, JP. LOISON, C. PEYRONNET. 2005. Development of processes for partial de-oiling of rapeseed for dairy cows feeding. *ISF Congress, Prague, September 26-28*.

36. QUINSAC, A., P. BRUNSCHWIG, P. CARRE, J. EVRARD, JP. LOISON, K. CREPON, C. PEYRONNET, JC. SOURIE. 2007. Du tourteau de colza pour une filière tracée en élevage laitier. *Oléoscope n°88*.
37. QUINSAC, A., P. CARRE, K. CREPON, J. EVRARD, C. LABERGERE, JP. LOISON, C. PEYRONNET. 2007. Utilisation des tourteaux gras de colza et tournesol à la ferme. *CETIOM, Oléoscope n°85*.
38. SAUVANT, D., J-M PEREZ, G. TRAN. 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. *INRA Edition-AFZ : 301p*.
39. VALBIOM. 2006. Fiche colza 07 : Les qualités nutritives du tourteau de colza gras. *Faculté des sciences agronomiques de Gembloux*.
40. VEAU, C., M-C. LECLERC, J. LUCBERT. 2006. Etat des lieux sur la fabrication, le stockage et l'utilisation des tourteaux gras fermiers de colza et de tournesol pour l'alimentation des bovins : résultats d'enquêtes. *Institut de l'élevage, département techniques d'élevage et qualité service traite et conduite des troupeaux laitiers. 72 p*.
41. VERITE, R., B. MICHALET-DOREAU, P. CHAPOUTOT, J.L. PEYRAUD, C. PONCET. 1987. Révision du système des Protéines Digestibles dans l'Intestin (P.D.I.). *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. (70) 19-34*.
42. VERITE, R., C. DEMARQUILLY. 1978. Qualité des matières azotées des aliments pour ruminants. *La vache laitière. INRA p 143-147*.
43. VERITE, R., D. SAUVANT. 1981. Prévision de la valeur nutritive des aliments des Ruminants. *Ed. INRA. 279-296*.
44. WATHELET, JP., L. ISTASSE, AP. MAYOMBO, M. MARLIER. 1997. Incorporation de tourteau de colza obtenu par pression dans une ration d'engraissement chez les taurillons. II. Les glucosinolates et leurs dérivés dans le rumen. *Ann. Zoo.. 46, 71-79*.

Toulouse, 2010

NOM : BENDAILH

Prénom : Fabien

TITRE : DEGRADABILITE DE L'AZOTE DE TOURTEAUX GRAS DE COLZA OBTENUS PAR PRESSAGE A CHAUD OU A FROID.

RESUME : Suite à l'autorisation d'utiliser de l'huile végétale comme carburant agricole, des éleveurs se sont équipés de presses permettant d'extraire l'huile des graines de colza. Le coproduit de cette extraction est un tourteau dit gras. Les dégradabilités théorique de l'azote (DTN) et enzymatique de l'azote ont été mesurée sur six échantillons de tourteau gras fermier, trois tourteaux industriels expellers, un tourteau industriel déshuilé et de la graine de colza. La méthode enzymatique a conduit à une DTN supérieure en moyenne de 2,1% à la méthode *in sacco*. *In sacco*, la DTN des tourteaux industriels expellers a été comprise entre 71 et 75%. Cette valeur est intermédiaire entre la valeur de la graine et celle du tourteau déshuilé. Par contre, la DTN des tourteaux gras fermiers a été comprise entre 84 et 89%, sensiblement supérieur à la valeur mesurée pour la graine. Cette DTN élevée peut constituer un facteur limitant pour la valorisation des protéines des tourteaux gras, conduisant à ne les utiliser qu'en complément de rations de base pauvres en azote dégradable (type ensilage de maïs), et en quantité limitée.

MOTS-CLES : DEGRADABILITE THEORIQUE/ ENZYMATIQUE/ TOURTEAUX GRAS/ COLZA/ PRESSION A FROID.

ENGLISH TITLE : AZOTE DEGRADABILITY OF RAPESEED MEAL OBTAINED BY HOT OR COLD PRESSURE.

ABSTRACT : After the authorization to use vegetal oil in fuel, the farmers bought oil presses to extract rapeseed oil. The other extraction product is a fat seed meal. The nitrogen theoretic (DTN) and enzymatic degradabilities were measured on six fat rapeseed meal samples, three industrial expeller rapeseed meal, a free-fat industrial rapeseed meal and whole rapeseed. The enzymatic method resulted in a DTN estimation higher than the *in sacco* method (average 2,1%). *In sacco*, the expeller industrial seed meal DTN were included between 71 and 75%, middle between rapeseed and fat-free rapeseed values. However, DTN of fat meals was between 84 and 89 %, upper than rapeseed value. The high DTN could be a limiting factor to the fat rapeseed meal protein valorization, limiting their utilization in complement of ration with low nitrogen level and in limited quantities.

KEYWORDS : THEORIC DEGRADABILITY/ ENZYMATIC/ FAT RAPESEED MEAL/ COLD PRESSURE.