

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا للعلوم الفلاحية الحراش- الجزائر  
Ecole Nationale Supérieure Agronomique D'El Harrach- Alger

## THÈSE

Présentée pour obtenir le doctorat en sciences agronomiques  
Option : sciences animales

## THÈME

**Valorisation des rebuts de dattes (*Phoenix dactylifera*, L.) dans des blocs multinutritionnels : formulation, caractérisation physique et valeur alimentaire pour l'ovin.**

Présentée et soutenu le 12 /03/2015

Par

Brahim HADJSMAIL

### Jury

<b>Président</b>	Mr.Bellal MM.	Professeur. ENSA
<b>Directrice de thèse</b>	Mme.Chabaca R.	Professeur. ENSA

### Examineurs :

Mr. ABBAS K.	Directeur de recherches. INRAA
Mr. Amara M.	Professeur. ENSA
Mr. Hamdi T.M.	Professeur. ENSV

**Année universitaire : 2014/2015**

## Dédicace

Je dédie ce travail :

À mes chères parents, mes frères qui n'ont cessé de me soutenir moralement et matériellement,

À toute ma famille,

A tous les collègues que j'ai connus.

**B. HADJSMAIL.**

## Remerciements

Au nom d'Allah le Clément et le Miséricordieux qui par sa grâce, j'ai pu réaliser cette thèse.

Le travail de recherche a été effectué sur deux sites : Au département de Zootechnie de l'Ecole National Supérieure Agronomique (ENSA) d'Alger pour toute la partie formulation, analyse chimique, études biologiques (Digestibilité, ingestibilité, valeur nutritionnelle et performances zootechniques) et à l'UMR IATE (Ingénierie des Agropolymères et Technologies Emergentes), INRA Montpellier-France, pour toute la partie technologique (granulométrie, cartographie de l'homogénéité, dureté des blocs et l'établissement du plan de mélange).

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma sincère reconnaissance à Madame Chabaca, Professeur à l'INA, pour avoir accepté de diriger ce travail avec patience et compétence, pour son aide précieuse et ses encouragements qu'elle n'a cessé de me prodiguer tout au long de l'élaboration de cette thèse, qu'elle trouve ici, toute ma gratitude et mon profond respect.

Je remercie infiniment Monsieur Mabilie Frédéric, chargé de recherche à l'INRA pour m'avoir accueilli dans son laboratoire, guidé et suivi durant toute la durée de mon stage. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Ma reconnaissance va également à Monsieur Larwence ancien Professeur à l'INA, Professeur à l'Institut des régions chaudes de Montpellier qui par ses responsabilités a facilité mon insertion et m'a soutenu dans mon projet.

Je tiens à remercier tout particulièrement et à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes :

-Monsieur Bellal MM. pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury,

-Monsieur Amara M. qui a accepté de faire partie du jury,

-Monsieur Abbas K. et Hamdi TM qui ont bien voulu examiner ce travail.

Mes remerciements s'adressent aussi à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation, en particulier ceux du département de zootechnie et à Ammi-Chabane, bibliothécaire du département de zootechnie et à Monsieur Philippe Alexis (ingénieur conseil) pour son aide dans l'analyse du plan de mélanges,

Enfin, je remercie toutes les personnes qui m'ont aidé de loin ou de près pour la réalisation de ce travail.

# Table des matières

Liste des abbréviations.....	1
Liste des figures.....	3
Liste des tableaux.....	5
liste des annexes.....	6
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>7</b>
oContexte général mondial et algérien.....	7
oLes blocs multnutritonnels.....	9
oLes composants des blocs multnutritionnels .....	10
oLes sources de glucides fermentescibles.....	12
oTechnologie de fabrication des blocs multnutritionnels.....	13
oRésultats zootechniques obtenus dans le monde avec les blocs multnutritionnels .....	14
<b>PARTIE 1 : MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>17</b>
<b>Chapitre 1. Ingrédients, fabrication des blocs et caractérisation .....</b>	<b>17</b>
<b>1. Ingrédients de fabrication des blocs .....</b>	<b>17</b>
1.1. Rebut de dattes.....	17
1.2. Caractéristiques des ingrédients de fabrication utilisés.....	18
<b>2. Fabrication des blocs.....</b>	<b>18</b>
<b>3. Caractérisation du bloc mère et des pastilles.....</b>	<b>21</b>
3.1. Granulométrie des particules de dattes.....	21
3.2. Cinétique de séchage du bloc mère et des pastilles.....	21
3.3. Dureté des blocs.....	22
3.3.1. Justification observatoire et positionnement théorique.....	22
3.3.2. Mesure de la dureté des blocs.....	23
3.4. Appréciation de l'homogénéité des blocs .....	26
3.5. Réalisation du plan de mélange.....	26
<b>Chapitre 2. Mesures Zootechniques .....</b>	<b>29</b>
<b>Essai 1 : Caractérisation physique et chimiques des aliments et mesure de l'acceptation des blocs chez l'ovine .....</b>	<b>29</b>
1. Fabrication des blocs .....	29
2. Mesures chimique .....	31
3. Mesures physiques .....	31
4. Mesures biologiques.....	31



Essai 2 : Valeur nutritionnelle des Blocs.....	32
1. Préparation des blocs et mesures chimiques .....	32
2. Mesures biologiques.....	32
Essai 3 : Performances de croissance.....	34
1. Mesures biologiques.....	34
2. Performances de croissance.....	35
Chapitre 3. Analyse statistique des résultats .....	35
<b>PARTIE 2 : RESULTATS.....</b>	<b>39</b>
Chapitre 1 : Caractérisation des blocs .....	39
1. Granulométrie des rebuts de dattes .....	39
2. Cinétique de séchage du bloc mère .....	41
3. Dureté du bloc mère en surface .....	42
4. Cartographie de la dureté du bloc mère en surface et en profondeur .....	44
5. Caractérisation physique des pastilles .....	49
6. Cartographie des pastilles .....	52
7. Dureté moyenne des pastilles en surface et en profondeur.....	52
Chapitre 2. Essai de prédiction des caractéristiques physiques du bloc mère.....	53
1. Prédire la MS bloc mère à partir de la MS pastille .....	54
2. Prédire la dureté du bloc à partir de sa propre MS .....	55
3. Dureté de la pastille en fonction de sa MS .....	57
4. Dureté du bloc mère en fonction de la MS pastille.....	59
Chapitre 3. Analyse du plan de mélanges .....	62
1. Résultats mesurés de dureté et de MS des pastilles .....	62
2. Positionnement du domaine d'étude dans le plan de mélange ABC .....	63
3. Recherche de modèles appropriés à notre étude .....	64
4. Exploitation des modèles en surfaces de réponses.....	64
Chapitre 4. Résultats zootechniques.....	67
Essai 1 : Caractérisation physique et chimiques des aliments et mesure de l'acceptation des blocs chez l'ovin.....	67
Essai 2 : Valeur nutritionnelle des Blocs .....	71
Essai 3. Performance de croissance permise par les BMN.....	77
<b>PARTIE 3 : DISCUSSION .....</b>	<b>82</b>
1. Quelle compréhension des paramètres de caractérisation des blocs ? .....	82

2. Le plan de mélange.....	86
CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	89
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	91
ANNEXES.....	97
RESUMES .....	115

## Liste des abréviations

<b>N</b>	Nord
<b>ADF</b>	Acide détergent fibre
<b>BASF</b>	BadischAnilin- of Soda-Fabrik
<b>ADL</b>	Acide détergent lignine
<b>ADN</b>	Acide désoxyribonucléique
<b>ARN</b>	Acide ribonucléique
<b>Al</b>	Animal
<b>ATP</b>	Adénosine triphosphate
<b>BMN</b>	Bloc multinutritionnel
<b>BN</b>	Bilan azoté
<b>C</b>	Concentré
<b>CaHPO<sub>4</sub></b>	Phosphate mono calcique
<b>CaSO<sub>4</sub></b>	Sulfate de calcium
<b>CB</b>	Cellulose brute
<b>Cm</b>	Centimètre
<b>CM</b>	Croissance microbienne
<b>CMV</b>	Complément minéral vitaminique
<b>CUD</b>	Coefficient d'utilisation digestif
<b>CUDa</b>	Coefficient d'utilisation digestif apparent
<b>CUDc</b>	Coefficient d'utilisation digestif de concentré
<b>CUDp</b>	Coefficient d'utilisation digestif de la paille
<b>CUDr</b>	Coefficient d'utilisation digestif de la ration
<b>CV</b>	Cellulose vraie
<b>d MO</b>	Digestibilité de la matière organique
<b>Ddl</b>	Degré de liberté
<b>E</b>	Énergie
<b>EB</b>	Eau bue
<b>ENA</b>	Extractif non azoté
<b>F</b>	Force appliquée
<b>FAO</b>	Food Agriculture Organisation
<b>G</b>	Gramme
<b>GMQ</b>	Gain moyen quotidien
<b>H</b>	Heure
<b>Hem</b>	Hémicellulose
<b>I</b>	Iode
<b>IAEA</b>	International agence of energie atomic
<b>INA</b>	Institut National Agronomique
<b>INRA</b>	Institut National de la Recherche Agronomique
<b>Kcal</b>	Kilocalorie
<b>Lagtime</b>	Temps de latence
<b>LATRACO</b>	Lazaret Transit et Activités Connexes
<b>LIGN</b>	Lignine
<b>MADI</b>	Matières azotées digestibles ingérées
<b>MAT</b>	Matières azotées totales
<b>Max</b>	Maximal
<b>M-E</b>	Micro éléments
<b>MG</b>	Matière grasse
<b>MgO</b>	Oxyde de magnésium
<b>MI</b>	Millilitre
<b>MM</b>	Matière Minérale
<b>mm</b>	Millimètre
<b>MO</b>	Matière organique
<b>MODI</b>	Matière organique digestible ingérée
<b>MOI</b>	Matière organique ingérée

<b>Moy</b>	Moyenne
<b>MS</b>	Matière sèche
<b>MSI</b>	Matière sèche ingérée
<b>MSR</b>	Matière sèche refusée
<b>Na Cl</b>	Chlorure de sodium
<b>NA e</b>	Niveau alimentaire énergétique
<b>NA n</b>	Niveau alimentaire azoté
<b>NDF</b>	Neutral detergent fiber
<b>NE</b>	Azote excrété
<b>NF</b>	Azote fécal
<b>NI</b>	Azote ingéré
<b>NR</b>	Azote retenu
<b>NU</b>	Azote urinaire
<b>ONAB</b>	Office National d'Aliment du Bétail
<b>P</b>	Phosphore
<b>PV</b>	Poids vif
<b>QE</b>	Quantité excrétée
<b>QI</b>	Quantité ingérée
<b>QI BMN/C</b>	Quantité ingérée de bloc multinationnels ou de concentré
<b>QI MSD</b>	Quantité de matière sèche ingérée
<b>QIP</b>	Quantité ingérée de paille
<b>QIRT</b>	Quantité ingérée de ration totale
<b>R</b>	Coefficient de corrélation
<b>R<sup>2</sup></b>	Coefficient de détermination
<b>S</b>	surface subie
<b>SAU</b>	Surface agricole utile
<b>T</b>	Toxine
<b>TD</b>	Taux de dilution
<b>Temp.</b>	Température
<b>UEA</b>	Union émirats arabes
<b>UF</b>	Unité fourragère
<b>p<sup>0.75</sup></b>	Poids métabolique
<b>PEG 4000</b>	Poly Éthylène Glycol 4000

## Liste des figures

Figure 1. Coupe transversale de bloc issu d'essais préliminaire .....	18
Figure 2. Schéma de fabrication des blocs .....	20
Figure 3. Papilles gustatives de langue de mouton (source : Vetopsy, 2009). .....	22
Figure 4. Texturomètre type ZwickRoell avec son système de control testXpert ®.....	24
Figure 5. Dispositif manuelle de découpe .....	25
Figure 6. Profile de coupe d'une pastille.....	25
Figure 7. Répartition des points de mesure .....	26
Figure 8. Points de la périphérie et du centre. ....	26
Figure 9. Représentation du domaine expérimental .....	28
Figure 10. Scène de moulage de blocs .....	30
Figure 11. Blocs démoulés en cours de séchage .....	31
Figure 12. Distribution granulométriques des rebuts de dattes .....	40
Figure 13. Cinétique de séchage du bloc mère.....	41
Figure 14. Evolution des différentes duretés du bloc mère pour les 10 temps de séchages.....	42
Figure 15. Evolution de la dureté moyenne du bloc mère en surface. ....	43
Figure 16. Cinétique de la dureté moyenne et de la MS du bloc mère.....	44
Figure 17. Cartographie du bloc mère en surface en fonction du temps.....	45
Figure 18. Distribution de la dureté à 106 h (point 9) en surface du bloc.....	45
Figure 19. Bloc mère en surface à 7 jours .....	46
Figure 20. Zoom de partie sélectionnée, montrant des fissurations et des grosses particules de noyau .....	46
Figure 21. Cartographie de BMN en profondeur ½ .....	47
Figure 22. Cartographie de BMN en profondeur 1/4 .....	47
Figure 23. Evolution de la moyenne mobile de la dureté sur la face ½ de coupe .....	48

Figure 24. Evolution de la moyenne mobile de la dureté sur la face ¼ de coupe .....	48
Figure 25. Évolution de la dureté du bloc mère en profondeur .....	48
Figure 26. Évolution de la dureté du bloc mère en profondeur .....	49
Figure 27. Cinétique de séchage de pastilles traitées en double.....	50
Figure 28. Cinétique de la dureté à la périphérie et au centre en surface de la pastille.....	51
Figure 29. Cinétique de la dureté à la périphérie et au centre de la pastille .....	51
Figure 30. Distribution de la dureté à 72 h (point 10) en surface (face inférieur et supérieur) et en profondeur (face profondeur 1 et 2) de la pastille .....	52
Figure 31. Cinétique de la dureté moyenne des pastilles en surface et en profondeur.....	53
Figure 32. Cinétique de la MS de bloc mère et celle de la pastille. ....	54
Figure 33. Cinétique de la dureté et de la MS du bloc mère en surface.....	56
Figure 34. Cinétique de la MS moyenne de la pastille.....	57
Figure 35. Evolution de la dureté moyenne de la pastille en surface .....	58
Figure 36. Cinétique de la dureté moyenne du bloc en surface et de la MS moyenne de la pastille.....	60
Figure 37.1et 2 Représentation du domaine expérimental par STATISTICA. ....	63
Figure 38. Courbes d'iso-dureté à 2j en surface .....	65
Figure 39. Courbes iso-dureté du modèle de dureté 8 j en surface .....	66
Figure 40. Animal, le premier jour, à la découverte d'un bloc.....	70
Figure 41. Evolution de la dureté à j2 et E/C et MO en fonction des formulations .....	86

## Liste des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques des ingrédients entrant dans la confection des blocs .....	18
Tableau 2. Formulation des blocs utilisée pour la caractérisation.....	21
Tableau 3. Limites hautes et basses des proportions des ingrédients.....	27
Tableau 4. La Matrice en valeurs réelles.....	28
Tableau 5. Formulation des blocs multinationnels (en %) .....	30
Tableau 6. Valeurs prédites de la MS bloc mère.....	55
Tableau 7. Valeurs prédites de la dureté en surface .....	57
Tableau 8. Valeurs prédites de la dureté en surface de la pastille.....	59
Tableau 9. Valeurs prédites de la dureté bloc mère.....	61
Tableau 10. Récapitulation des modèles de prédiction .....	61
Tableau 11. Matrice de dureté moyenne des pastilles en surface et en profondeur .....	62
Tableau 12. Matrice en valeurs codées et valeurs réelles.....	64
Tableau 13. Composition chimique de la paille, des blocs des rebuts de datte et du son .....	67
Tableau 14. Caractéristiques physiques des blocs.....	68
Tableau 15. Ingestion de bloc et de MS totale (g/jour/animal/ kgP0,75).....	70
Tableau 16. Composition chimique des aliments.....	71
Tableau 17. Digestibilités des composants des rations et ingestibilité de la matière sèche .....	72
Tableau 18. Valeur énergétique et niveau alimentaire permis par les rations.....	75
Tableau 19. Composition chimique de la paille, des blocs, des rebuts de datte et du son. ....	77
Tableau 20. Ingestion de matière sèche et d'eau (g/jour/animal) et gain moyen quotidien. ....	78

## Liste des annexes

Annexe 1. Caractéristiques chimiques des sources de glucides fermentescibles susceptibles d'être utilisées dans la fabrication des blocs.....	97
Annexe 2. Les principales catégories de rebuts de datte en Algérie.....	98
Annexe 3. Composition en sucres des dattes molles, demi molles et sèches.....	98
Annexe 4. Composition chimique des palmes sèches, pédicelles et noyaux (%MS).....	99
Annexe 5. Diagramme standard de fabrication de bloc multinutritionnel.....	100
Annexe 6. Broyeur à marteaux (Source : Electra-industrie, 2009).....	101
Annexe 7. Mélangeur horizontal (Source : Electra-industrie, 2009).....	101
Annexe 8. Presse de blocs (Source : Garget al ; 1998) et mouleuse de brique pleine (source : hyperbric, 2009).....	102
Annexe 9. Combiné mélangeur-mouleuse pour fabrication de BMN (Source : Garget al ; 1998).....	103
Annexe 10. Quelques caractéristiques mécaniques d'intérêt pour les blocs multinutritionnels.....	104
Annexe 11. Quantités ingérées de bloc multinutritionnel selon différents auteurs.....	105
Annexe 12. Distribution granulométrique cumulée des rebuts de dattes.....	106
Annexe 13. Granulométrie et d50 des rebuts de dattes.....	106
Annexe 14. Evolution de la dureté du bloc mère pour chaque temps de séchage en fonction de la position de chaque point sur la surface du bloc.....	107
Annexe 15. Dureté et MS bloc mère.....	108
Annexe 16. Photo réelle de la face $\frac{1}{4}$ (en haut) et $\frac{1}{2}$ (en bas) du bloc mère en profondeur.....	109
Annexe 17. Valeurs de la dureté en profondeur du bloc, coupe $\frac{1}{2}$ .....	109
Annexe 18. Valeurs de la dureté en profondeur du bloc, coupe $\frac{1}{4}$ .....	110
Annexe 19. Cartographie de la dureté de la pastille en fonction du temps.....	110
Annexe 20. Photo réelle du profile de la pastille.....	111
Annexe 21. Dureté et MS pastille.....	112
Annexe 22. Evolution de la MS des pastilles.....	112
Annexe 23. ANOVA.....	113
Annexe 24. Suite de l'annexe 23.....	114



# INTRODUCTION

## ○ Contexte général mondial et algérien

La capacité de l'agriculture à remplir son rôle, face à la démographie est une préoccupation récurrente de l'humanité. Ce sentiment naît, dès que l'homme s'est sédentarisé avec l'invention de l'agriculture au Néolithique, il y a 8000-10000 ans (**Thomas et Middleton, 1994**). De l'antiquité romaine, de nombreux écrits traitent des dangers de la déforestation sur l'érosion des terres.

Plus proche de nous, le Géographe américain **Georges Marsh** proclame que, le gaspillage des ressources naturelles est contraire à la volonté de Dieu et aux intérêts de la nation. En 1908, paroles du président **Théodore Roosevelt** : *« le temps est venu d'envisager sérieusement ce qui arrivera quand nos forêts ne seront plus, quand le charbon, le fer et le pétrole seront épuisés, quand le sol aura encore été appauvri et lessivé vers les fleuves, polluant leurs eaux, dénudant les champs ». « Si, nous, cette génération, détruisons ces ressources, nous enlevons le droit à la vie des générations futures sur ce continent ».*

Un siècle plus tard, les organismes et les décideurs internationaux ne s'expriment pas autrement.

En 2010 avec 7 milliards d'habitants, en moyenne, la terre produisait et disposait suffisamment de calories pour nourrir l'humanité (3000 kcal/j/habitant). L'Algérie, en incluant les importations de produits alimentaires, disposait de 3100 kcal (**Chabaca, 2009**). Néanmoins, cette production est très mal répartie puisque, l'Afrique Sud Saharienne ne disposait que de 2400 kcal/j/hab contre 3700kcal/j/hab pour les pays de l'OCDE.

Cette performance mondiale est obtenue grâce aux avancées technologiques dans l'agronomie : fertilisation, utilisation de pesticides et surtout à d'irrigation. A la naissance de l'agriculture il y a 10 000 ans (1 millions d'habitants sur la planète), 1 grain de céréale semé donnait 4 grains à la récolte, Aujourd'hui pour 1 semé, on récolte en moyenne 50 et parfois des records à 75 (**Vindt, 2005**). Il en est découlé au fil du temps, une forte pression sur les ressources en eau : 16800 m<sup>3</sup>/an/habitant en 1950, 7122 en 2000 et 4800 en 2025, la norme internationale étant de 1700 m<sup>3</sup>/an/habitant, l'Algérie est à 500 m<sup>3</sup>/an/habitant (**Dugot, 2001**). Or, la part de l'irrigation dans la production mondiale de produits agricole est de 40%.

De même, des pertes et des dégradations des sols par des processus d'érosions et de salinisation ne font que de se développer. Si on estime à 0,5 hectare, la surface en hectare nécessaire pour nourrir un habitant par an, elle représentera seulement 0,16 hectare en 2050,

en dehors des facteurs d'érosion naturels (hydrique, éolien, chimique) et anthropiques notamment les phénomènes de salinisation (**El Mokhtar et al, 2012**) dont l'Algérie est particulièrement touchée.

En 2050, la planète comptera 9 milliards d'habitants, la production de nourriture devrait augmenter en moyenne de 70%, pour la planète et de 100% selon **Bruinsma (2009)** pour les pays en développement. Il faudrait donc produire en plus, 1 milliard de tonnes de céréales et 200 millions de tonnes de produits animaux. Pour cela, les surfaces mondiales de terres cultivées devaient augmenter de 43% à un rythme de 6,8 millions d'hectares par an (**Dorin et Paillard, 2009**). La terre ne fera que diminuer tout comme l'eau alors que la consommation de viande ne fait qu'augmenter (**Faye et Alary, 2001**), dans un contexte de tension énergétique, de forte dégradation environnementale. A cela s'ajoute, pour bon nombre de pays du Sud, un besoin social et religieux en viande ovine.

Des chercheurs et des spécialistes (Des décideurs politiques, des économistes, agronomes, biologistes, écologistes...) proposent des pistes de solutions pour relever ces défis. Ils concluent que nourrir la planète en 2050 est possible : cela pourrait se faire dans le cadre d'un développement durable des systèmes alimentaires et agricoles mondiaux.

En effet, face à la raréfaction des terres, à l'augmentation des prix des matières premières et à la nécessité de protéger l'environnement, l'utilisation de l'ensemble des sous produits agricoles et agro-alimentaires disponibles constitue l'une des solutions contributive (**Cozannet et al, 2009**). Sont disponibles sur la planète, une cinquantaine de sous-produits de récoltes et des industries agro-alimentaires (**FAO, 1997**). L'ensemble représenterait plusieurs milliers de milliards d'unités fourragères susceptibles d'économiser plusieurs millions d'hectares de terre.

Ainsi, les seules pailles de céréales génèrent annuellement 600 milliards d'UF (2.4 milliards en Algérie). Les 6 coproduits industriels (Grignons d'olive ; pulpes d'agrumes ; pulpes de tomates ; mars de raisin, drèches de brasserie et déchets de dattes) présents en Algérie (**Oulmane, 2010**) génèrent annuellement, 170 millions d'UF (contre 19 milliards dans le monde), dont 150 millions pour les seuls rebuts de datte.

Le déficit en UF en Algérie étant de 4 milliards, une meilleure contribution des sous produits de récolte et agroindustriels à l'approvisionnement en énergie du troupeau est souhaitable.

L'une des opportunités réside dans la disponibilité dans le pays d'un tonnage annuel de 165.000 tonnes de rebuts de datte (sur 690 millions de tonnes de datte produits : **FAOstat, 2012**) générant 150 millions d'UF annuellement. Produits riches en énergie (0.90 UF/kg) et

pauvres en azote, à l'image de la mélasse, ils sont particulièrement appropriés pour confectionner pour le ruminant des blocs à lécher.

### ○ **Les blocs multinutritionnels**

Un bloc multinutritionnel (BMN) est un complément alimentaire fabriqué par l'homme, industriellement ou artisanalement renfermant un ou plusieurs classes de nutriments. Laissée à disposition, l'animal par léchage (d'où la dénomination commune de « pierre à l'écher ») y prélève les nutriments complémentaires à sa ration de base. Des médicaments peuvent y être incorporés. De façon formelle, l'appellation de « blocs multinutritionnels » suppose qu'il apporte à l'animal les trois classes de principes nutritionnels : énergie, azote et micronutriments (minéraux et vitamines).

L'emploi de blocs dans l'alimentation des ruminants a été enregistré dès 1930 (**Makkar *et al.* 2007**). Durant les premiers temps, ils ne comprenaient que de l'urée et de sels (chlorure de sodium principalement), puis s'est effectué, l'ajout de la mélasse et de minéraux dans les années 50. Les premiers essais systématiques semblent avoir été menés en Afrique du Sud en 1960 (**Sansoucy et Hassoun, 2003**). La première source d'énergie utilisée dans les blocs a été la mélasse. Ces blocs devenus « multinutritionnels » ont été produits principalement par des entreprises de fabrication d'aliments de bétail. Coûteux, ils étaient destinés à élevage intensif des pays du Nord.

Au début des années 1980, dans le souci de mettre à la disposition des petits agriculteurs du Sud des aliments de compléments pour valoriser des fourrages pauvres traditionnellement consommés par les ruminants, la technologie de production de BMN a été simplifiée pour permettre son application au niveau de la ferme. Cette délocalisation de sa production à la ferme a pris de l'ampleur, grâce aux efforts du Comité mixte FAO / AIEA, et de l'Inde. Puis la technique a été encouragée dans de nombreux pays asiatiques, africains et latino-américains. Durant cette phase initiale, jusqu'au milieu des années 1980, le processus dit à « chaud » de la production de bloc a été promu, malgré le coût élevé du processus de chauffage. En 1986, la FAO représentée par le groupe de ressources alimentaires animales (FRG) a remplacé le processus à chaud par un processus qui ne nécessite pas le chauffage des ingrédients. Cette nouvelle technique est connue sous le nom de « processus à froid ».

Le processus de solidification à froid utilise des agents liants tels que le calcium et l'oxyde de magnésium, l'hydroxyde de calcium, le di-phosphate d'ammonium ou plus généralement le ciment.

Vers la fin des années 1990, avec la promotion du processus à froid par la FAO / AIEA, un total de 42 formules ont été développées à travers les 12 États, tous asiatiques, qui ont participé à ce projet : Bangladesh, Chine, Inde, Indonésie, Malaisie, Mongolie, Myanmar, Pakistan, Philippines, Sri Lanka, Thaïlande, Vietnam.

Aujourd'hui, Les blocs fermiers sont maintenant produits dans de nombreux pays en voie de développement (Inde, Mexique, Niger, Pakistan, Soudan, Venezuela, etc....), utilisant des équipements simples que l'on trouve à la ferme à l'équipement industriel sophistiqué.

Le concept a été employé pour des buffles (**Nguyen Van Thu, 2000**), des petits ruminants (**Salman, 1999 ; Houmani et Tisserand, 1999**), et même pour les lapins (**Perez, 1990 ; Filippi et al., 1992**). D'excellents résultats ont été obtenus avec différents types de production : la croissance, l'engraissement, la production laitière et la laine (**Sansoucy, 1995**), qu'il soit, monominéral (pierre de sel : NaCl), multiminéral (macro et micro minéraux : activateurs de la croissance microbienne), multinutritionnel à base de mélasse et d'azote non protéique (de l'urée généralement) ou multinutritionnel avec d'autres sources énergétiques (grau de blé, grains de maïs, figues de barbarie...) avec ou sans azote non protéique.

Leur nom commercial est variable selon l'entreprise qui les fabrique leur composition chimique et l'animal cible sont pris en compte.

#### ○ **Les composants des blocs multinutritionnels**

Les plus répandus sont composés : **D'azote non protéique** (ANP) habituellement de l'urée, c'est l'élément stratégique que l'on retrouve pratiquement dans toutes les formules. Il s'agit de l'engrais agricole bien connu à 46% d'azote. Son rôle principal est la fourniture d'azote rapidement fermentescible dans le rumen sous forme d'ammoniac, nécessaire à l'activité de la flore microbienne. Les doses testées varient en générales entre 3 et 20 %. En pratique, son incorporation est en général limitée à 10% afin d'éviter tout risque d'intoxication en cas d'ingestion importante du bloc par l'animal (**Chenost et Kayouli, 1997**).

**D'énergie rapidement fermentescible.** La mélasse est un facteur d'appétibilité en raison de sa teneur en sucres. Le taux d'incorporation dans les blocs dépend de leurs disponibilités localement et de leurs prix. La mélasse de canne ou de betterave est la source la plus utilisée.

Selon **Sansoucy (1986)** et **Chenost et kayouli (1997)**, la dose utilisée ne doit pas dépasser un taux de 50% dans le bloc pour ne pas affecter sa dureté et sa structure. Des doses de mélasse variant de 20 à 75% ont été testées parallèlement à des doses croissantes d'urée (**Hadjipanayiotou et al ; 1993a**). L'optimum se situerait à 50%.

**De minéraux et des vitamines.** Ils favorisent et régulent l'ingestion du bloc et celle du fourrage grossier. Ils contribuent à sa solidification et participent à la couverture des besoins des micro-organismes et de l'animal en micronutriments. Le chlorure de sodium est couramment utilisé à des taux d'incorporation variant de 5 à 10%. Des sels tels que : le phosphate bi-calcique ou mono calcique sont aussi incorporés pour enrichir les blocs en phosphore et en calcium. L'apport sous forme de CMV (complément minéral vitaminique) est commode, macro, micro éléments et vitamines y sont réunis.

**D'un liant.** Le ciment de construction est couramment utilisé comme liant pour la fabrication des blocs multinutritionnels, afin de leur conférer une structure solide. En général les doses utilisées varient de 5 à 15% **Sansoucy (1986)**. **Hassoun et Bâ (1990)**, recommandent une dose de 10%, qui ne constitue pas à ce niveau un danger pour l'animal. La chaux vive a aussi été utilisée comme liant pour la fabrication des blocs. Elle est introduite à raison de 10% comme seul agent liant. La chaux vive a donnée des résultats satisfaisants, avec une structure plus dure que celle engendrée par le ciment.

Le remplacement de la chaux vive par la chaux éteinte a aussi été testé, mais n'a pas donnée d'aussi bons résultats de solidité et de dureté du bloc. L'argile utilisée dans la fabrication des briques ou des poteries artisanales, peut être aussi utilisée comme liant, elle a donné des résultats satisfaisants, tout comme, l'oxyde de magnésium (MgO) et le phosphate mono sodique qui donnent les mêmes résultats que la chaux vive.

**D'éléments fibreux.** Le rôle principal de ces ingrédients consiste à absorber l'humidité dans le bloc. Ils participent à sa solidité et à sa cohésion. L'ingrédient le plus fréquemment utilisé est le son de céréales (blé, riz, sorgho, mil, etc....), qui en plus de son rôle structural, peut constituer une source d'azote et d'énergie (amidon et cellulose) et de phosphore assimilable pour l'animal (**Chenost et Kayouli, 1997**). Mais, beaucoup d'autres produits fibreux ont été utilisés dans la fabrication des blocs multinutritionnels, il s'agit notamment des grignons d'olive (**Nyarko-Badohu et al., 1993 ; hadjipanayiotou, 1996 ; Moujahed et al., 2000**) et aussi des téguments d'arachides finement broyés (**Hassoun et Bâ, 1990**).

Compte tenu des ingrédients localement disponibles dans les différents pays et des objectifs recherchés, de très nombreuses formules ont été testées en faisant varier la nature et la proportion des ingrédients. On constate qu'il y a une large intégration d'autres sous produits fibreux tels que : la paille broyée, le gruau de blé, les pulpes de dattes, les marcs de raisins, la litière de volailles qui apporte également de l'azote non protéique (acide urique principalement). Selon **Sansoucy (1986)**, la formule d'origine des blocs multinutritionnels était la suivante : mélasse : 50 % ; urée 10 % ; chaux vive 10 % ; sel 5 % et son de blé 25 %.

A partir de cette formule, de nombreuses variantes ont été introduites, selon les disponibilités en ingrédients dans le pays, leur prix, leur plus ou moins grande facilité d'emploi et la qualité des blocs obtenus.

### ○ **Les sources de glucides fermentescibles**

Substrat indispensable dans la composition des BMN, ces sources de glucides sont des coproduits de l'industrie agro-alimentaires ou des déchets de récoltes. La mélasse de canne à sucre ou de betterave ont été les premières utilisées et reste de loin la plus utilisées. Les disponibilités annuelles de part le monde de ce coproduit sont de l'ordre de 59 millions de tonnes en 2011 (**FAO, 2012**) que se partagent 83 pays, parmi les plus importants, nous citerons le Brésil, l'Inde, Thaïlande, la chine, USA, Pakistan, Mexique, Russie, Indonésie, France, Philippines avec respectivement 15.15 ; 10.97; 4.24; 4.03; 2.20; 1.93; 1.68 ; 1.65; 1.35 ; 1.09; 1.05 millions de tonnes.

Outre la mélasse de canne ou de betterave, d'autres sources de glucides fermentescibles susceptibles d'utilisation dans la confection de blocs multinutritionnels existent comme le montre **l'Annexe 1**. Elles peuvent être solide ou liquide ou visqueux. Certaines sont riches en azote : vinasse de mélasse ; lactosérum ; pulpe de tomate. Parmi les sources de glucides citées dans cette annexe, plusieurs sont rapportées par **Oulmane (2010)** comme étant disponibles en Algérie. Les rebuts de datte sont de loin la source la plus importante avec un potentiel de 150 millions d'unités fourragères. Les rebuts de datte représentent un mélange de dattes impropre à la consommation humaine, on distingue une quinzaine de catégories différentes (**Annexe 2**) dont les deux principales sont le Sich et le H'chef. Comme les dattes comestibles (**Annexe 3**), la composition chimique moyenne des rebuts de datte est hétérogène : pauvres en minéraux (4 %), matière azoté (5%) et matière grasse (2%) et riche sucres totaux (75%).

Pour mémoire, outre les rebuts de datte, l'**annexe 4** présente d'autres produits du palmier dattier (noyaux, palmes, pédicelles) susceptibles d'être utilisés en alimentation du ruminant.

### ○ **Technologie de fabrication des blocs multinutritionnels**

La fabrication des blocs multinutritionnels a connue dans son évolution deux procédés de confection : Le procédé "à chaud" et le procédé "à froid". Dans les premiers travaux effectués en Australie, en Inde et aux Philippines..., le procédé de fabrication des blocs multinutritionnels utilisait la méthode de fabrication à chaud. Elle comportait un préchauffage de la mélasse avec l'urée jusqu'à 100-120°C pendant environ 10 minutes, dans une chaudière à double enveloppe où circule de la vapeur d'eau. Un agent gélifiant (oxyde de magnésium) était ajouté à raison de 6 %, ainsi que de la bentonite à raison de 4 %. Le mélange est alors versé directement dans les moules et laissé refroidir lentement pour se solidifier.

Cette technique est apparue difficile à appliquer dans les différentes régions à cause de sa consommation en énergie et des difficultés de manipulation à chaud du matériel utilisé (pesée, moulage...).

Le procédé à froid (introduction de liants minéraux) a été décrit en détail par **Sansoucy (1986)**. Des résultats analogues au procédé à chaud en terme de dureté ont été obtenus sans source extérieure d'énergie et avec la même quantité de liants : 10 % d'oxyde de calcium (chaux vive) contre 6 % d'oxyde de magnésium et 4 % de bentonite. De plus, l'équipement s'est trouvé simplifié, car la chaudière à double enveloppe n'était plus nécessaire.

L'équipement utilisé en général pour cette nouvelle technique de fabrication à froid comprend : un mélangeur horizontal à palettes, muni de deux axes supportant chacun une dizaine de palettes, et actionné par un moteur électrique de 10 Chevaux. Étant donné la viscosité du mélange qui offre une certaine résistance, la quantité traitée à chaque cycle est de 300 kg. La qualité du mélange obtenu avec cet appareil est excellente, et son homogénéité apparaît parfaite. L'ordre d'introduction des différents ingrédients est : (1) mélasse ; (2) urée ; (3) sel ; (4) chaux et/ou ciment ; et (5) son. Le mélange est alors pesé puis versé dans des moules en acier (**Miller et Thompson, 2003**).

L'inconvénient du processus "à froid" est qu'il nécessite un certain temps pour le séchage du bloc et le produit final reste aussi un peu hygroscopique. Les avantages sont : l'économie d'énergie réalisée, la simplicité et la facilité de fabrication ce qui n'est pas négligeable. Au niveau fermier, le procédé « à chaud » a été pratiquement abandonné pour les avantages du

procédé « à froid » qui s'est industrialisé facilement. Le diagramme général de fabrication industrielle : est donné en **annexe 5**. Les indiens en particulier ont développé du matériel de fabrication pour les petites et moyennes entreprises : Broyeur à marteau (**Annexe 6**) ; Mélangeur (**Annexe 7**) ; Mouleuse (**Annexe 8**) ; Combiné (**Annexe 9**). Le conditionnement peut être aussi assuré par des machines disponibles sur le marché.

On comprend que les blocs multinutritionnels sont des produits complexes par la diversité des ingrédients qui peuvent être utilisés pour leur fabrication, la nature, races et catégories de bétail à qui ils peuvent être destinés. Outre la qualité nutritionnelle qu'ils doivent assurer, leurs caractéristiques physiques sont d'une importance capitale.

En effet, renfermant de l'urée, le bloc doit être consommé à des quantités ne dépassant pas le seuil toxique. Plus le bloc est appétissant pour l'animal, plus il pourrait être dangereux. C'est pourquoi, la cohésion et la dureté du bloc sont des caractéristiques à rechercher : trop mou, il peut être consommé en grande quantité ; de même, s'il est trop dur sa prise peut être fortement limitée en rendant inopérant l'objectif nutritionnel recherché. **L'Annexe 10**, résume quelques caractéristiques mécaniques d'intérêt pour les blocs multinutritionnels auquel il faut ajouter le séchage dont dépend sa dureté. Malheureusement, aucune valeur de dureté recommandée n'a été repertoriée dans la littérature.

### ○ **Résultats zootechniques obtenus dans le monde avec les blocs multinutritionnels**

D'après l'**Annexe 11**, la prise du bloc varierait avec le type d'animal. Exprimée en g/animal /j elle varie de 10 à 784 g/j chez les petits ruminants (ovins, caprins), de 150 à 800 g/j chez les bovins, buffles, et de 300 à 500 g/j chez les camélidés. La dureté du bloc, sa composition qui conditionne son appétibilité sont des facteurs qui influencent l'ingestion du bloc. De même, des niveaux élevés en urée peuvent réduire la prise du bloc et celle du fourrage grossier. Ainsi, **El Fouly et Leng (1986)**, montrent que la consommation de paille qui était respectivement de 550 et de 441g/j avec des doses d'urée de 10 et de 15% diminue pour se situer seulement à 326g/j avec une dose de 20% d'urée. De même, la quantité de bloc ingérée diminue avec l'augmentation de la dose d'urée. Elle passe ainsi de 136, 112 et 18g respectivement pour des doses d'urée de 10, 15 et 20%.

Néanmoins, bien que souvent la digestibilité des rations n'est pas donnée dans les expériences repertoriées dans la littérature, on remarque qu'avec des rations de fourrage



grossier très pauvres, le poids des animaux ont pu être maintenu et dans certains cas des croissances appréciables ont été enregistrées.

Les blocs nutritionnels sont donc des compléments alimentaires efficaces notamment pour supplémer dans des zones contraintes, des animaux qui consomment des rations de base de faible valeur nutritionnelle. Les ingrédients qui les composent sont des coproduits qui trouvent ainsi des débouchés écologiques.

Pour le cas particulier de l'Algérie, cinq arguments de base militent en faveur de la réalisation de ce travail :

- 1-** Le manque de ressources fourragères en Algérie qui limite le développement de l'élevage dans le pays. Ainsi est noté, un déficit en UFL de 4 milliards sur un besoin de 10 milliards (**MAP, 2002**) ;
- 2-** La rareté de terres agricoles en Algérie (0.1 ha de SAU/habitant en 2050), qui limite la production sur place d'aliments concentrés et qui milite en faveur de l'utilisation des sous produits agroindustriels dans l'alimentation du bétail ;
- 3-** Le besoin en concentré pour les ovins est de 550 000 tonnes/an. Or la production nationale d'aliments de bétail pour cette espèce est estimée à 200 000 tonnes/an (**MADR, 2007**). La demande non satisfaite est donc de 350 000 tonnes/an ;
- 4-** L'abondance des rebuts de dattes (165 000 tonnes/an), matière première de choix par sa richesse en sucre pour confectionner des blocs multinutritionnels. En outre, son accumulation dans les oasis, a un impact négatif sur l'environnement et favorise la prolifération des parasites, qui endommagent la qualité des dattes ;
- 5-** Des exemples de formulations de blocs répertoriés dans la littérature ne peuvent être appliqués à une nouvelle matière première sans expérimentation.

Aussi, trois rubriques fortes vont principalement alimenter ce travail :

- Rechercher pour les blocs, les paramètres physiques : dureté, temps de séchage, teneur en matière sèche en fonction des doses d'ingrédients ;
- Trouver des modèles mathématiques simples à partir de variables également faciles à déterminer par des méthodes de routine de laboratoire, pour prédire la dureté et la teneur en MS des blocs ;

- Expérimenter les blocs sur des ovins pour mesurer : leur appétibilité, leur niveau d'ingestion, leur valeur nutritionnelle et les performances de croissances qu'ils permettent sur moutons.

# **PARTIE 1 : MATERIEL ET METHODES**

## **Chapitre 1. Ingrédients, fabrication des blocs et caractérisation**

Nous rappelons que l'objectif de ce travail est de trouver des méthodes innovantes pour utiliser à profit pour le ruminant des rebuts de dattes dont notre pays recèle. Nous pensons que son introduction dans des formules de bloc multinutritionnel (BMN) est une voie exploratoire pertinente. Or, la présence d'urée dans la composition des BMN exige que sa consommation quotidienne soit dans l'idéal de l'ordre de 400- 500g. La formulation à rechercher en faisant varier les proportions des ingrédients doit répondre à cette exigence de consommation. Les facteurs qui la contrôlent sont la cohésion et la dureté du BMN. Il convient donc de connaître la dureté la plus appropriée du bloc, de savoir la mesurer et la prédire, de connaître pour l'animal le niveau de consommation du BMN, sa valeur nutritionnelle et sa valeur de complémentation pour des fourrages grossiers, notamment pour les fourrages pauvres.

Ce chapitre décrit donc, le matériel et les méthodes mises en œuvre pour répondre à toutes ces questions.

### **1. Ingrédients de fabrication des blocs**

#### **1.1. Rebuts de dattes**

Ils proviennent de la région de Ghardaïa, ils ont été séchés à l'air libre sous abri, puis broyé à l'aide d'un broyeur à marteaux mobiles. Ces rebuts de dattes représentent un mélange de trois variétés : Deglet Nour, Ghars, degla-beida, dans des proportions respectives non définies. Leur composition chimique moyenne est : MS:  $97,17 \pm 0,03$  ; MO:  $96,65 \pm 0,06$  ; MM:  $3,35 \pm 0,06$  ; MAT:  $4,29 \pm 0,16$ ; CB:  $9,61 \pm 0,86$ .

En amont de ce travail, des essais préliminaires de fabrication de bloc avec les rebuts de dattes en l'état nous avait permis d'observer que la taille relativement élevée des particules des rebuts de dattes, avait un impact sur la cohésion et la tenue du bloc. Les grosses particules étaient celles des noyaux plus durs que le reste des composants des rebuts de dattes, comme le montre la **figure 1**



**Figure 1. Coupe transversale de bloc issu d'essais préliminaires**

Nous avons alors décidé, de broyer les rebuts de dattes originels afin de réduire la proportion des grosses particules. Le broyage a été réalisé à l'aide d'un broyeur à marteaux, portant une grille de 6 mm ; modèle PC400×300, puissance de 10 CV et d'une capacité de 2 tonne/h. Deux broyages successifs ont été réalisés.

## 1.2. Caractéristiques des ingrédients de fabrication utilisés

Ils sont donnés avec leurs caractéristiques, dans le **tableau 1**.

**Tableau 1. Caractéristiques des ingrédients entrant dans la confection des blocs**

Ingrédients	Origine	Caractéristiques
Urée agricole	BASF (Allemagne)	46 % N ; pureté : 98.5 %
Chlorure de sodium	Sel du commerce	99.50% Na Cl; 0.25% H <sub>2</sub> O; 50.84mg/kg d'iode
CMV (mg/kg)	NUTRISTAR – France	Vit A : 1100, VitD3 : 260, Vit E : 1800 ; Vit B1 : 120 ; VitB2 : 250 ; Panthotenate de chlorure : 200 ; Vit PP : 240 ; Vit B12 : 0.5 ; Fe : 2800 ; I : 100 ; Co : 40 ; Mn : 5500 ; Se : 10 ; Mg : 30 000 ; S : 60 000 ; antioxydant : 4000.
Ciment portland	Cimenterie de Meftah – Alger.	Ciment gris, model : CPJ- CEMII /A32.5
Eau *(mg/l)	Robinet ; INA.	Ca: 160; Mg: 44.16; Na: 2.88; SO <sub>4</sub> : 183.36; NO <sub>3</sub> : 93; Cl: 221.87; HCO <sub>3</sub> : 366.
Rebuts de dattes broyés (en % de MS)	Ghardaïa(Algérie)	Mélange de 3 variétés : Deglet-Nour, Ghars, degla-beida. MS: 97,17± 0,03 ; MO: 96,65 ± 0,06 ; MM: 3,35 ± 0,06 ; MAT: 4,29 ± 0,16; CB: 9,61 ± 0,86. Valeur énergétique : 0.9 UF/kg MS
Gros son de blé	Ghardaïa(Algérie)	Issu de meunerie de blé tendre. MS : 88.0 ; MM : 14.9 ; MAT : 14.5 ; MG : 4.5 ; CB : 10.6 ; Amidon : 20.8 ; NDF : 41.7 ; ADF : 13.3 ; HC : 28.4 ; UF/kgMS : 0.84

CMV : Complément minéral vitaminique ; MS : Matière Sèche ; MO : Matière Organique ; MM : Matière Minérale ; MAT : Matière Azotée Totale ; CB : Cellulose Brute. ; NDF : Neutral detergent fiber ; ADF : Acid detergent fiber ; HC : Hémicellulose.

## 2. Fabrication des blocs

La fabrication est manuelle. Le schéma de fabrication est indiqué par la **figure 2**.

◆ **Moulage.** Il s'agit de types de moules en plastique rectangulaires, rigides, de dimensions intérieure de 30 x 20 x 15 cm de profondeur, pouvant contenir 4 kg environ de bloc. Des moules cylindriques de 6 cm de diamètre et 6 cm de hauteur pour fabriquer des pastilles de 0.2 kg.

Le démoulage se fait extemporanément et le bloc est placé dans l'étuve réglée à 45 C°. Le bloc est retourné régulièrement au cours du séchage.

◆ **Types de bloc fabriqués. Pour la totalité du travail, deux types de bloc sont fabriqués :**

- Des blocs de poids élevé entre 2 et 4 kg (dits blocs mères) correspondant au poids rencontré sur le terrain. Ces blocs ont été utilisés pour étudier leur caractérisation : homogénéité, leur cinétique de séchage sur 7 jours, liaison entre leur MS et dureté,
- Des blocs de faible taille dits « Pastilles » ne pesant que 0.2 kg. Ces blocs plus maniables, utilisant peu de matières premières sont plus adaptés à des travaux de laboratoire. Nous les avons utilisés pour prédire la MS et la dureté des blocs mère. De même, ces pastilles ont été utilisées pour réaliser les 9 essais que nécessitait l'établissement du plan d'expérience dont le rôle est de révéler l'influence des ingrédients de fabrication sur la dureté du bloc.



Figure 2. Schéma de fabrication des blocs.

### ➤ Formulation des blocs fabriqués (% d'ingrédients secs en l'état)

Pour la caractérisation des blocs (bloc mère et pastille), la formulation choisie est indiquée dans le **tableau 2**.

**Tableau 2. Formulation des blocs utilisée pour la caractérisation**

En pourcent (%)						En (g)
Rebuts de dattes	Son	Ciment	Urée	CMV	Sel	Eau
57	15	10	8	8	2	30

Elle correspond à celle placée au milieu de la matrice des 9 essais du plan d'expérience, elle correspond à la formule la plus concentrée en énergie après le N° 1 qui est celle de la borne supérieure, et la moins riche en liant (**tableau 4**, matériel et méthodes).

## 3. Caractérisation du bloc mère et des pastilles

La granulométrie des particules des rebuts de datte, la cinétique de séchage, l'homogénéité des blocs par sa cartographie et la dureté des blocs sont les quatre paramètres de caractérisation que nous étudions.

### 3.1. Granulométrie des particules de dattes

La distribution granulométrique des rebuts de datte après le deuxième broyage est mesurée à l'aide d'un **Granulomètre à tamis** de différentes ouvertures : 10 mm, 8 mm, 5,6 mm, 3,15 mm, 2,5 mm, 2 mm et 1,25 mm.

### 3.2. Cinétique de séchage du bloc mère et des pastilles

Le séchage thermique est défini comme l'opération d'élimination de l'eau d'un produit par évaporation de cette eau. Le séchage est une opération complexe qui met en jeu des transferts couplés d'eau et de chaleur (**Bimbenet et al., 2007**).

Nos blocs sont séchés dans une étuve ventilée (réglée à 45 °C) sur grille et retourné plusieurs fois par jour pendant 7 jours pour les blocs mère. Dans cette étuve, ni l'humidité, ni la vitesse de l'air était contrôlée. La cinétique de pesée est de : 2h, 4h, 6h, 8h, 10h, 12h, 24h, 36h, 48h, 60h, 72h, 84h, 96h, 108h, 120h, 132h, 144h, 156h, 168h.

Pour les pastilles, le temps de séchage est de 3 jours et la cinétique de pesée de : 1h, 2h, 4h, 8h, 12h, 24h, 36h, 48h, 60h et 72h.

La MS initiale a été calculée en se basant sur la teneur en MS des matières premières (dattes : 80 %, son 90% urée 95%, sel et CMV, 99%) et sur le volume d'eau utilisé. La cinétique de la MS après étuvage est évaluée par la formule suivante :

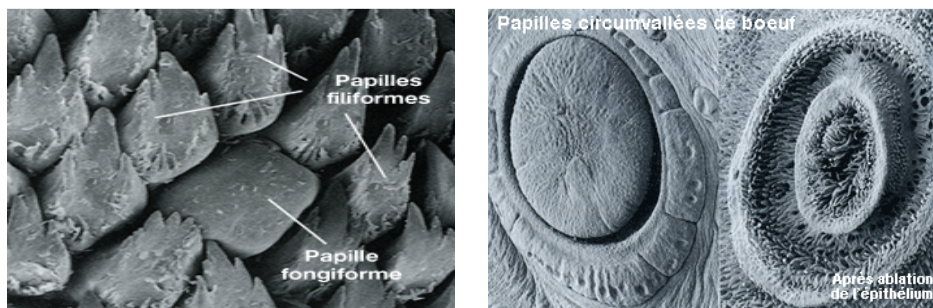
$$MS (\%) = \frac{P1 - P0}{P0} \times 100$$

P1 : poids initial ; P0 : poids après étuvage (à 45 C° avec ventilation)

### 3.3. Dureté des blocs

#### 3.3.1. Justification observatoire et positionnement théorique

La langue du mouton (**Figure 3**), est composée d'excroissances et de papilles à sa surface qui augmentent la surface de contact, comparativement à une surface lisse.



**Figure 3. Papilles gustatives de langue de mouton (source : Vetopsy, 2009).**

L'observation d'une scène de léchage de bloc par l'animal révèle qu'il s'agit de deux corps en contact : l'un fixe (le bloc qui accessoirement peut être mis en mouvement par la poussée de la tête du mouton), l'autre, la langue est en mouvement continue lors du léchage. Cette dernière agit sur le bloc comme une râpe lors des mouvements. Ce système relève des forces de frottement. On distingue le frottement statique qui est une force  $F_{FS}$  qui empêche un mouvement de démarrer. La force maximale de frottement statique  $F_{FSmax}$ , est celle au-delà de laquelle il y a glissement de l'un des deux corps. Elle est proportionnelle à la force normale  $FN$  (La force normale N est la force exercée par la surface d'un objet A sur la surface d'un objet B) en contact avec celui-ci, selon un coefficient de frottement statique  $\mu_s$  dépendant des deux matériaux en contact BMN et langue du mouton.  $F_{FSmax} = \mu_s \times FN$ . Ce système ne s'applique pas théoriquement au « diplet » : langue – bloc.

Si l'un des corps se met en mouvement sur l'autre, le frottement cinétique est la force qui tend à freiner un corps glissant (ici langue du mouton) sur une surface (ici le BMN). Cette force



$F_{FC}$  est égale ou inférieure et de sens opposé à la force motrice nécessaire pour maintenir le corps fixe. Elle est donnée par la formule  $F_{FC} = \mu_c \times FN$ , dans laquelle  $\mu_c$  est le coefficient de frottement cinétique.

L'équation du coefficient de frottement  $\mu$  est donc :  $\mu = F_{frott}/FN$

$\mu$  n'a pas d'unité et  $F_{frott}$  et  $FN$  sont en Newton. Dans ce travail, il ne peut être calculé, c'est une valeur propre à la langue du mouton et au BMN (texture, propriété des surfaces, force les poussant l'un vers l'autre). Dans le modèle langue-BMN qui nous intéresse ici, les forces de frottement seront égales à :

$$F_{frott} = \mu_c \times FN$$

S'agissant d'un  $\mu$  cinétique, la langue du mouton parcourant une distance sur le bloc, il y a travail, donc dépense d'énergie par l'animal.

Les forces de frottement continues de la langue qui s'exercent sur le bloc entraînent son usure et la disparition de matériaux qui constituent l'ingestion. S'il n'est pas possible directement de calculer la valeur de l'usure subit par le bloc, de nombreux auteurs ( **Etcheverry, 2006**) ont proposé des modèles pour décrire et évaluer l'usure. Le plus simple est celui de **Cartie (2000)** inspiré de la loi d'**Archard (1953)** :

$$V = K \cdot F \cdot L / H$$

Où  $V$  est le volume de matière enlevée,  $K$  est le coefficient d'usure,  $L$  est la distance de glissement,  $F$  est la charge normale appliquée et  $H$  la dureté du matériau. On constate que plus  $H$  est faible, plus  $V$  sera élevé et plus l'ingestion du bloc sera élevée.

Il apparaît clairement que la dureté est un facteur important qui contrôle la quantité de bloc consommée par l'animal.

### **3.3.2. Mesure de la dureté des blocs**

Comme nous venons de le montrer, la dureté est le paramètre indispensable à connaître pour contrôler l'ingestion des BMN par le mouton. C'est une opération lourde nécessitant des instruments sophistiqués et qui ne peut être pratiquée en routine. Il conviendrait de pouvoir la prédire par des indicateurs simples à déterminer comme :

1. La matière sèche mesurée à l'étuve en laboratoire. Nous l'avons réalisée sur le bloc mère et sur les pastilles,

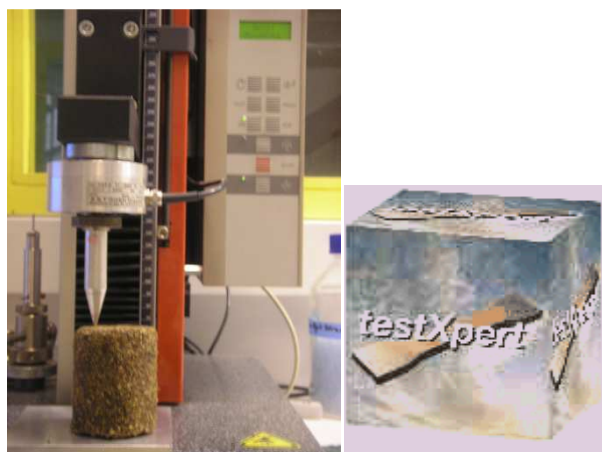
2. Le choix d'associations d'ingrédients aboutissant à une valeur de dureté pour un temps de séchage donné. Ces choix sont recherchés par la réalisation d'un plan de mélange.

Par ailleurs, la mesure de la dureté en surface et en profondeur, apporte un complément d'information sur l'homogénéité des blocs donc sur l'ingestion.

La dureté est mesurée par la technique de la pénétrométrie avec un Texturomètre. Elle est optimisée en fonction de :

- La pointe : de type conique ;
- La profondeur de pénétration (le déplacement de la pointe verticalement ;
- La vitesse de pénétration ;
- La force de résistance à la pénétration de la pointe. Nous avons commencé par une faible force, puis elle a été augmentée en fonction de la résistance du bloc.

**Le Texturomètre est de type ZwickRoell.** Cet appareil mesure la force en fonction du temps ou du déplacement. L'appareil est relié à un micro-ordinateur travaillant avec un logiciel TestXpert® fonctionnant sous Windows (**figure 4**). Ce dernier permet de programmer le test avec les paramètres désirés tels que : vitesse de pénétration de la pointe (2 mm/minute), profondeur de pénétration (6 mm), force de rupture appliquée à l'échantillon (en Newton), temps de maintien de la force quand le déplacement maximum imposé est atteint (30 secondes). Le texturomètre a une force maximale de 500 kg. Le pénétromètre que nous avons utilisé est une pointe conique de 15 cm de longueur et 12 mm de diamètre (**Figure 4**).



**Figure 4. Texturomètre type ZwickRoell avec son système de control testXpert ®**

La dureté est obtenue à partir de la pente de la courbe Force/ Déplacement donnée par le logiciel TestXpert®. Elle est exprimée en N/mm.

$$\text{Dureté (N/mm)} = \text{Force} / \text{déplacement}$$

Ces mesures sont réalisées en surface et en profondeur (face  $\frac{1}{2}$  et face  $\frac{1}{4}$  de coupe pour le bloc mère et  $\frac{1}{2}$  pour les pastilles). Le dispositif de coupe : pour le bloc mère nous avons utilisé une scie à ruban électrique, qui réalise des coupes de profil lisses. Pour la pastille, un système de coupe a été mis en place (**Figure 5**), il est composé de 4 plaques en bois collées et d'une scie à bois manuelle. Ce dispositif donne des profils plus ou moins lisses (**Figure 6**).



**Figure 5. Dispositif manuel de découpe des pastilles.** **Figure 6. Profile de coupe d'une pastille**

**Etuve :** Le séchage du bloc mère et des pastilles est réalisé dans une étuve ventilée, réglée à  $45\text{ C}^\circ$

Au 8<sup>ème</sup> jour le bloc mère est découpé en 4 tranches dans le sens de la longueur (à  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  et à  $\frac{2}{3}$ ), afin de mesurer la dureté en profondeur. Sur chaque tranche, nous mesurons la dureté en profondeur selon les mêmes indications que précédemment. Le nombre de mesure par face est d'environ 100 points.

Tout comme le bloc mère, la dureté de la pastille est mesurée en surface et en profondeur ( $\frac{1}{2}$ ), mais la pastille est éliminée après la mesure. Pour chaque pastille et pour chaque face, 36 mesures sont prises :  $9 \times 4$  faces : 2 faces en surface et 2 en profondeur (**Figure 7**). Une relation sera recherchée entre la dureté de la pastille et celle du bloc mère.

Nous avons éliminé les points 1 ; 3 ; 7 et 9 situés aux 4 coins de la pastille susceptibles de regrouper des critères d'hétérogénéité. Les points concernés par ces mesures sont montrés sur la **figure 8**. Le nombre de mesures réalisées pour chaque temps (point) de séchage est de 10.

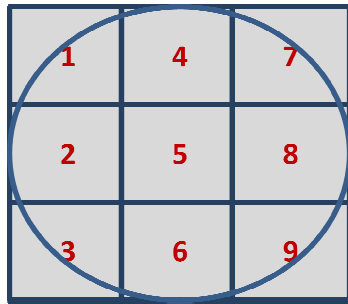


Figure 7. Répartition des points de mesure sur la pastille.

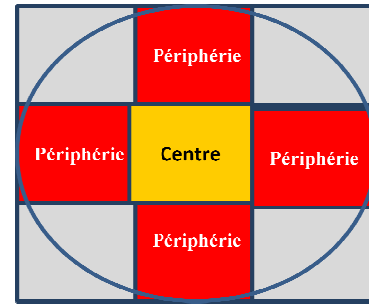


Figure 8. Points de la périphérie et du centre.

### 3.4. Appréciation de l'homogénéité des blocs

Elle est appréciée par la réalisation d'une cartographie de la distribution de la dureté à la surface et en profondeur des blocs mères (300 points) et des pastilles : face  $\frac{1}{2}$  de coupe (100 points). Par un choix de temps de séchage : 4h (n°1) , 6h (n° 2) , 8h (n°3) , 24h (n°4) , 36h (n°5) , 48h (n° 6) , 60h (n° 7) , 82h (n° 8), 106h (n°9) et 168h (n°10) pour le bloc mère. 300 points de mesure sont réalisés. Chaque mesure est faite sur une maille de 1 cm<sup>2</sup>.Après chaque mesure de la dureté, le bloc est remis à l'étuve.

Après 7 jours de séchage à une température de 45 °C, le bloc mère est coupé dans le sens de la longueur en quatre tranches (7 cm d'épaisseur) à sa moitié (face  $\frac{1}{2}$ ) et à  $\frac{1}{4}$  et  $\frac{3}{4}$  de sa longueur (face  $\frac{1}{4}$  ), pour mesurer la dureté à l'intérieur du bloc sur des zones en profondeur dont la teneur en eau est logiquement plus élevée.

### 3.5. Réalisation du plan de mélange

Notre plan d'expériences est de type de mélanges, a été réalisé pour étudier la dureté, en fonction des proportions des constituants du mélange (rebuts dattes, son, liant). Dans ce cas, la somme des proportions des constituants est constante et les facteurs ne sont pas indépendants. Les plans de mélanges sont également souvent caractérisés par de nombreuses contraintes qui peuvent peser sur le choix des proportions des constituants (contrainte sur les minima et maxima pour certains constituants). En fonction de ces contraintes, la planification de l'étude est adaptée à chaque cas. L'ouvrage de référence de **Goupy** des plans de mélanges (**Goupy, 2000**) a été utilisé pour le montage de notre plan.

♦**L'objectif de ce plan** : est de trouver des modèles mathématiques permettant de comprendre le rôle des ingrédients (rebuts dattes, son, ciment) sur la dureté du bloc. Et aussi,

de pouvoir prédire une valeur de dureté par le seul choix d'une formule d'association d'ingrédients. Nous n'avons pas trouvé dans la littérature, des valeurs recommandées de dureté pour un BMN. Celle supposée correcte est rapportée par Sansoucy, (1986), entre 5 et 6 kg/cm<sup>2</sup>. Mais, elle n'a été mesurée à notre connaissance par aucun auteur.

◆ **Limites de proportions souhaitées pour chaque constituant**

Les limites hautes et basses pour les trois facteurs (rebuts dattes, son et ciment) sont rapportées dans le **tableau 3**.

**Tableau 3. Limites hautes et basses des proportions des ingrédients**

Facteurs variables		
Ingrédients (%)	Limite basse (L)	Limite haute (U)
Rebuts de dattes	47	62
Son	10	20
Liant	10	15
Facteurs fixes		
Eau	30l/100kg	
Urée	8	
Sel	2	
CMV	8	

◆ **Nombre de sommets :** Si nous ne prenons pas en compte les ingrédients dont les teneurs sont constantes, il reste 3 constituants qui forment un tétraèdre dans un espace à trois dimensions. Le nombre de sommets de ce tétraèdre est donné par la formule suivante :

$$Nb_{\text{sommets}} = k + \sum [(k-2r) \Gamma_{(r)} - (r-1) \Lambda_{(r)}]$$

K : nombre de constituant ; r : est un nombre entier variant de 1 à k ;  $\Gamma_{(r)}$  : est la somme des k termes,  $\Gamma_{(1)}, \Gamma_{(2)}, \Gamma_{(3)} \dots \Gamma_{(K)}$ .

Pour obtenir les sommets du polygone à trois constituants (rebuts de dattes, son et liant), on reporte ces résultats dans la formule générale :

$$\begin{aligned}
 Nb_{\text{sommets}} &= 3 + [(3-2) 2 - (1-1) 1] + [(3-4) 0 - (2-1) 1] + [(3-6) 0 - (3-1) 0] \\
 &= 3 + (2 - 0) + (0 - 1) + (0 + 0) = 4 \text{ sommets}
 \end{aligned}$$

Pour établir le modèle du second degré, il faut ajouter 4 points expérimentaux localisés au milieu des 4 arêtes du tétraèdre plus un au centre. Nous obtenons ainsi, un plan à 9 essais où les points expérimentaux sont situés aux sommets et au milieu des 4 arêtes du tétraèdre ainsi qu'au centre du domaine, représentant le domaine d'étude (**figure 9**).

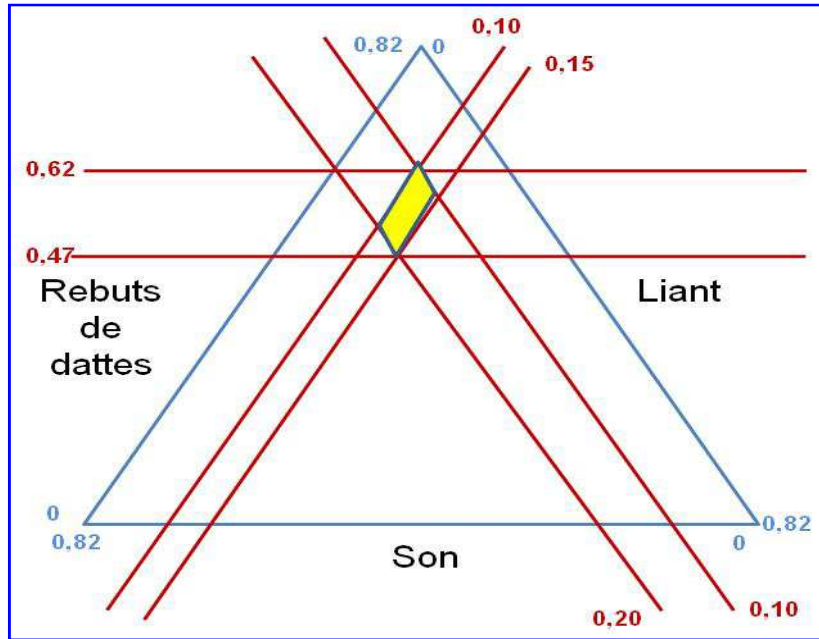


Figure 9. Représentation du domaine expérimental

- **Établissement de la table de toutes les expériences possibles :** avec 3 facteurs, le plan de mélange donne 9 essais. (Tableau 4).

Tableau 4. La Matrice en valeurs réelles

Essai N°	R dattes (%)	Son (%)	Liant (%)	Valeur énergétique UF/kg MS
1	0.620	0.100	0.100	0.78
2	0.595	0.100	0.125	0.75
3	0.570	0.100	0.150	0.73
4	0.570	0.150	0.100	0.78
5	0.545	0.150	0.125	0.75
6	0.520	0.150	0.150	0.72
7	0.520	0.200	0.100	0.77
8	0.495	0.200	0.125	0.75
9	0.470	0.200	0.150	0.72

- **Choix des réponses.**

La réponse est l'effet des facteurs et de leurs interactions sur la dureté du BMN. Nous avons vu que la dureté, contrôlerait et expliquerait le mieux son ingestion. Elle sera mesurée en surface (Surf) et en profondeur (Prof) sur la coupe ½. L'analyse des résultats est faite sur la

base de cinétique de courbes de duretés. Le but est d'étudier l'évolution dans le temps de la dureté.

- **Optimisation**

La recherche d'un optimum de dureté sera faite par le profil de désirabilité. Le maximum de dureté que nous avons obtenu sur des blocs en grandeur nature de 4kg est de 22 N/mm pour une teneur en MS de 78% après 7 jours de séchage à l'étuve à 45°C. La dureté sera recherchée sur la base des indications données par **Sansoucy (1986)** : 5-6kg/cm<sup>2</sup> avec une valeur nutritionnelle du BMN la plus élevée possible (maximum de rebuts de dattes et de son et minimum du liant). Les blocs sont confectionnés comme indiqué à la **figure 2**.

## **Chapitre 2. Mesures Zootechniques**

Ce chapitre sera traité en trois petites sections distinctes correspondant à une démarche classique pour évaluer un aliment : caractérisation ; ingestibilité, valeur nutritionnelle et performances zootechniques.

### **Essai 1 : Caractérisation physique et chimiques des aliments et mesure de l'acceptation des blocs chez l'ovine**

Les rations destinées aux animaux sont composées de paille de céréales et de bloc multinutritionnel à base de rebuts de datte distribuées à volonté.

#### **1. Fabrication des blocs**

Les ingrédients de fabrication sont les mêmes que ceux utilisés pour les travaux de laboratoire (**Tableau 1**), tout comme le diagramme de fabrication (**Figure 2**). La fabrication est manuelle (**Figure 10**). Le poids des blocs fabriqués est d'environ 3kg.



**Figure 10. Scène de moulage de blocs**

Trois formules sont testées (**Tableau 5.**) afin d'analyser avec plus de dispersion le comportement des animaux face aux BMN. Les teneurs en dattes (65, 50 et 35%) et en son (0,15 et 30%) sont choisis pour diluer progressivement les rebuts de datte dans la ration totale, pour mieux observer leur appétibilité.

**Tableau 5. Formulation des blocs multinutritionnels (en %)**

<b>Ingrédients</b>	<b>BMN 1</b>	<b>BMN 2</b>	<b>BMN 3</b>
<b>Urée (46%N)</b>	10	10	10
<b>Rebuts de dattes</b>	65	50	35
<b>Ciment</b>	15	15	15
<b>Aliment minéral</b>	8	8	8
<b>Sel de cuisine</b>	2	2	2
<b>Son de blé</b>	0	15	30
<b>Total (%)</b>	100	100	100
<b>Eau (litres/100kg)</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>

Le démoulage est effectué extemporanément et les blocs sont laissés séchés à l'air libre. Le temps de séchage était de 10 jours, au cours desquels les blocs sont régulièrement retournés, leur répartition sur l'aire de séchage est aléatoire. Pour rester dans les conditions de l'exploitation agricole, la teneur en matière sèche (MS) des blocs est mesurée par pesées sur les blocs exposés à l'air libre sur une aire de séchage couverte (température variant de 26 - 31°C). Les pesées ( $\pm 0,5g$ ) sont effectuées chaque jour à 9h30 (**Figure 11**).





**Figure 11. Blocs démoulés en cours de séchage**

Après séchage, le bloc est réintroduit dans le récipient avant d'être présenté à l'animal.

## **2. Mesures chimiques**

Sur les échantillons de paille et de BMN broyés à la grille de 0.8mm sont mesurées classiquement (AOAC, 1984), les teneurs en matière sèche (MS); en cendres (MM) et en matières azotées totales (MAT). De même, la paroi totale (NDF), la lignocellulose (ADF) et la lignine brute (ADL) sont dosées (Van Soest, 1963). Les hémicelluloses (HEM), la cellulose et la matière organique (MO) sont obtenues par différence.

## **3. Mesures physiques**

Elle consiste à mesurer la dureté des blocs, en utilisant la relation forte ( $R^2 = 0.99$ ) :

$$\text{Dureté}_{\text{bloc}} \text{ (N/mm)} = 235,71 * \text{MS} - 163,97 \text{ (Equation 8 dans ce travail)}$$

Tirée de nos résultats et existant entre la teneur en matière sèche (MS) et la dureté du bloc.

Elle est calculée à partir du point d'inflexion à 60 h de la courbe de dureté. Cette équation est valable à partir d'une teneur en MS de 70% du bloc (Trois jours de séchage). Nous l'utilisons sur le terrain pour des durées de séchage de 10 jours.

## **4. Mesures biologiques**

Elles concernent la mesure de l'appétibilité des blocs. Pour chaque formule, un lot homogène en poids de 5 moutons mâles de race Ouled djellal non castrés, âgés d'environ 18 mois est mis en place. Les animaux, déparasités, sont placés dans des boxes individuels pour une adaptation de 10 jours aux rations, constituées de blocs et de paille. Elles sont distribuées à

volonté tout comme l'eau de boisson à 9h et à 16h. A l'issue de cette période d'adaptation, les animaux sont pesés à jeun ( $\pm 10g$ ) et le poids enregistré. Les quantités ingérées de matière sèche (QIMS) sont mesurées pendant 15 jours. La pesée du distribué : paille et blocs, et de leur refus ( $\pm 0,5g$ ) est faite chaque matin à 8h 30. Le bloc d'un poids d'environ 3kg est consommé totalement en une semaine environ. A la fin de l'expérience, les animaux sont de nouveau pesés à jeun.

## **Essai 2 : Valeur nutritionnelle des Blocs**

Après avoir caractérisé nos blocs à base de rebuts de datte et constaté qu'ils sont appétibles chez le mouton, nous mesurons dans ce deuxième essai biologique, leur valeur nutritionnelle.

### **1. Préparation des blocs et mesures chimiques**

Dans cet essai, les techniques de fabrication des blocs multinutritionnels (BMN) : mélange, moulage, séchage à l'air libre pendant 10 jours; tout comme celles de la mesure de la dureté et celles des analyses chimiques : matière sèche (MS) ; matière minérales (MM) ; matière organique (MO) ; matières azotées totale (MAT) ; composés pariétaux totaux (NDF) ; hémicelluloses (HEC), complexe cellulose-lignine (ADF) et lignine brute (ADL) sont les mêmes que dans le premier essai.

### **2. Mesures biologiques**

Elles concernent, la mesure de l'ingestibilité des rations et celle de la digestibilité de leurs composants. Les rations sont constituées de :

- **Ration 1:** lot expérimental: 2 kg de paille + le bloc à volonté. Le bloc expérimental choisi est le BMN1 de l'essai 1 dont la formulation est la suivante : Rebuts de datte 65% ; liant 15% ; urée 10% ; CMV 8% et sel 2%.

- **Ration 2:** lot témoin: 2 kg de paille + 300 g/j de concentré (78% de maïs, 10% de tourteau de soja50, 10% de gros son, 1% d'aliment minéral (AM), et 1% de Na Cl.

- **Ration 3:** lot de référence : 2 kg de paille + 100 g/j de concentré, il est mis en place pour calculer par différence la digestibilité de la paille qui permet par la suite de calculer celle du bloc. Pour les trois rations, l'eau de boisson est donnée à volonté.

#### **○ Ingestibilité**

Pour chaque ration, 6 moutons de sexe mâle, de race Ouled djellal non castrés, âgés d'environ 18 mois sont utilisés. Les animaux, déparasités, pesés, sont placés dans des boîtes individuels

pour y être adaptés pendant 15 jours aux rations. A l'issue de cette période d'accoutumance, les quantités de matière sèche ingérée de paille seule et des rations totales sont mesurées durant 6 semaines par pesée du distribué, des refus de paille et des blocs (à  $\pm 0,5g$ ). Les animaux avaient été pesés ( $\pm 10g$ ) à jeun avant et après les mesures. Les résultats sont exprimés en g de MS/ kg<sup>0.75</sup>

#### ○ Digestibilité

Au bout des 6 semaines de mesure de l'ingestibilité, 4 animaux par ration sont placés en cages à métabolisme afin de mesurer la digestibilité des rations (**Figure 11**).



**Figure 11. Mesure de la digestibilité : les animaux en cage à métabolisme**

La mesure est faite durant 10 jours selon la méthode de prélèvement total des fèces (**Charlet-Levy, 1969**). La pesée du distribué et des refus de paille (à  $\pm 0,5g$ ), est faite chaque matin à 8h 30. Le bloc d'un poids d'environ 3kg à la distribution est pesé chaque matin pour déterminer les quantités ingérées par les animaux. Il est consommé totalement en une semaine environ. Le calcul de la digestibilité des composants de la ration totale: MS, MO, MAT, NDF, ADF et HEM est conventionnel. La digestibilité de la MO (dMO) et des MAT (dMAT) du concentré, du bloc et de la paille est calculée par différence selon **Giger et Sauvart, 1983**), en admettant l'absence de digestibilité associative entre paille et concentré ou entre paille et bloc. Sur la base du modèle générale:

$$\text{dMO ration (\%)} = [\text{PMOf} \times \text{dMOF} + \text{PMOc} \times \text{dMOc}]$$

puis est tirée la digestibilité de la MO du concentré avec : PMOf (proportion MO fourrage) et PMOc (proportion MO concentré). Le modèle est repris pour la dMO du bloc et celle de la paille ; puis pour les MAT de chaque aliment (bloc, paille et concentré).

○ **Valeur énergétique et niveau alimentaire permis par les rations et les blocs**

La valeur énergétique des rations et des blocs est calculée par la méthode INRA (INRA, 2007) et le niveau alimentaire permis par les rations totales, en admettant les besoins d'entretien des moutons à 23g de MODI/Kg<sup>0.75</sup>(INRA, 1978).

23g de MOD = 0,033 UFL pour l'ovin (INRA, 1978).

### **Essai 3 : Performances de croissance**

La fabrication des blocs, les analyses chimiques et la mesure de la dureté sont les mêmes que dans les deux essais précédents. Néanmoins, le séchage a été effectué à une température plus faible : variant entre 19 et 22C° (avril et mai) et 23 et 28C° (juillet août), la durée de séchage est la même (10 jours). Après séchage, le bloc est réintroduit dans le récipient avant d'être présenté à l'animal comme dans l'essai 2.

#### **1. Mesures biologiques**

Elles concernent, la mesure de performances de croissance d'ovins adultes âgés de 18 mois soumis à un régime composé de paille de blé de bonne qualité complétementée avec des blocs à lécher à composition extrême en rebuts de datte : 65% (BMN65) et 35% (BMN35).

Trois rations ont été constituées :

**Ration 1 BMN65** : paille, bloc et eau *ad libitum* ;

**Ration 2 BMN35** : paille, bloc et eau *ad libitum* ;

**Ration 3 BMN 35<sub>8h</sub>** : paille et eau à volonté, bloc en temps limité, de 8h à 16h.

La Ration BMN 35<sub>8h</sub> étudie la possibilité de limiter la consommation des blocs en ne le laissant à la disposition des animaux que 8 h par jour. Cette modulation de distribution pourrait permettre à une même formule de bloc d'être utilisée pour des animaux à statut alimentaire différent : entretien, croissance modérée par exemple.

## 2. Performances de croissance

Pour chaque ration est constitué un lot de 6 moutons mâles non castrés âgés de 18 mois, de race Ouled djellal. Les animaux sont déparasités et pesés pour constituer des lots homogènes en poids puis, ils sont placés dans des boxes individuels pour y être adaptés aux rations pendant 15 jours. A l'issue de cette période d'accoutumance, les animaux restent en cage individuelle. Ils subissent une double pesée sur deux jours successifs, la moyenne est prise comme poids initial (PI). Puis, chaque semaine à 9h, dans le même sens et à jeun, les pesées sont reprises pendant les 60 jours d'expérience. Les deux derniers jours de l'expérience, les animaux sont de nouveau pesés afin de calculer le Poids final (PF). Le gain moyen quotidien est obtenu par l'expression:

$$\text{GMQ(g)} = \text{PF-PI}/60\text{jours}$$

De même, la matière sèche ingérée de paille, de bloc et des rations totales est mesurée chaque matin par pesée du distribué et des refus (à  $\pm 0,5\text{g}$ ). Les résultats sont exprimés en g de MS/kgp<sup>0.75</sup>

## Chapitre 3. Analyse statistique des résultats

Nos résultats ont fait l'objet :

- **D'analyse de variance** à un facteur selon le modèle :  $Y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij}$

Où  $Y_{ij}$  : représente la variable expliquée ;  $\mu$  : la moyenne générale;  $\alpha_i$  : l'effet facteur et  $e_{ij}$  : l'erreur résiduelle du modèle. Puis les facteurs sont comparés deux à deux par le test de Student.

- **De calcul de régressions linéaires simples** qui répondent au même modèle que l'analyse de variance. Ces modèles ont été utilisés en particulier pour relier entre eux les paramètres de la caractérisation des blocs.
- **De calcul de régressions d'ordre 2 selon le modèle général :**

$$y = ax^2 + bx + c$$

Ce type de modèles a été utilisé pour l'étude de la cinétique de durété des blocs sur une longue période.

○ **D'établissement et de résolution de plans de mélange**

La démarche générale des plans de mélange consiste à traduire la variation d'une réponse en fonction des constituants du mélange par la relation :

$Y = f(X_i)$  avec  $X_i = 1$  et  $i$  variant entre 1 et  $k$  (le nombre total de facteurs).

Pour traduire les variations d'une réponse en fonction de la composition du mélange, il existe plusieurs modèles, à savoir le modèle linéaire, le modèle quadratique, le modèle spécial cubique. Pour élaborer un tel modèle de degré  $n$  avec  $k$  constituants, le réseau Scheffé ( $k, n$ ) propose de choisir les teneurs en  $X_i$  du mélange suivant la série  $0, 1/n, 2/n, \dots, n/n$  ; ainsi on aura autant de mélanges différents que de coefficients à déterminer dans le modèle polynomial.

○ **Modèle linéaire**

Dans le cas des mélanges, on a toujours la relation suivante :  $X_i = 1$  qui exprime la notion d'un mélange. De ce fait, le modèle linéaire prend la forme :  $Y = \sum a_k X_k$ . Ce modèle n'a pas de constante. Pour  $k=3$ , on aura :  $Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3$ . La résolution de cette équation nécessite alors trois mélanges, chacun étant situé au sommet du triangle représentatif du domaine expérimental.

○ **Modèle quadratique**

C'est un modèle de degré 2. Sa forme générale est :  $Y = \sum a_i X_i + \sum a_{ij} X_i X_j$  ( $j > i$ ).

Dans le cas du mélange ternaire on a :

$$Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_{12} X_1 X_2 + a_{13} X_1 X_3 + a_{23} X_2 X_3$$

Ce modèle est dicté par un réseau Scheffé (3,2) constitué par six points aux sommets et aux milieux des arrêts du triangle.

○ **Modèle spécial cubique**

Il s'agit cette fois d'un modèle de degré 3, ayant la forme générale suivante :

$$Y = \sum a_m X_m + \sum a_{ij} X_i X_j + \sum a_{ijh} X_i X_j X_h$$
 ( $i < j < h$ ) et  $m$  varie librement entre 1 et  $k$ .

Dans notre cas  $k=3$ , on a :

$$Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_{12} X_1 X_2 + a_{13} X_1 X_3 + a_{23} X_2 X_3 + a_{123} X_1 X_2 X_3$$

Dans ce cas, on a sept facteurs à déterminer, donc il nous faut sept mélanges qui seront pris aux sommets, aux milieux des arrêts et au centre de gravité du domaine expérimental.

○ **Estimation des coefficients du modèle**

Ils sont estimés par la fonctionnalité de 3 vecteurs et de la matrice des essais, soient :

Y est la vectrice réponse.

X est la matrice des essais

A est le vecteur inconnu des coefficients.

E est le vecteur des écarts.

Ces vecteurs sont reliés par la relation matricielle suivante :  $Y = XA + E$

La contrainte des moindres carrés «  ${}^tE * E$  soit minimale » nous conduit à trouver le vecteur inconnu A permettant de minimiser  ${}^tE * E$ , en effet, le vecteur recherché est donné par la formule suivante :  $A' = ({}^tX * X)^{-1} * {}^tX * Y$

○ **Recherche du modèle :**

En faisant une comparaison, avec le test de Snedecor, de la variance aléatoire et de la variance résiduelle définie par :  $s_R^2 = \frac{{}^tE * E}{n - (k + 1)}$ , on peut déboucher sur l'égalité (ou non) des ces deux variances.

Le test de Snedecor, ou test F, consiste en la comparaison de la valeur de  $F = s_R^2 / s^2$  à la valeur théorique  $F_{1-, n-k, n-1}$  où est le risque choisi.

○ **Tests de signification :**

Pour savoir si la part des variations de y expliquée par la régression est significativement plus grande que celle due aux variations aléatoires, on calcule le rapport suivant dit : loi de

Snedecor:  $F = \frac{({}^tA' * X * Y) / (k + 1)}{{}^tE * E / (n - (k + 1))}$ , si la valeur de F est significative (inégalité des deux variances), on peut conclure que les variables retenues pour la modélisation ont un effet significatif sur la réponse Y.

Le test de signification globale n'est significatif que si  $F > F_{1-, k, n-k}$ . Une fois ce test est fait, on passe à un autre test, mais cette fois ci pour chaque facteur : test de signification partielle. Ce test ne sera lui même significatif que si  $F > F_{1-, 1, n-k}$ .

En dernier lieu, et pour tester la fiabilité d'un modèle on calcule le coefficient de détermination ou « le pouvoir explicatif », donné par la formule :

$$R = 1 - \left[ \frac{\frac{\sum E^2}{n-k}}{\frac{\sum Y^2 - n \cdot y_0^2}{n-1}} \right]$$

Où  $y_0$  est la moyenne des  $y$ . Le modèle n'est fiable que si la valeur de  $R^2$  est proche de 1.

Les calculs sont effectués à l'aide du logiciel EXCEL pour l'analyse de la variance et l'établissement des régressions linéaires. STATISTICA version 7 pour l'analyse du plan d'expérience, le calcul du modèle et l'optimisation.



## **PARTIE 2 : RESULTATS**

Dans cette partie, nous présentons les résultats de caractérisation du bloc multinutritionnel mère (4kg) : granulométrie (sur rebuts de datte), temps de séchage, dureté moyenne en surface et en profondeur, homogénéité. Parallèlement, les mêmes paramètres seront étudiés sur des pastilles de 0,2 kg. Au final, il s'agit de relier les mesures faites sur le bloc à celles faites sur la pastille afin d'aboutir à des modèles de prédiction de la dureté dont les variables explicatives seraient simple à déterminer.

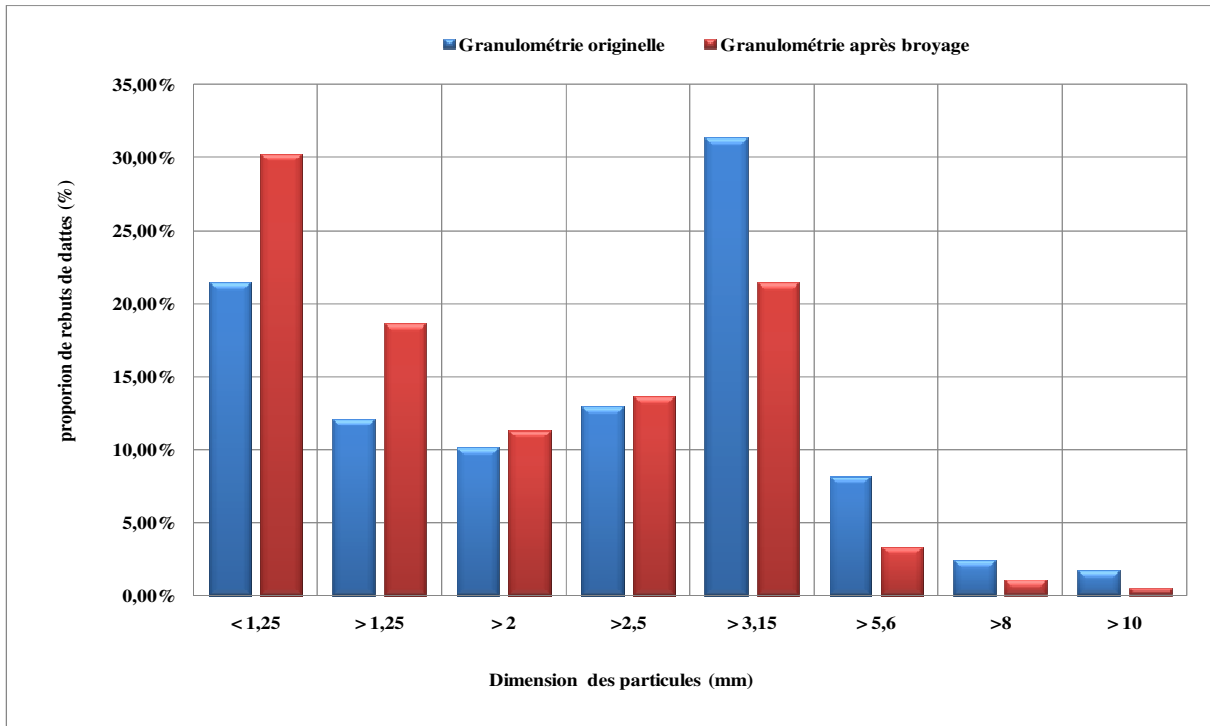
Enfin, nous analyserons les résultats du plan de mélange.

### **Chapitre 1 : Caractérisation des blocs**

Elle intéresse les paramètres : granulométrie des particules des rebuts de datte ; cinétique de la matière sèche, des blocs mère et des pastilles, la dureté en surface et en profondeur des blocs mère et des pastilles ainsi que la cartographie de leur dureté en surface et en profondeur.

#### **1. Granulométrie des rebuts de dattes**

Dans des essais préliminaires de fabrication de blocs, nous avons observé une mauvaise tenue de la matrice du bloc due en particulier à la grosseur de leur particules. Afin d'augmenter la proportion de petites particules considérées comme amélioratrice de la cohésion d'une masse, nous avons fait subir deux broyages successifs aux rebuts de datte. La distribution granulométrique après le deuxième broyage apparait sur la **figure 12**.



**Figure 12. Distribution granulométriques des rebuts de dattes**

L'histogramme est divisé en classes de dimension en abscisse de (< 1,25 mm) à (>10 mm), en ordonnée leur proportion en pourcentage de la masse totale. On remarque que les classes granulométriques de dattes ont diminué après le broyage de 10%, 5 %, 1,4 % et 1,2% respectivement pour les tailles de particules > 3,15mm, >5,6 mm, >8 mm et > 10 mm. Le pourcentage des particules plus fines a augmenté de 1,2 %, 6,6% et de 9 % respectivement pour les dimensions >2 mm, >1,25 mm et < 1,25 mm. Cette constatation est normale et caractérise le double broyage. Les particules étant broyées, chaque classe granulométrique alimente les classes granulométriques inférieures. Il s'en suit une diminution de la population de particules de forte taille aux profits des particules de petite taille.

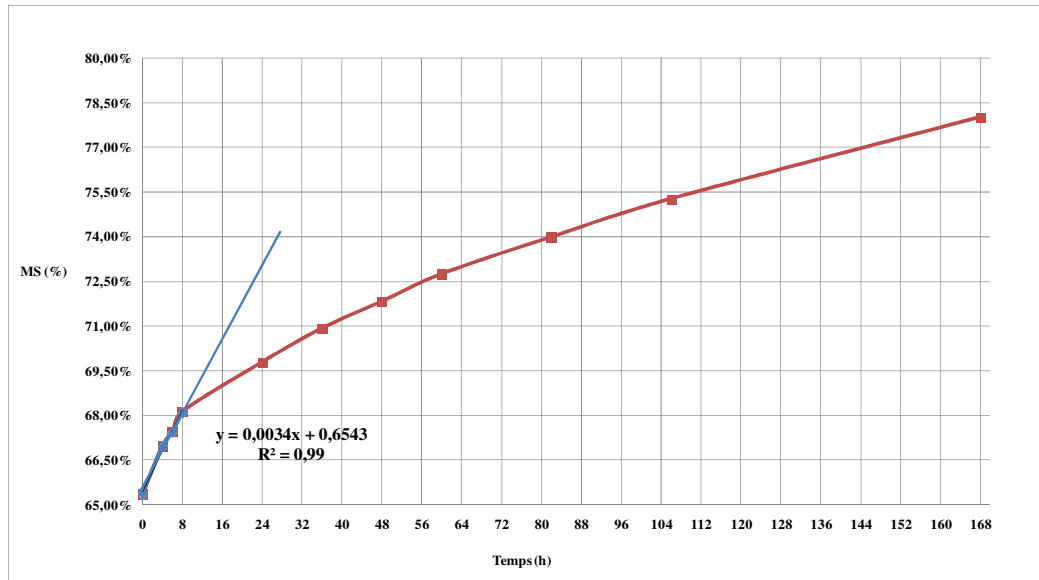
Le diamètre moyen des particules ( $d_{50}$ ) est passé de 2,75 mm avant le broyage à 2,17 mm après le broyage, soit une diminution moyenne de 22%. D'autres détails des résultats de calcul de la  $d_{50}$  est donné en **annexes 12 et 13**.

Après broyage, la tenue des blocs s'est très nettement améliorée, aucun arrachage de morceaux de bloc par l'animal n'a été observé.

Les rebuts de dattes à notre connaissance n'étant pas valorisés sous forme de BMN en alimentation animale, la granulométrie optimale n'est pas connue. Mais il nous semble qu'une  $d_{50}$  inférieure à 2mm est l'objectif vers lequel il faut tendre pour empêcher à l'animal d'arracher des morceaux de bloc, diminuant ainsi la cohésion de la masse.

## 2. Cinétique de séchage du bloc mère

La cinétique de séchage du bloc mère obtenue après 168h d'étuvage est montrée sur la **figure 13**.



**Figure 13. Cinétique de séchage du bloc mère**

La MS passe de 65% à la fabrication du bloc, à 78% après étuvage à 45°C pendant 168 heures (7 jours), soit une augmentation de 13 points. La vitesse de séchage est relativement élevée sur la plage horaire 0 à 8 heures. Mais sur l'ensemble de la période d'étuvage, la pente de la courbe de séchage (0,0034) est faible. En 7 jours de séchage, la quantité d'eau évacuée est faible, seulement 0,52kg sur une quantité initiale de 1,4 kg, soit une perte de seulement 37%. Cette eau est celle qui était faiblement retenue par la matrice : fixée par des liaisons hydrogène ; eau retenue par effet capillaire ou osmotique, eau occluse dans des mailles cristalline et eau de cristallisation. L'eau chimiquement liée par des liaisons covalentes et forces de Van der Waals n'est pas touchée.

A 50% du temps d'étuvage (84h) la MS a fait un gain de 9 points passant de 65 à 74% ce qui représente 70% de la MS totale mesurée à 168 h d'étuvage. La vitesse de sortie d'eau est élevée en début de séchage, puis elle ralentit. Ce résultat est néanmoins classique. La diffusivité de l'eau diminue avec le temps de séchage.

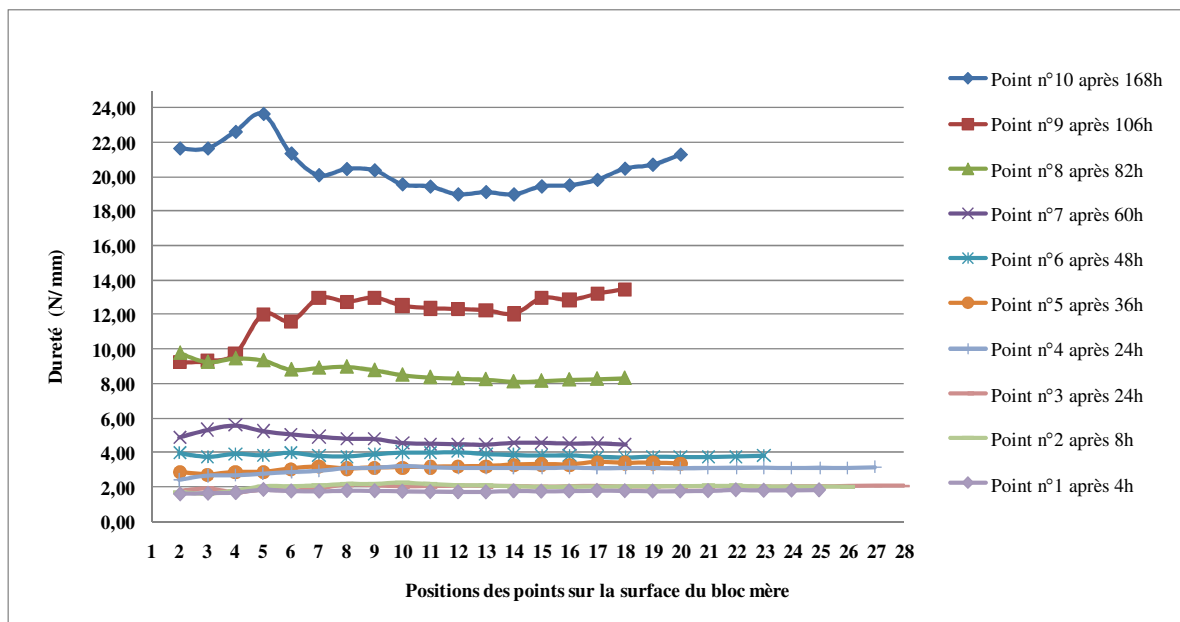
La valeur de MS de 78% obtenue après 7 jours de séchage à 45°C nous semble par hypothèse insuffisante pour une bonne conservation du bloc. Néanmoins, plus que la teneur en MS, c'est

l'activité de l'eau dans nos blocs qui pourrait nous donner des informations sur ses limites de conservations. Cette activité de l'eau n'a pu être mesurée.

### 3. Dureté du bloc mère en surface

Un des objectifs de ce travail est d'apprécier l'évolution dans le temps de la dureté et sa distribution à la surface du bloc. Une moyenne mobile de la dureté a été calculée sur toute la surface du bloc en fonction du temps de séchage. Pour avoir une dureté moyenne fiable, le nombre de mesures réalisées pour chaque temps de séchage est d'environ 30.

La **figure14**, illustre l'évolution des différentes valeurs de la dureté du bloc pour les 10 temps de séchages (4h, 6h, 8h, 24h, 36h, 48h, 60h, 82h, 106h et 168h). chaque temps est présenté par un numéro et contient 30 points de mesures, soit pour les 10 points de cinétiques, 300 mesures qui s'étalent sur toute la surface du bloc.

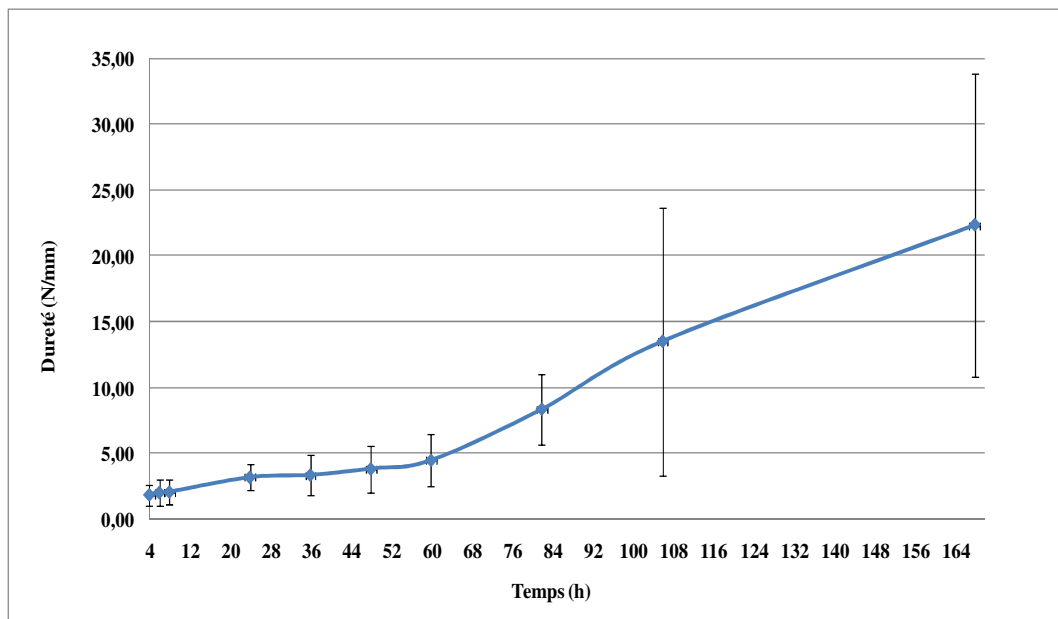


**Figure 14. Evolution des différentes duretés du bloc mère pour les 10 temps de séchages**

Nous constatons que l'allure générale de toutes les courbes tend vers une valeur limite qui correspond à la dureté moyenne. Cela signifie que le nombre de mesures réalisées sur la surface du bloc, environ 300, est suffisant pour avoir une moyenne représentative de la dureté du bloc mère. Il est intéressant de constater que jusqu'à 60 h de durée de séchage, l'évolution de la dureté est faible. Elle est concentrée pour les 7 premiers temps (jusqu'à 60h) sur une

plage de dureté de 2 à 4 N/mm. Le démarrage ne s'effectue qu'au delà de 60h. Ainsi, les points de cinétiques 82 ; 106 et 168 h présentent des dureté respectives de 8 ; 12 et 22 N/mm. Une présentation individuelle de chaque temps de séchage est rapportée en **annexe 14**.

La comptabilité moyenne à chaque point de cinétique de toutes les mesures de dureté à la surface du bloc est illustrée par la **figure 15** (détails en **annexe 15**).



**Figure 15. Evolution de la dureté moyenne du bloc mère en surface.**

En moyenne, on retrouve l'allure de la courbe de dureté présentant deux phases qui était déjà matérialisée sur la **figure 14**. Dans une première de 4h à 60h la dureté passe de 2 à 4 N/mm avec un pic fugace à 5 N/mm. A partir de 60 h elle augmente plus rapidement passant de 5 à 22 N/mm à 168h.

L'évolution de la dureté du bloc mère observée suit grossièrement l'allure générale de la cinétique de la matière sèche, comme le montre la **figure 16**. Néanmoins, la courbe de dureté à partir de 60h, présente une augmentation plus rapide que celle de la MS. Nous discuterons plus loin de cette particularité.

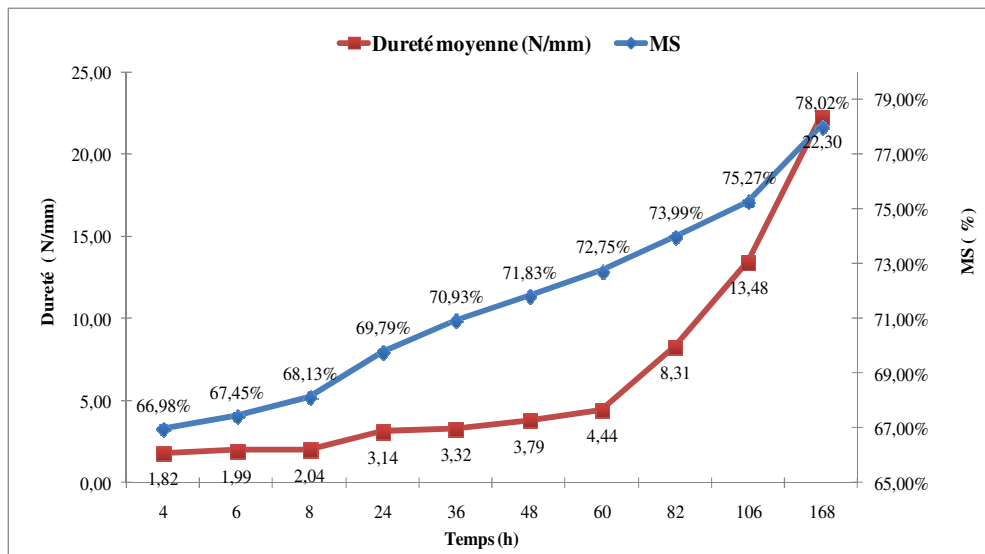


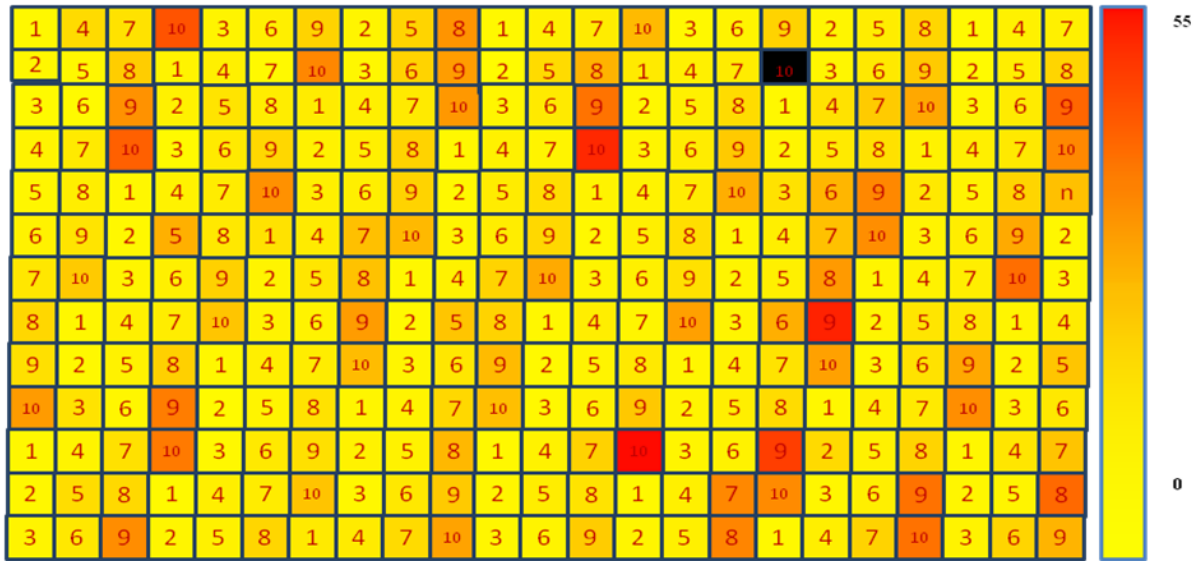
Figure 16. Cinétique de la dureté moyenne et de la MS du bloc mère

La dureté maximale obtenue après 7 jours de séchage est de 22 N/mm pour une teneur en MS de 78 %. Ce résultat suggère qu'un prolongement de la durée du séchage est nécessaire pour appréhender l'évolution de la dureté après 7 jours.

#### 4. Cartographie de la dureté du bloc mère en surface et en profondeur

##### ○ Cartographie en surface

Le bloc est une matrice composite ayant été obtenu avec un mélange d'ingrédients. Chaque ingrédient est caractérisé par sa granulométrie (rebuts de dattes par exemple). L'ajout de sel, de CMV, d'urée et de ciment est porteur de fine particules de nature chimique différente et probablement source d'hétérogénéité du bloc. La cartographie en surface du bloc montrée par la **figure 17** présente la distribution de la dureté en 10 temps de cinétique 4h (n°1), 6h (n° 2), 8h (n°3), 24h (n°4), 36h (n°5), 48h (n° 6), 60h (n° 7), 82h (n° 8), 106h (n°9) et 168h (n°10) sur toute la surface du bloc. A chaque temps, 30 mesures de la dureté sont faites sur 7 jours de séchage, soit 300 mesures.



**Figure 17. Cartographie du bloc mère en surface en fonction du temps**

La dureté augmente logiquement avec le temps de séchage, matérialisée par un gradient de couleur qui se fonce avec l'augmentation de la dureté. Comme c'était prévisible, la distribution de la dureté à la surface du bloc est très hétérogène, pour un même point (temps). par exemple, le point 9 distribué sur tout le bloc revêt toutes les nuances de couleur de la distribution de la dureté (**figure 18**).



**Figure 18. Distribution de la dureté à 106 h (point 9) en surface du bloc**

Il en est de même pour les points 8, 7, 6 et 10. Néanmoins, les points les plus foncés sont logiquement les 8 ; 9 et 10 qui correspondent aux temps, 82 ; 106 et 168h. Il est par ailleurs intéressant de constater que la distribution de la couleur foncée ne priorise pas spécialement les rebords du bloc comme on pourrait s'y attendre car la partie molle des rebuts sont distribuées de façon aléatoire sur toute la surface du bloc. L'hétérogénéité des ingrédients notamment des rebuts de datte explique en grande partie ces résultats. Par exemple, l'arrivée de la pointe du texturomètre sur un morceau de noyau donne une valeur de dureté plus élevée. De même, l'arrivée de la pointe sur une fissure (moindre résistance) peut donner une valeur de dureté plus faible. La **figure 19 et 20** montrant des fissuration et les morceaux de noyau (plus clairs) sur la surface du bloc.





**Figure 19. Bloc mère en surface à 7 jours**



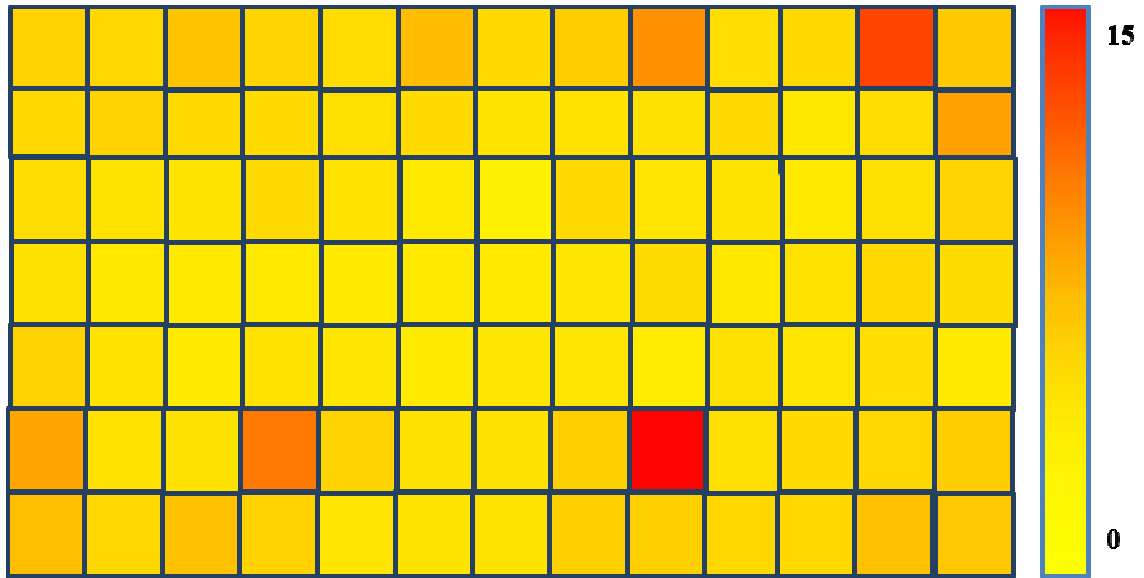
**Figure 20. Zoom de la partie sélectionnée, montrant des fissurations et des grosses particules de noyau**

○ **Cartographie en profondeur**

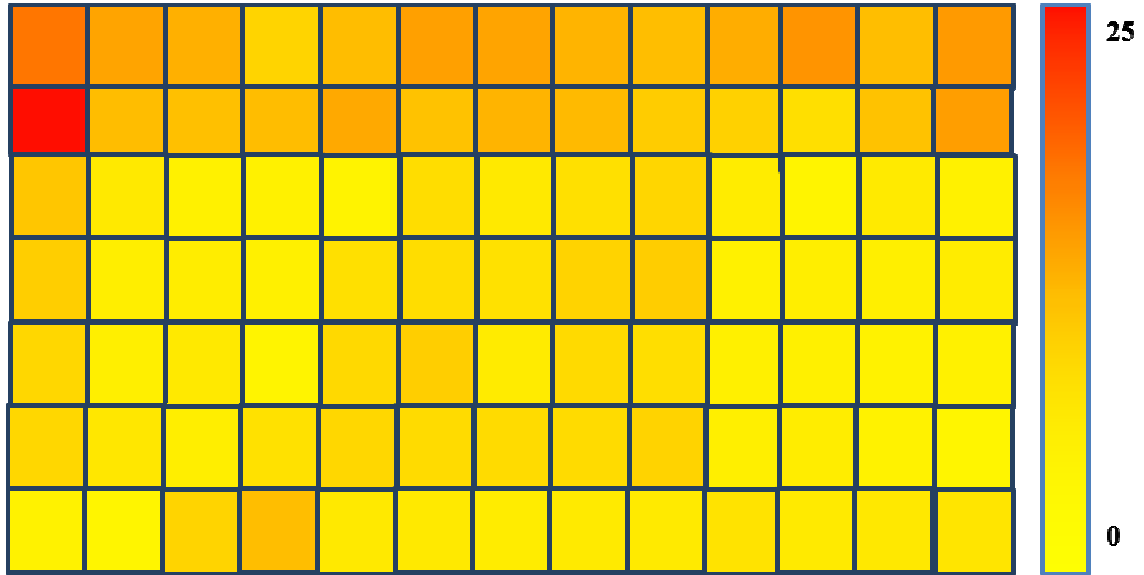
Nous avons réalisé deux coupes dans le bloc pour analyser le séchage en profondeur à 7 jours de séchage. Les **figures 21 et 22** montrent les cartographies de la dureté à la coupe  $\frac{1}{2}$  (la moitié du bloc) et à la coupe  $\frac{1}{4}$  (la moitié de l'une des deux moitiés), ainsi que deux photos réelles des deux faces en **annexe 16** (ces photos montrent les mailles de mesures de la dureté, 90 au total). La dureté est plus élevée sur la face  $\frac{1}{4}$  que sur la face  $\frac{1}{2}$ , ce qui est logique la face  $\frac{1}{2}$  est plus en profondeur du bloc. Il s'avère une différence très importante entre la dureté maximale en surface (55 N/mm) et celle obtenus pour la face  $\frac{1}{4}$  (25 N/mm) et la face  $\frac{1}{2}$  (15 N/mm). Il en découle pour les deux faces internes une cartographie, plus homogène que celle



de la surface, probablement à cause du fait que la dureté en profondeur est moins exposée aux agressions externes (température, humidité et ventilation de l'étuve) comme en surface. De ce fait, la chaleur serait mieux répartie, aboutissant à un séchage en profondeur plus doux qu'en surface.



**Figure 21. Cartographie de BMN en profondeur 1/2**

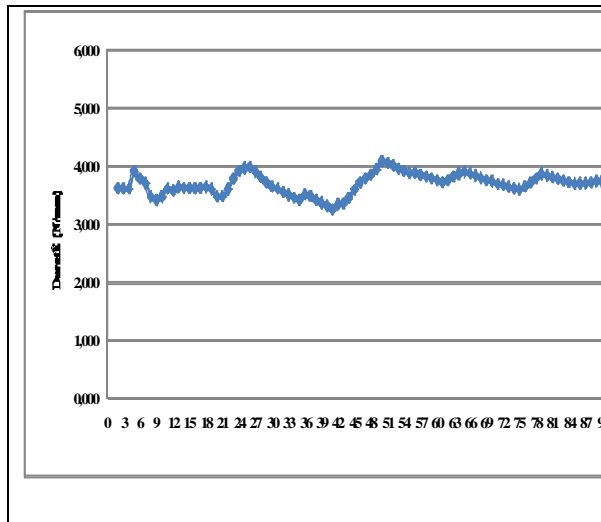


**Figure 22. Cartographie de BMN en profondeur 1/4**

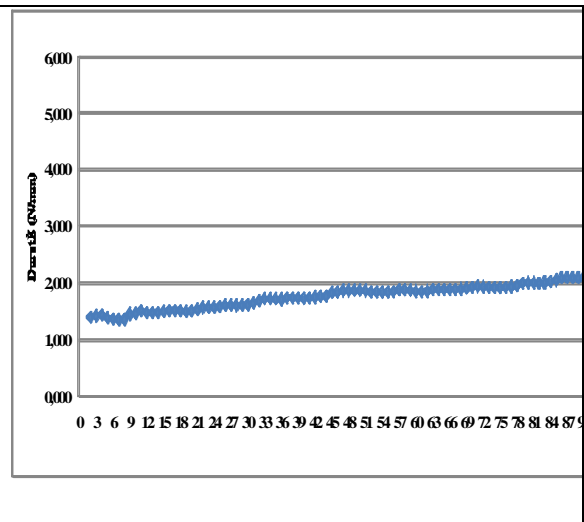
○ **Dureté moyenne du bloc mère en profondeur**

La dureté à l'intérieur du bloc sur des zones en profondeur dont la teneur en eau est logiquement plus élevée est importante à connaître, pour mieux comprendre la consommation du bloc par l'animal. La dureté est mesurée sur un seul temps, 7 jours (les morceaux de blocs

sont jetés après les mesures). Les **figures 23 et 24** représentent l'évolution de la moyenne mobile de la dureté sur les deux faces de bloc. On constate qu'il est constant et tend vers une valeur limite. Ce résultat traduit en fait, la répartition plus homogène en profondeur, de la dureté.



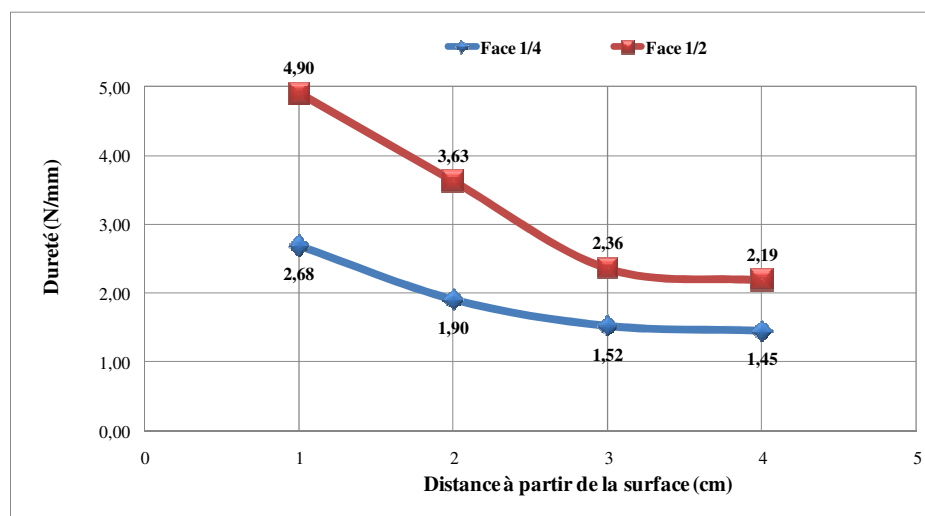
**Figure 23. Evolution de la moyenne mobile de la dureté sur la face 1/2 de coupe**



**Figure 24. Evolution de la moyenne mobile de la dureté sur la face 1/4 de coupe**

Néanmoins pour la face 1/2, on observe des oscillations plus importantes et une dureté moyenne de (3,5 N/mm) qui est plus élevée que celle à 1/4 du bloc (1,5 N/mm), ce qui n'était pas attendu. Nous n'expliquons pas ce résultat contradictoire.

La distance de la prise de mesure jusqu'à la surface, qui correspond à la distance que doit parcourir l'eau pour sortir du bloc est un paramètre intéressant à analyser. La **figure 25** exprime l'évolution de la dureté en profondeur en fonction de la distance des points par rapport à la surface.



**Figure 25. Évolution de la dureté du bloc mère en profondeur**

On remarque que la dureté régresse de la surface vers le centre du bloc, elle est de 4.90, et 2,68 en surface pour la face ½ et ¼ respectivement et de 2,19 et 1,45 au centre pour la face ½ et ¼ respectivement. Il est assez logique que l'évolution de la plus forte dureté va de la surface à la profondeur, mais on ne comprend pas pourquoi la coupe à ½ présente des valeurs plus élevée que la coupe ¼ . En effet il nous semble que la coupe ¼ plus proche des surfaces externes, subit des phénomènes de transferts plus favorables au séchage donc à la dureté. (annexes 17 et 18).

Nous avons éliminé quelques valeurs de dureté que nous pensions susceptibles d'entraîner ces résultats, la tendance n'a pas été modifiée (figure 26) nous observons toujours un gradient de dureté allant de la surface à la profondeur. Mais, la face ½ continue toujours à présenter des valeurs de dureté plus élevées que la face ¼. En dernière hypothèse, un ramollissement de la face ¼ a pu se produire pendant le temps qui s'est écoulé entre la découpe et le test de dureté (2 jours). Ajoutons que le bloc étant hygroscopique par sa teneur en urée, la face ½ plus chaude à la sortie de l'étuve, capterait plus fortement, l'humidité de l'air.

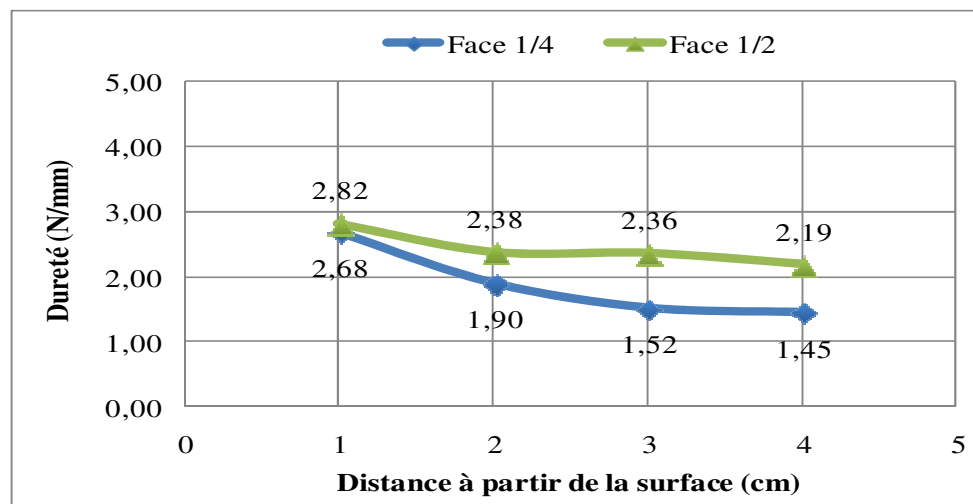
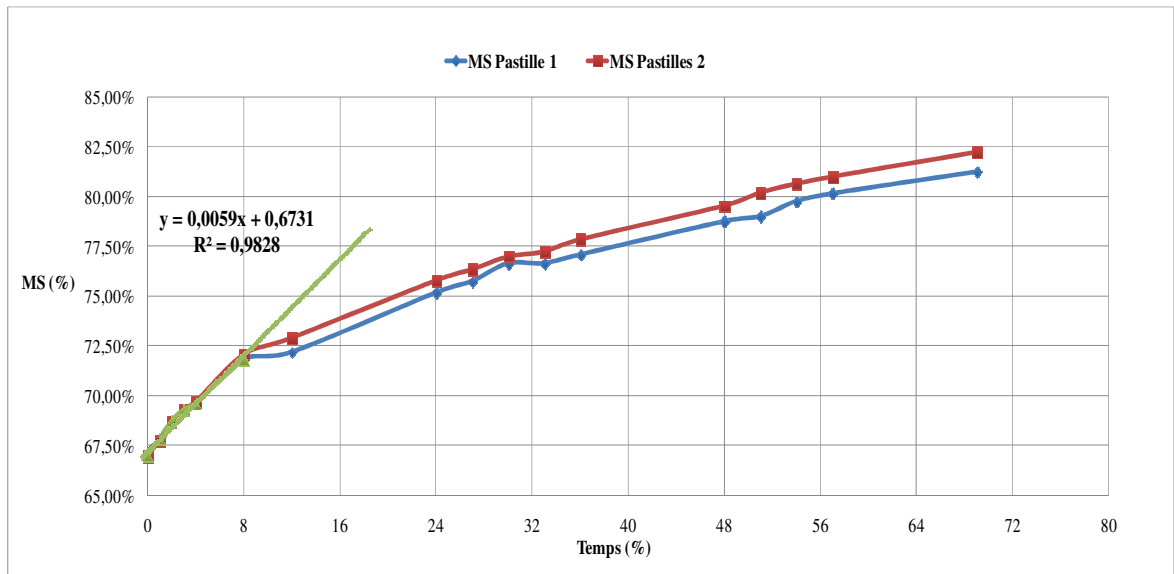


Figure 26. Évolution de la dureté du bloc mère en profondeur

## 5. Caractérisation physique des pastilles

### ○ Cinétique de séchage des pastilles

Souhaitant que les pastilles soient soumises à la même température que les blocs mère, la cinétique de séchage est menée durant 3 jours (72h) seulement, compte tenu de la taille de la pastille (0.2kg) comparativement à celle du bloc (4kg). Les résultats sont visibles sur la figure 27.



**Figure 27. Cinétique de séchage de pastilles traitées en double**

On remarque que les pastilles (traitées en doubles) atteignent 82 % de MS au bout de 3 jours, tandis que le bloc n'arrivait au bout de 7 jours de séchage qu'à 78 % de MS (**figure 13**). Cela nous paraît tout à fait logique compte tenu de la différence de poids entre le bloc mère (4 kg) et celle de la pastille (0,2kg). La valeur des pentes respectives des deux droites : 0,0034 et 0,0059 illustre bien la plus grande vitesse de séchage des pastilles comparées au bloc mere.

○ **Cinétique de la dureté des pastilles au centre et à la périphérie**

Nous avons comparé l'évolution de la dureté au centre et à la surface des pastilles. Le nombre de mesures réalisé pour chaque temps de séchage est d'environ 10. La **figure 28** illustre cette cinétique.

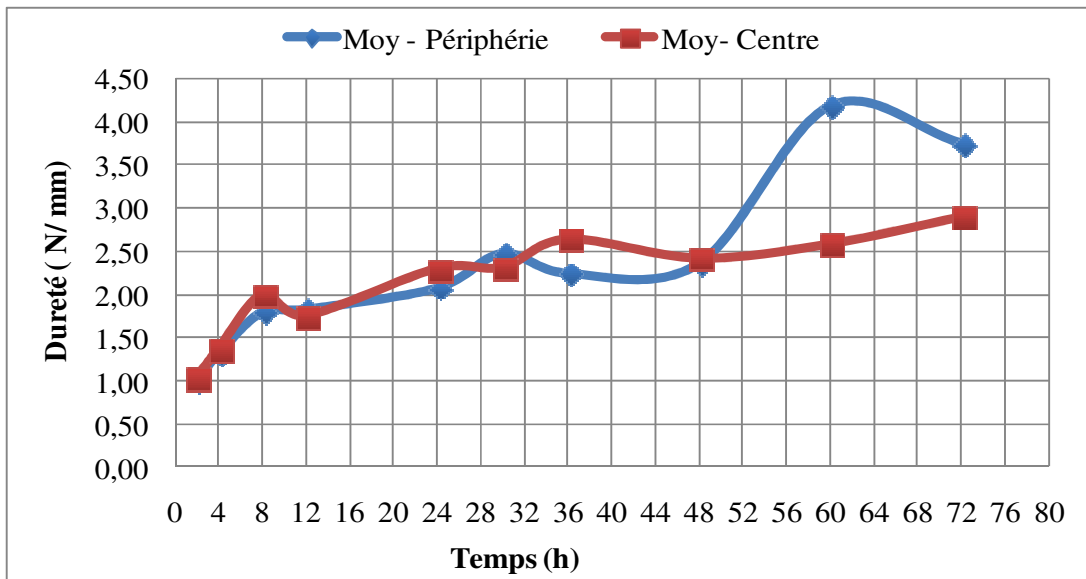


Figure 28. Cinétique de la dureté à la périphérie et au centre en surface de la pastille

On constate que la dureté au centre et à la surface des pastilles évolue globalement en parallèle jusqu'à 48h (2,5 N/mm). Puis la dureté à la surface se détache pour atteindre environ 4 N/mm contre environ 3 N/mm pour la dureté au centre. Ce résultat est logique, la périphérie étant plus exposée à la température externe. Par contre, la variabilité est plus marquée en profondeur qu'en surface (**figure 29**).

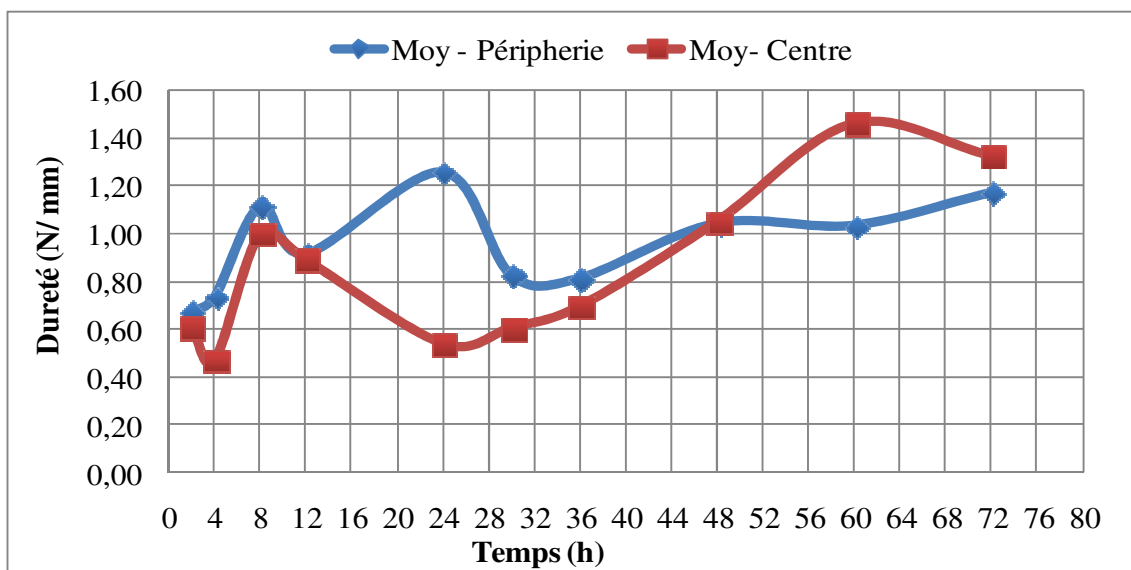
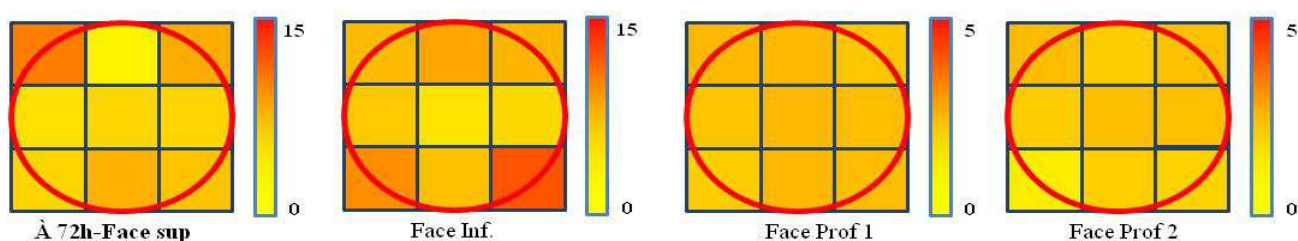


Figure 29. Cinétique de la dureté à la périphérie et au centre de la pastille

## 6. Cartographie des pastilles

Nous avons conservé le terme « cartographie » pour les pastilles, bien que disposant de moins de mesures par temps de cinétique (1 mesure) que le bloc ( 30 mesures). La distribution de la dureté en 10 temps 2h (n°1) , 4h (n° 2) , 8h (n°3) , 12h (n°4) , 24h (n°5) , 30h (n° 6) , 36h (n° 7) , 48h (n° 8), 60h (n°9) et 72h (n°10) sur toute la surface des pastilles ainsi qu'en profondeur est conforme aux résultats d'hétérogénéité que nous avons observés pour le bloc mère. Ainsi le point 10 montre une distribution des couleurs différentes entre les deux faces (face inférieure et supérieure) en surface et les deux faces en profondeur (**figure 30**).

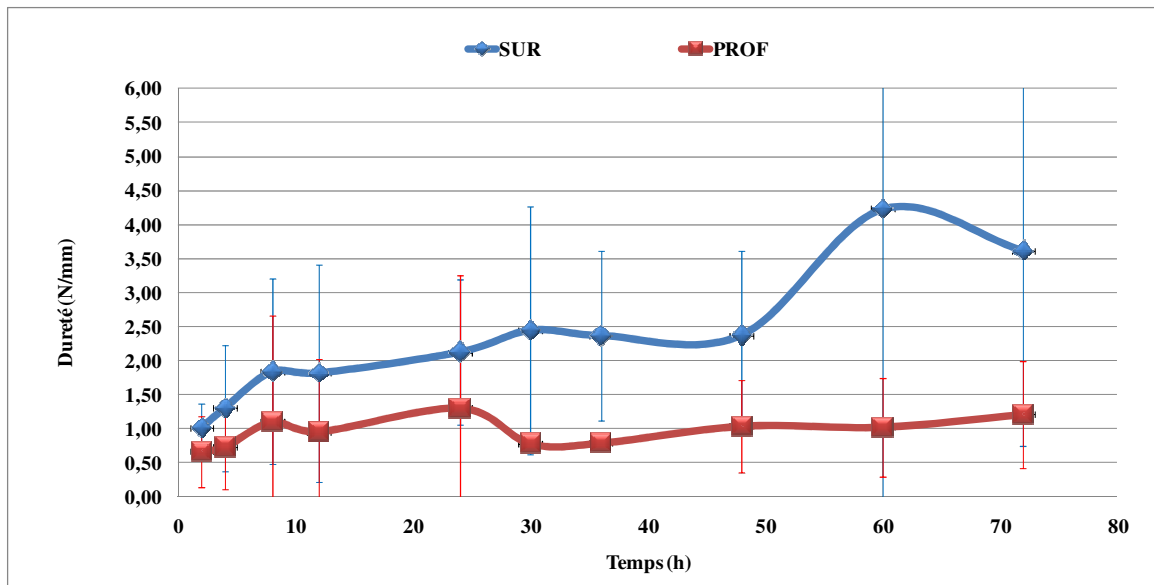


**Figure 30. Distribution de la dureté à 72 h (point 10) en surface (face inférieure et supérieure) et en profondeur (face profondeur 1 et 2) de la pastille.**

Il en est de même pour les points 9, 8, 7, 6 et 5 (**annexe 19**). L'**annexe 20** montre par ailleurs des photos en surface et en profondeur de la pastille, exposant l'hétérogénéité des profils, par la différence des couleurs entre le centre et la périphérie.

## 7. Dureté moyenne des pastilles en surface et en profondeur

Le **graphique 31** illustre l'effet du séchage sur la valeur de la dureté d'une pastille. Les mesures sont faites en surface et sur une coupe pour accéder à la valeur de dureté au coeur de la pastille. les valeurs de dureté sont rapportées en **annexe 21**.



**Figure 31. Cinétique de la dureté moyenne des pastilles en surface et en profondeur**

La dureté de la pastille en surface commence à augmenter à partir de 4h de séchage (phénomène déjà observé sur les blocs). Ces valeurs sont à peu près les mêmes pour le bloc mère : surtout à 60h (respectivement 1,82 et 4,5 N/mm). A 72 h de séchage, une petite baisse à 3,7N est observée due probablement à l'hétérogénéité des pastilles. Nous ne disposons pas de valeurs de dureté pour les pastilles au-delà de 72h, mais nous savons que celle du bloc mère progresse très fortement à partir de 60h de séchage (**figure 15**).

La dureté en profondeur quant à elle varie de 0,4 à 1,4 N/mm. Elle est nettement plus faible que pour la dureté en surface et relativement homogène sur la plage de séchage 30-72h. Nous n'avons pas pour la cinétique de dureté des pastilles, les points correspondants pour le bloc.

Le séchage de la pastille est plus rapide (82% de MS en 3j) que celui du bloc (78% de MS en 7j), mais étrangement pour une dureté 5 fois plus faible (4 N/mm contre 22N/mm).

## **Chapitre 2. Essais de prédiction des caractéristiques physiques du bloc mère**

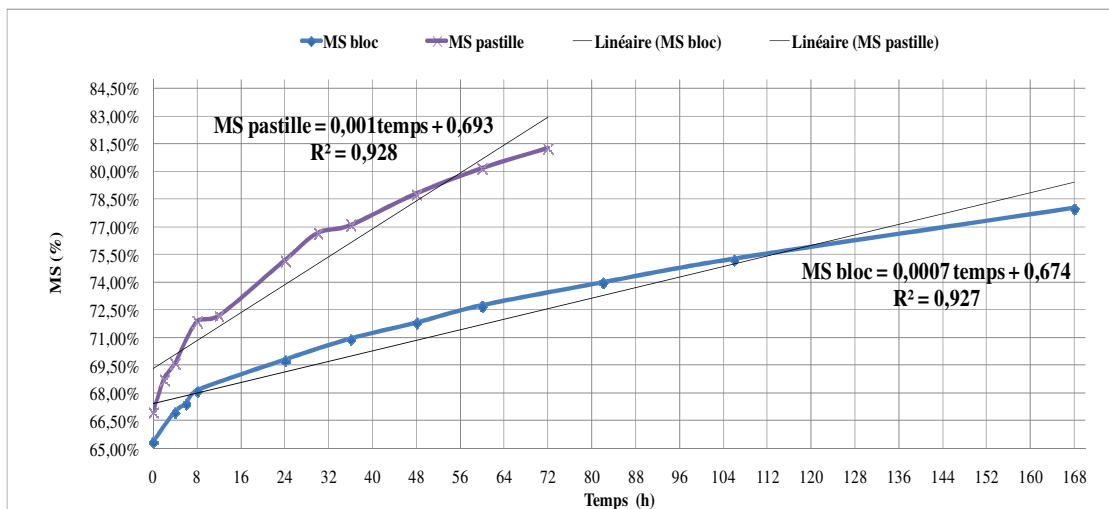
Le bloc mère par sa taille et son poids est adapté à une utilisation sur le terrain, alors que les pastilles sont plus adaptées au travail de laboratoire. L'un des objectifs de ce travail était de pouvoir prédire la dureté ou la teneur en MS des blocs, à partir de variables simples à mesurer. En cet objectif, les pastilles voient leur utilité. Nous avons choisi quatre associations de variables dont nous avons cherché la liaison statistique :

- Prédire la MS du bloc à partir de la MS pastille

- Prédire la dureté du bloc à partir de sa MS
- Prédire la dureté de la pastille à partir de sa MS
- Prédire la dureté du bloc à partir de la MS de la pastille

## 1. Prédire la MS bloc mère à partir de la MS pastille

La méthode consiste à établir un système de deux équations à une inconnue (temps). La première équation concerne la cinétique de la MS du bloc mère, la 2<sup>ème</sup> équation concerne la cinétique de la MS de la pastille (**figure 32**).



**Figure 32. Cinétique de la MS de bloc mère et celle de la pastille.**

✓ **Le bloc mère :**

$$MS_{\text{bloc}} (\%) = 0,6743 + 0,0007 * \text{temps} ; R^2 = 0,92 ; p = 0,0001 ; \text{Ecart-type} = 0,07 ; n = 10 \quad (1)$$

✓ **Pastille :**

$$MS_{\text{pastille}} (\%) = 0,693 + 0,0019 * \text{temps} ; R^2 = 0,92 ; p = 0,0001 ; \text{Ecart-type} = 0,000023 ; n = 10 \quad (2)$$

Nous avons exprimé le temps dans l'équation (1) par la MS de l'équation (2), le modèle de prédiction est :

$$MS_{\text{bloc}} (\%) = 0,37 * MS_{\text{pastille}} + 0,42 \quad (3)$$

Les valeurs prédites de la MS<sub>bloc</sub> mère en fonction de la MS<sub>pastille</sub> sont données dans le **tableau 6**.

Comme on peut le constater, la MS du bloc mère est excellemment prédite par celle des pastilles. En moyenne, lorsque la MS mesurée réellement en laboratoire sur des pastilles de 200g est de 71.5%, celle prédite pour des blocs mère de 4kg, est de 71.22. Le rapport  $MS_m/MS_p \times 100$  est de 99.6, proche de 100 %.



**Tableau 6. Valeurs prédites de la MS bloc mère**

Temps (h)	MS <sub>pastille</sub> (%)	MS <sub>bloc</sub> Prédite (%)	MS mesurée (%)	R (1)
4,07	69,50	67,72	66,98	101,10
6,71	70,00	67,90	67,45	100,67
8,29	70,30	68,01	68,13	99,83
24,15	73,30	69,12	69,79	99,04
36,31	75,60	69,97	70,93	98,65
48,99	78,00	70,86	71,83	98,66
59,57	80,00	71,60	72,75	98,42
82,29	84,30	73,19	73,99	98,92
107,14	89,00	74,93	75,27	99,54
168,45	100	79,22	78,02	101,54
<b>Moyenne</b>	-	<b>71,22</b>	<b>71,52</b>	<b>99,63</b>

(1) :  $R = MS_m / MS_p \times 100$  ; MS<sub>m</sub>: MS mesurée ; MS<sub>p</sub> : MS prédite

## 2. Prédire la dureté du bloc à partir de sa propre MS

La première équation concerne la cinétique de la MS bloc mère, la 2<sup>ème</sup> équation celle de la dureté du bloc mère. Nous avons divisé cette dernière en deux branches (a pour 0-60 h et b pour 60-168h) pour mieux prendre en compte la dynamique de la dureté. (**figure 33**).

✓ **Equation de la MS en fonction du temps**

$$MS_{\text{bloc}} (\%) = 0,6743 + 0,00073 * \text{temps}; R^2 = 0,92 ; p < 0,0001 ; \text{Ecart-type} = 0,014 ; n = 10 \quad (4)$$

✓ **Equation de la dureté en fonction du temps de 4 à 60 heures**

$$\text{Dureté}_{\text{bloc}} (\text{N/mm}) = 1,73 + 0,045 * \text{temps}; R^2 = 0,97 ; p < 0,0001 ; \text{Ecart-type} = 0,069 ; n = 7 \quad (5)$$

✓ **Equation de la dureté en fonction du temps de 60 à 168 heures**

$$\text{Dureté}_{\text{bloc}} (\text{N/mm}) = - 5,03 + 0,16 * \text{temps}; R^2 = 0,99 ; p < 0,004 ; \text{Ecart-type} = 0,063 ; n = 4 \quad (6)$$

Nous avons exprimé le temps dans les équations (5) et (6) par la MS de l'équation (4), le modèle de prédiction de la dureté sera donc :

De 4 à 60 h :

$$\text{Dureté}_{\text{bloc}} (\text{N/mm}) = 64,43 * MS - 41,71 \quad (7)$$

De 60 à 168 h :

$$\text{Dureté}_{\text{bloc}} (\text{N/mm}) = 235,71 * MS - 163,97 \quad (8)$$

Les valeurs prédites de la dureté sont données dans le **tableau 7**.

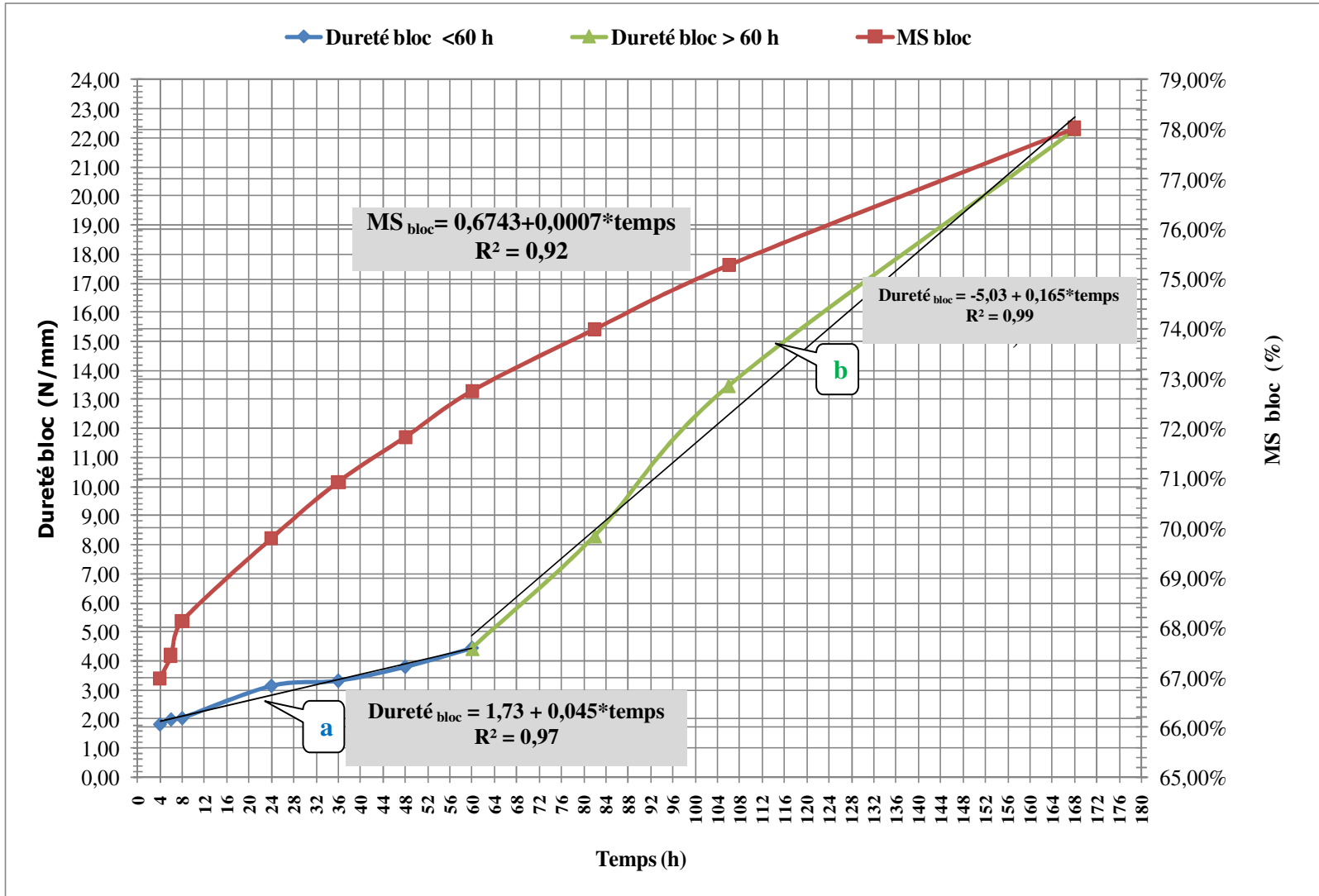


Figure 33. Cinétique de la dureté et de la MS du bloc mère en surface.

**Tableau 7. Valeurs prédites de la dureté en surface**

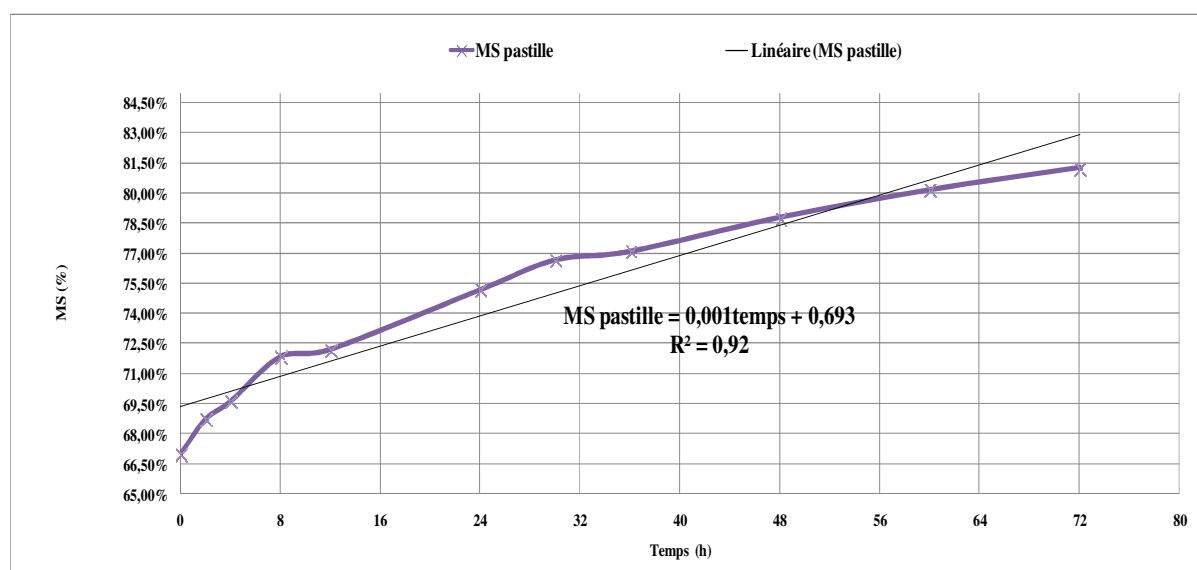
Temps (h)	MS <sub>bloc</sub> (%)	Dureté prédite (N/mm)	Dureté mesurée (N/mm)	R (%) (1)
4	67,70%	1,92	1,82	105,14
6	67,85%	2,01	1,99	101,06
8	68,00%	2,11	2,04	103,58
24	69,10%	2,82	3,14	89,67
37	70,00%	3,40	3,32	102,39
49	71,30%	4,24	3,79	111,65
60	72,10%	4,75	4,44	107,00
82	73,65%	9,63	8,31	115,87
106	75,35%	13,64	13,48	101,19
168	79,65%	23,77	22,30	107,61
<b>Moyenne</b>		<b>6,68</b>	<b>6,46</b>	<b>104,52</b>

(1) :  $R = D_m/D_p \times 100$  ;  $D_m$  : dureté mesurée ;  $D_p$  : dureté prédite

Il apparaît donc que, lorsque la dureté mesurée est de 6.46 N/mm, celle prédite est de 6.68, soit une surestimation acceptable de 4.52%.

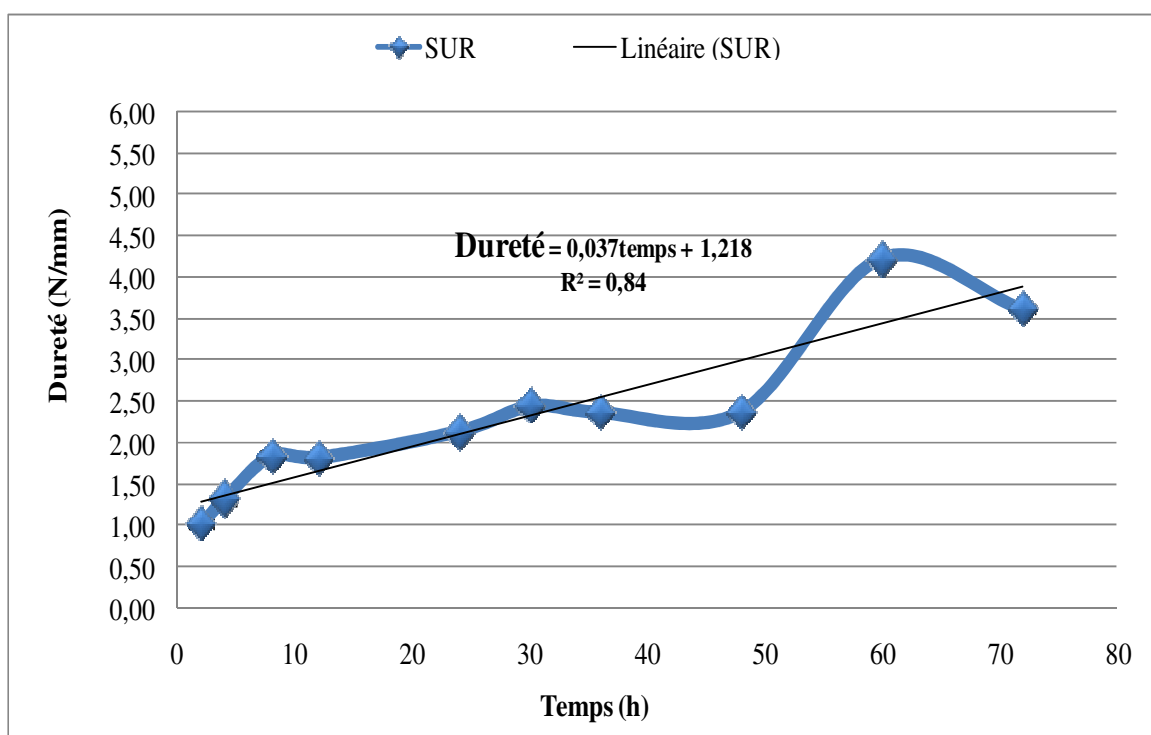
### 3. Dureté de la pastille en fonction de sa MS

La première équation concerne la cinétique de la MS pastille (**figure 34**). La MS de la pastille de 66% à 80% au bout de 72h l'allure de la courbe est normale avec une montée continue de la teneur en MS des pastilles (courbe de tendance de la **figure 34**).



**Figure 34. Cinétique de la MS moyenne de la pastille**

La deuxième équation concerne la dureté de la pastille en fonction du temps. L'évolution de la courbe est marquée par deux diminutions : une baisse entre 40 et 50h de séchage et une entre 60 et 72h sans que nous puissions expliquer ces variations (**Figure 35**). Il en découle un  $R^2$  inférieur à 0.90 qui dénote un ajustement insatisfaisant des valeurs de la dureté « Pastille » sur le modèle linéaire théorique, ce qui était prévisible.



**Figure 35. Evolution de la dureté moyenne de la pastille en surface**

Sur les mêmes bases que précédemment :

$$MS_{\text{pastille}} (\%) = 0,6935 + 0,0019 * \text{temps}; R^2 = 0,92 ; p < 0,0001 ; \text{Ecart-type} = 0 ; n = 10 \quad (9)$$

$$Dureté_{\text{pastille}} (\text{N/mm}) = 1,218 + 0,037 * \text{temps}; R^2 = 0,84; p < 0,00017; \text{Ecart-type} = 0,14; n = 10 \quad (10)$$

On remplaçant la variable temps dans l'équation (10) par la MS de la pastille on obtient, l'équation (11) : **Dureté<sub>pastille</sub> (N/mm) = 18,5\*MS – 11,564** (11)

L'équation (3) obtenue, appliquée à la prédiction de la dureté des pastilles n'est pas satisfaisante comme le montre les résultats du **tableau 8**.

Les écarts sont importants (81-128) avec une faible valeur de dureté à 60 h par exemple.

**Tableau 8. Valeurs prédites de la dureté en surface de la pastille.**

Temps (h)	MS <sub>pastille</sub> (%)	Dureté prédite (N/mm)	Dureté mesurée (N/mm)	R (%) (1)
2,05	69,50%	1,29	1,01	127,89
4,55	70,00%	1,39	1,30	106,36
8,05	70,70%	1,52	1,84	82,45
12,05	71,50%	1,66	1,82	91,65
24,05	73,90%	2,11	2,12	99,21
30,05	75,10%	2,33	2,45	95,25
36,05	76,30%	2,55	2,37	107,75
48,05	78,70%	3,00	2,37	126,23
60,05	81,10%	3,44	4,23	81,30
72,05	83,50%	3,88	3,62	107,35
<b>Moyenne</b>	-	<b>2.32</b>	<b>2.31</b>	<b>102.54</b>

(1) :  $R = D_m / D_p \times 100$  ;  $D_m$  : dureté mesurée ;  $D_p$  : dureté prédite

#### 4. Dureté du bloc mère en fonction de la MS pastille.

Sur les mêmes bases que précédemment :

✓ Equation de la MS pastille en fonction du temps (figure 36)

$MS_{pastille} (\%) = 0,6935 + 0,0019 \times \text{temps}$  ;  $R^2 = 0,92$  ;  $p < 0,0001$  ; Ecart-type = 0,010 ;  $n = 10$  (12)

✓ Equation de la dureté en fonction du temps de 4 à 60 heures (figure 36)

$Dureté_{bloc} (N/mm) = 1,7366 + 0,045 \times \text{temps}$  ;  $R^2 = 0,97$  ;  $p < 0,0001$  ; Ecart-type = 0,065 ;  $n = 7$  (13)

✓ Equation de la dureté en fonction du temps de 60 à 168 heures (figure 36)

$Dureté_{bloc} (N/mm) = -5,0315 + 0,165 \times \text{temps}$  ;  $R^2 = 0,99$  ;  $p < 0,004$  ; Ecart-type = 0,063 ;  $n = 4$  (14)

Le temps est exprimé dans les équations (13) et (14) par la MS de l'équation (12), le modèle de prédiction de la dureté sera donc :

De 4 à 60 h :  $Dureté_{bloc} (N/mm) = 23,74 \times MS_{pastille} - 14,72$  (15)

De 60 à 168 h :  $Dureté_{bloc} (N/mm) = 86,84 \times MS_{pastille} - 65,26$  (16)

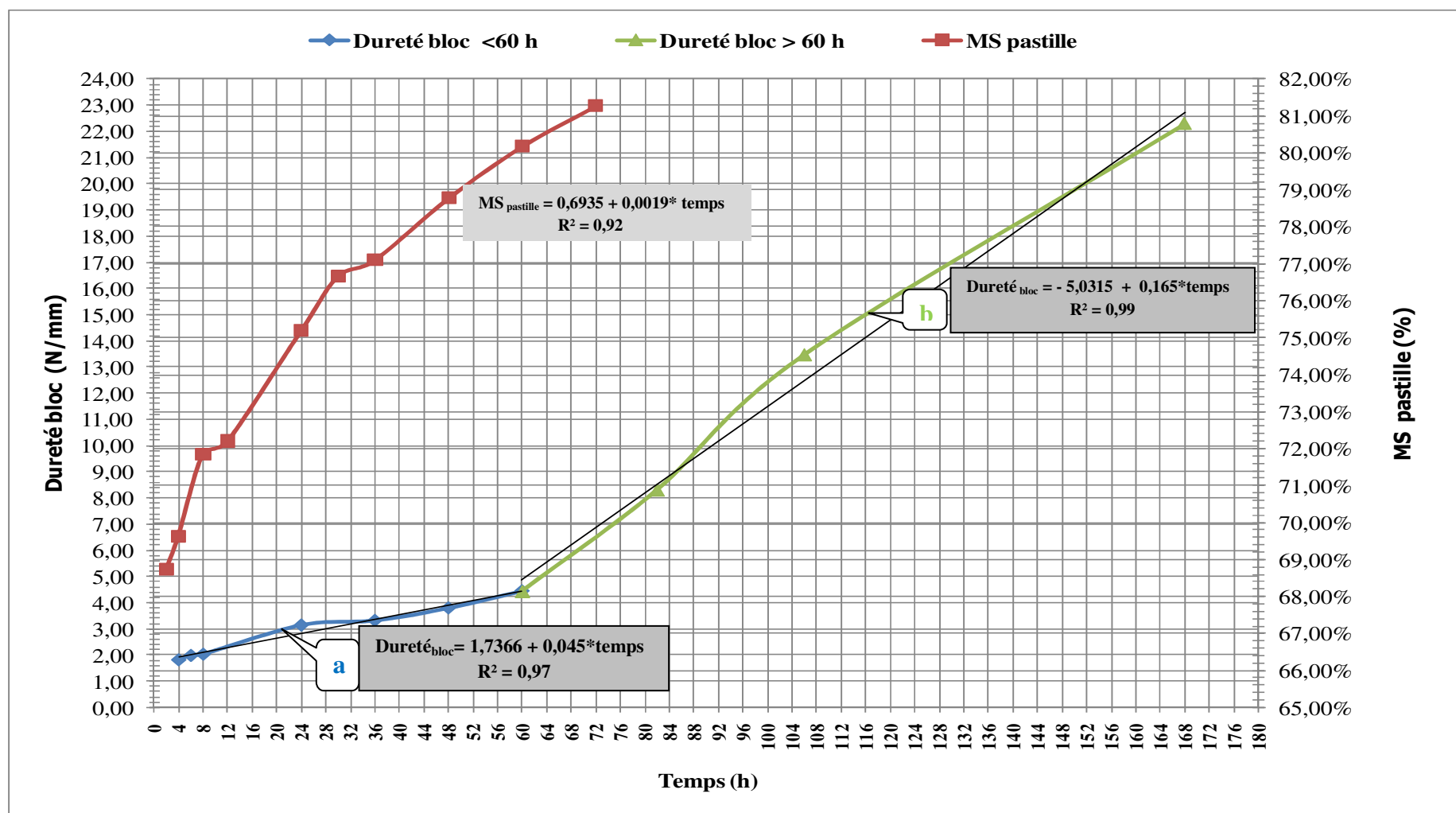


Figure 36. Cinétique de la dureté moyenne du bloc en surface et de la MS moyenne de la pastille.

Les valeurs prédites sont données dans le **tableau 9**.

**Tableau 9. Valeurs prédites de la dureté bloc mère.**

Temps (h)	MSpastille(%)	Dureté prédite du bloc (N/mm)	Dureté mesurée (N/mm)	R (1)
4	70,18%	1,94	1,82	106,45
6	70,50%	2,02	1,99	101,28
8	70,86%	2,10	2,04	103,21
24	74,00%	2,85	3,14	90,62
36	76,20%	3,37	3,32	101,54
48	78,40%	3,89	3,79	102,59
60	81,00%	5,08	4,44	114,41
82	85,00%	8,55	8,31	102,92
106	89,40%	12,37	13,48	91,82
168	100 %	22,71	22,30	101,82
<b>Moyenne</b>		<b>6.49</b>	<b>6.46</b>	<b>101.66</b>

(1) :  $R = D_m/D_p \times 100$  ;  $D_m$  : dureté mesurée ;  $D_p$  : dureté prédite

Le **tableau 10**, récapitule les 4 modèles de prédiction que nous avons calculés. Il est logique de penser que, compte tenu de l'hétérogénéité des composants des matières premières constituant les blocs, la dureté mesurée sur une petite surface (cas des pastilles) est plus susceptible de forte variation.

Les modèles II et IV sont particulièrement bien adaptés pour estimer la dureté des blocs sur le terrain. Le modèle IV encore plus que le modèle I car les pastilles exigent très peu de matières première et que, l'évaluation de la MS des pastilles est rapide à 45°C et ce temps peut être encore diminué.

**Tableau 10. Récapitulation des modèles de prédiction**

N°	Paramètres	Variable Expl (1)	Variable Pred (2)	Modèles
<b>I</b>	<b>MS bloc-MS pastille</b>	MS pastille	MS bloc	$MS_{\text{bloc}} (\%) = 0,37 * MS_{\text{pastille}} + 0,42$
<b>II</b>	<b>MS bloc-dureté bloc</b>	MS bloc	Dureté bloc	$Dureté_{\text{bloc}} (N/mm) = 235,71 * MS_{\text{bloc}} - 163,97$
<b>III</b>	<b>Dureté Pastille-Dureté MS pastille</b>	MS pastille	Dureté pastille	$Dureté_{\text{pastille}} (N/mm) = 18,5 * MS_{\text{pastille}} - 11,564$
<b>IV</b>	<b>Dureté bloc-MS pastille</b>	Ms pastille	Dureté bloc	$Dureté_{\text{bloc}} (N/mm) = 86,84 * MS_{\text{pastille}} - 65,26$

(1) : variable explicative ; (2) variable prédictible

## Chapitre 3. Analyse du plan de mélanges

L'objectif du plan de mélange est de révéler les variations de la dureté en surface et en profondeur des pastilles en fonction des formulations et du temps de séchage. En parallèle, l'analyse de la MS sera faite par pesée des pastilles. Mais, elle ne sera pas analysée dans le plan de mélange car elle ne dépend pas de la formulation de nos mélanges. Une optimisation de la dureté pour rechercher la formulation correspondante sera tentée par la fonction de désirabilité.

### 1. Résultats mesurés de dureté et de MS des pastilles

Les résultats apparaissent dans le **tableau 11**.

**Tableau 11. Matrice de dureté moyenne des pastilles en surface et en profondeur**

	facteurs			Dureté (N/mm)								
	R dattes	Son	Liant	2J prof	2J surf	4J prof	4J surf	8J prof	8J surf	MS à J2	MS à J4	MS à J 8
1.	0.620	0.10	0.100	0.448	2.060	1.262	3.699	4.249	41.185	0.733	0.787	0.834
2.	0.595	0.10	0.125	0.517	3.392	1.363	9.190	4.674	60.837	0.713	0.777	0.837
3.	0.570	0.10	0.150	0.551	4.878	1.325	37.09	4.335	76.57	0.717	0.786	0.889
4.	0.570	0.15	0.100	0.483	1.910	1.291	7.876	4.366	48.87	0.741	0.833	0.880
5.	0.545	0.15	0.125	0.530	2.681	1.365	8.797	3.950	49.59	0.740	0.836	0.873
6.	0.520	0.15	0.150	0.577	3.453	1.438	9.718	3.534	50.29	0.739	0.839	0.867
7.	0.520	0.20	0.100	0.561	1.811	1.292	18.616	5.774	56.46	0.727	0.828	0.881
8.	0.495	0.20	0.125	0.719	2.522	1.477	8.415	6.763	56.76	0.733	0.795	0.885
9.	0.470	0.200	0.150	0.651	2.157	1.615	19.68	5.429	47.73	0.756	0.828	0.893

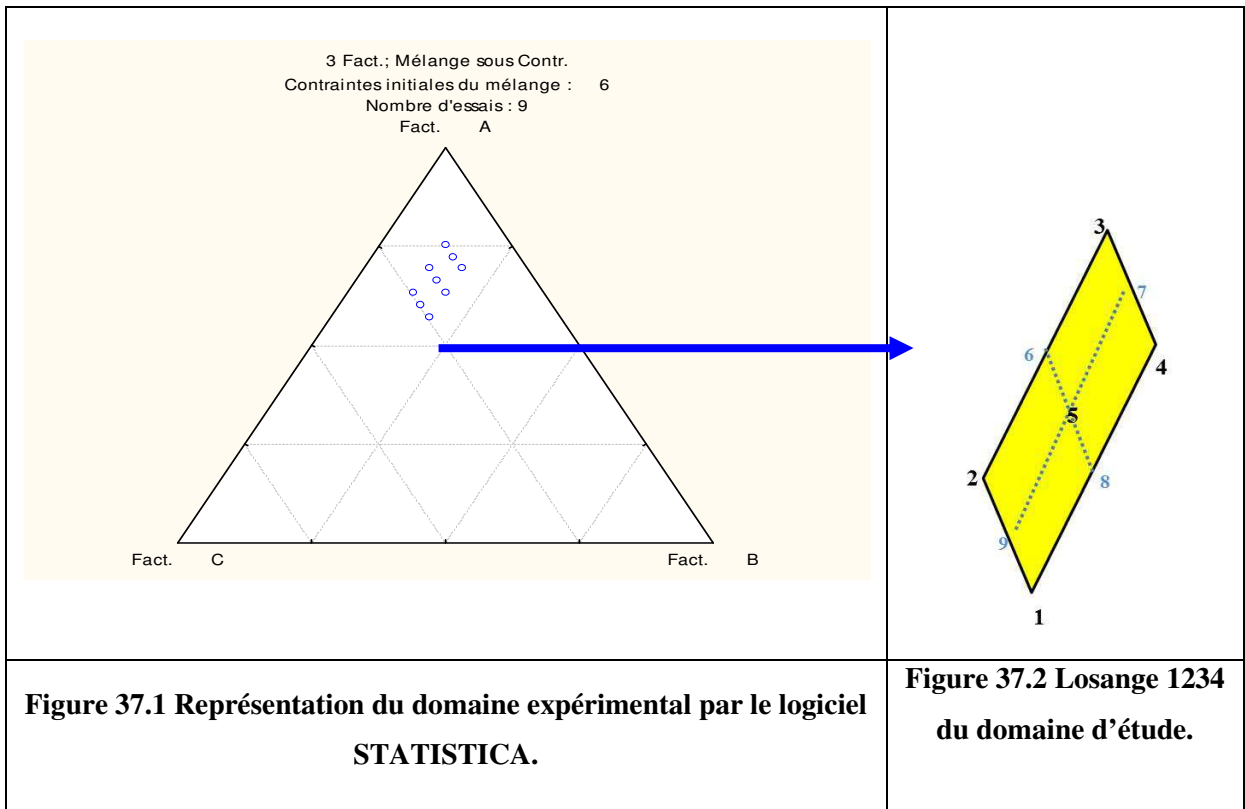
En première analyse, on constate que le taux de MS serait plus faible pour les deux formules (Essais 1 et 2) contenant 60% et plus de datte, ceci quelquesoit le taux de liant. Par contre, les valeurs de dureté sont plus dispersées. De même, il est étrange que la dureté soit particulièrement élevée pour l'essai 3 dont le formulation n'est pas très différente de celle de l'essai 2.



Le plan de mélange choisi est de type plan simplexe centré et quadratique, avec 3 facteurs et un polynôme de second degré, pour intégrer toutes les interactions entre facteurs.

## 2. Positionnement du domaine d'étude dans le plan de mélange ABC

Notre domaine d'étude est représenté par le losange (1234), Les essais définis par ce plan non seulement sont représentés par les sommets de losange et le milieu des 4 arêtes mais aussi explore l'intérieur du domaine (figures 37-1, 37-2)



Nous avons travaillé en valeur codée sur le domaine d'étude, en matrice de pseudo composant dans le losange 1234 (**tableau 12**), cela pour permettre des comparaisons directes (indépendantes de l'échelle) des paramètres estimés lors de l'analyse. Mais, nous affichons les résultats en valeurs réelles.

Pour le calcul des coefficients et de la table ANOVA, les valeurs des composantes sont recodifiées par la formule suivante :

$$X \text{ recodée} = (X \text{ brute} - \text{limite .Inf.}) / (\text{Total-L})$$

Où : L = Somme des limites inférieures. Exemple : Coordonnées du point 1 du losange 1234 :

$$R \text{ dattes} = (L_i - 0.47) / 0.18 = (0.62 - 0.47) / 0.18 = 0.833$$

**Tableau 12. Matrice en valeurs codées et valeurs réelles**

Essai n°	Losange 1234 du domaine d'étude			Triangle ABC du domaine expérimental		
	R. dattes	Son	Liant	R dattes	Son	Liant
<b>1</b>	0.833	0.000	0.000	0.620	0.100	0.100
<b>2</b>	0.694	0.000	0.139	0.595	0.100	0.125
<b>3</b>	0.556	0.000	0.278	0.570	0.100	0.150
<b>4</b>	0.556	0.278	0.000	0.570	0.150	0.100
<b>5</b>	0.417	0.278	0.139	0.545	0.150	0.125
<b>6</b>	0.278	0.278	0.278	0.520	0.150	0.150
<b>7</b>	0.278	0.556	0.000	0.520	0.200	0.100
<b>8</b>	0.139	0.556	0.139	0.495	0.200	0.125
<b>9</b>	0.000	0.556	0.278	0.470	0.200	0.150

### **3. Recherche de modèles appropriés à notre étude**

Tout d'abord, nous ajustons un modèle linéaire aux données. Bien que ce modèle comporte 3 paramètres, une pour chaque composante, ce modèle ne posséderait que 2 degrés de liberté en raison de la contrainte globale du mélange (la somme des 3 composantes de mélange soit égale à une constante, ici, la constante est 0.82), ce modèle néglige les interactions entre les différents constituants. Or, nous souhaitons connaître, l'effet des différentes interactions, dattes\*son, dattes\*liant, son\*liant sur le modèle. Nous l'écartons donc.

Les modèles quadratique et cubique spéciale qui prennent en considération ces interactions ainsi que leurs influences sur les résultats obtenus, sont adaptés. Cependant, le modèle choisi doit satisfaire les tests statistiques et présenter une modélisation significative ( $R^2$  proche de 1 et la probabilité  $p < 0,05$ ).

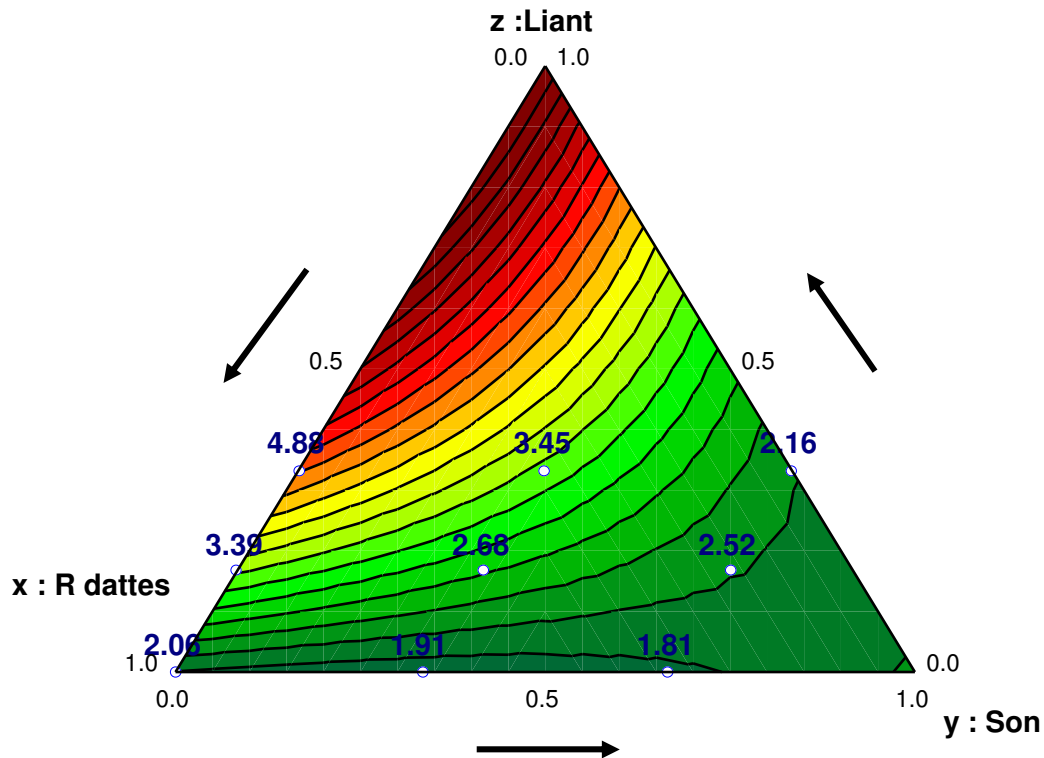
Ceci étant, nous allons analyser les différents résultats trouvés sous la base des modèles mathématiques mentionnés par le logiciel et ceci pour avoir plus d'explication et de compréhension du rôle joué par chaque constituant dans la variation de la dureté et de la MS des pastilles. Les résultats bruts apparaissent en **annexe 23**.

### **4. Exploitation des modèles en surfaces de réponses**

Nous reviendrons plus en détail sur l'analyse du plan de mélange dans la discussion de ses résultats. Pour l'instant, nous présentons les surfaces de réponses des deux modèles quadratiques qui sont statistiquement significatifs : dureté 2 jours en surface et dureté 8 jours en surface (**Annexe 23**).

○ **Premier modèle quadratique : dureté à 2j en surface**

La **figure 38** représente, les courbes iso-dureté, ces iso-valeurs sont obtenues par le modèle quadratique précédemment calculé en valeurs originales:



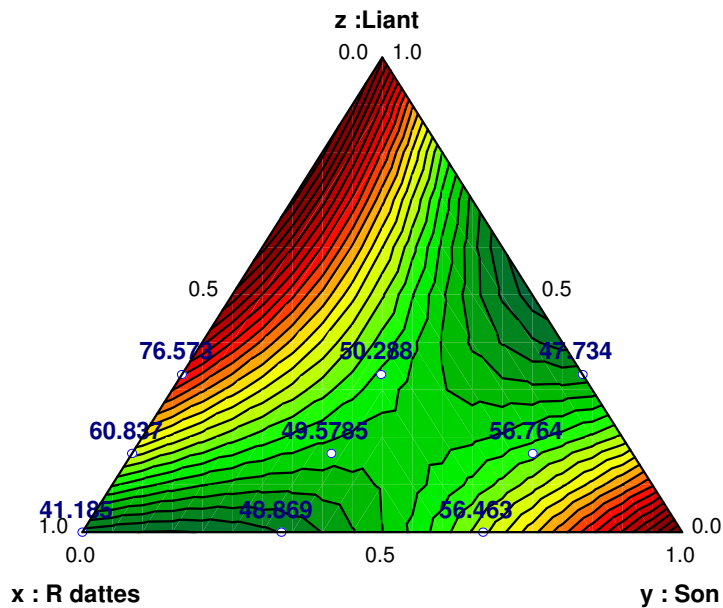
**Figure 38. Courbes d'iso-dureté à 2j en surface**

D'après ce modèle quadratique, on peut tirer les conclusions suivantes : Les rebuts de dattes ont un effet positif et significatif sur la diminution de la dureté du bloc : La dureté diminue au fur et à mesure que l'on augmente la proportion de rebuts de dattes (**figure 38**). Les formules 1, 2 et 3 (**tableau 12**) correspondent à des taux croissant en rebuts de dattes et décroissant en dureté (4,88 ; 3,39 et 2 N/mm). De même, les interactions rebuts de dattes\*son et surtout liant\*son orientent dans ce modèle, la dureté à la baisse (formules 7,8 et 9 avec des taux croissant en liant et de maximum en son). En revanche, dans ce modèle à 2 jours de séchage, la dureté augmente avec le taux de liant seul (formules 3, 6 et 9 avec des duretés de 4,88 ; 3,45 et 2,16 N/mm).

Compte tenu des effets négatifs des rebuts de datte sur la dureté, il est logique qu'ils soient de même sur la teneur en MS des formules puisque ces deux facteurs sont très fortement corrélés.

○ **Deuxième modèle quadratique : dureté à 8j en surface**

La **figure 39** représente les courbes d'iso-réponses : ces iso-valeurs sont obtenues par le modèle suivant :



**Figure 39. Courbes iso-dureté du modèle de dureté 8 j en surface**

D'après ce modèle quadratique, on peut tirer les conclusions suivantes :

- Comme le modèle quadratique de dureté en surface à 2 jours : la dureté à 8j en surface diminue au fur et à mesure qu'on augmente la proportion de rebuts de dattes dans la formulation. De manière générale, à 8 jours de séchage, les facteurs et leurs interactions sont affectés des mêmes signes que dans le modèle 2J de séchage avec logiquement des coefficients plus élevés puisque la dureté est plus forte (**Figure 39**). Ainsi, les formules 1, 2 et 3 correspondent à des taux décroissant en rebuts de dattes et progressif en dureté (41,18 ; 60,83 et 76,57 N/mm).

- L'interaction son\*liant a un effet positif et significatif sur l'augmentation de la dureté du bloc : La dureté augmente au fur et à mesure que l'on augmente la dose de son.
- L'interaction rebuts de dattes\*liant contribuent à l'augmentation de la dureté
- L'interaction rebuts de dattes\*son diminue la dureté.

## Chapitre 4. Résultats zootechniques

Nous donnons ici les résultats des essais 1, 2 et 3, nous les commentons et les discutons en simultané.

### Essai 1 : Caractérisation physiques et chimiques des aliments et mesure de l'acceptation des blocs chez l'ovine

#### ○ Composition chimique des aliments

Elle est donnée dans le **tableau 13**.

**Tableau 13. Composition chimique de la paille, des blocs, des rebuts de datte et du son**

Aliments	MS (%)	%MS						
		MO	MM	MAT	NDF	HEM	ADF	ADL
<b>Paille</b>	94,3	93,2	6,8	5,7	79,7	38,4	41,2	6,7
<b>BMN 1 (1)</b>	76,2	67,0	32,9	32,7	16,6	3,9	12,7	5,8
<b>BMN 2 (1)</b>	77,8	64,1	35,9	30,4	24,0	7,9	16,1	6,0
<b>BMN 3 (1)</b>	77,1	65,9	34,1	32,6	27,4	9,9	17,4	6,0
<b>Rebuts de datte</b>	87,4	94,8	5,2	4,6	29,2	9,2	19,9	9,9
<b>Gros son de blé</b>	89,6	93,5	6,5	14,6	54,2	36,7	17,5	2,6
<b>R<sup>2</sup></b>	0,77	0,81	0,82	0,85	0,67	0,71	0,49	0,53
<b>P</b>	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01	0,01	0,03	0,04

(1) : matière sèche à 10 jours de séchage; BMN : bloc multinutritionnel ; MS : matière sèche ; MO : matière organique ; MM : matière minérale ; MAT : matière azoté totale ; NDF : neural détergent fiber ; ADF : acide détergent fiber ; HEM : hémicellulose ; ADL : acide détergent lignin ; R<sup>2</sup> : coefficient de détermination ; P : probabilité au seuil de 0,05.(1) : matière sèche à 10 jours de séchage; BMN : bloc multinutritionnel ; MS : matière sèche ; MO : matière organique ; MM : matière minérale ; MAT : matière azoté totale ; NDF : neural détergent fiber ; ADF : acide détergent fiber ; HEM : hémicellulose ; ADL : acide détergent lignin ; R<sup>2</sup> : coefficient de détermination ; P : probabilité au seuil de 0,05.

La forte teneur des BMN en MM (34%) est due à l'apport de ciment et de l'aliment minéral, ces deux composants représentent en poids, 23% du mélange d'ingrédients. Il n'est pas à rejeter que compte tenu de la densité du ciment (1,8) et de la procédure gravimétrique de détermination des MM que celles-ci soient surestimées dans le cas particulier des blocs. Cette

possibilité n'a pas été évoquée dans la littérature ; la souillure par du sable des rebuts de datte n'est pas non plus à exclure. La teneur en MAT de 33% (due à l'urée) était attendue, tout comme celle faible en MO, 66% en moyenne, par suite d'une teneur élevée en MM.

Il est à noter une plus forte ( $p < 0.04$ ) teneur en lignine (10%) des rebuts de datte due aux noyaux comparativement à la paille (6%). Cette dernière a une teneur en matières azotées plus élevées (6%) que celle couramment observée (3 - 4%), la charge en mauvaises herbes à la récolte, explique ces différences.

○ **Matière sèche et dureté des blocs**

La formulation (proportions d'ingrédients) n'a pas d'effet important sur la teneur finale en matière sèche des blocs. En 10 jours de séchage à l'air libre (température de 28,5°C), en moyenne, la teneur en MS est passée de 68 à J2 à 78% à J10. Elle a évolué de façon comparable pour les différentes formules (**Tableau 14**).

**Tableau 14. Caractéristiques physiques des blocs**

Jours séchage	Dureté (N/mm)			Matière sèche		
	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3
<b>J2</b>	-	-	-	68,8	67,7	66,8
<b>J3</b>	1,67	3,08	0	70,2	70,8	69,0
<b>J4</b>	8,28	11,38	7,57	73,0	74,3	72,7
<b>J6</b>	11,82	13,47	11,82	76,8	75,2	74,5
<b>J8</b>	14,55	17,48	14,65	77,5	76,9	75,7
<b>J10</b>	16,20	21,02	17,72	78,5	78,4	77,0

**Blocs 1 ; 2 et 3 : voir leur composition dans le tableau 5.**

Néanmoins, le bloc à 35% de rebuts de datte et 30% de son, présente une légère résistance à la sortie de l'eau. A contrario, l'eau est plus labile dans la formule contenant 65% de rebuts de datte où la taille des particules de dattes (1 à 3mm) laisse plus d'espace pour la sortie de l'eau que dans BMN2 et BMN3 qui bénéficient d'un apport par le son de fines particules (grille de 0.8mm) qui peut être tassant et compacte donc la masse (**Bonazzi et Bimbenet, 2008**). Les résultats moyens de dureté enregistrés au cours de la cinétique de 10 jours apparaissent dans le **tableau 14**. Au 10<sup>ème</sup> jour de séchage, la dureté a été de 16 ; 21 et 18 N/mm, respectivement pour les blocs 1 ; 2 et 3. Le bloc BMN2, présente une dureté plus élevée ( $p < 0,05$ ), que celle de BMN1 et de BMN3.

Un apport modéré de son dans les formules (15%) fait progresser la dureté. En effet, grâce à ses fines particules et à son caractère hydrophile, il réduit la granulométrie de la matrice, assurant ainsi, une meilleure prise du ciment. De même, il réduit les espaces entre les particules du bloc ce qui améliore les forces de liaisons internes et assurent une meilleure compacité du bloc. A des doses plus élevées de son, des fissures peuvent apparaître sur les blocs (**Hadjsmail, 2009**).

Certains auteurs, ont considéré que la dureté était convenable si, le bloc résistait à la pénétration du pouce exerçant une forte pression. (**Hassoun et Bâa, 1990**). La méthode est approximative et peu reproductible. D'autres auteurs (**Sansoucy, 1986**), estiment instinctivement la dureté convenable à 4 - 6 kg/cm<sup>2</sup> pour une consommation de bloc de l'ordre de 200-300 g, sans que cette valeur ait été mesurée en parallèle avec la quantité de bloc consommée.

La dureté, peu étudiée et peu maîtrisée des blocs explique en partie, les très fortes variations de consommation de blocs relevées dans la littérature (**Hadjsmail, 2007**). Néanmoins, d'autres paramètres sont susceptibles de discriminer l'ingestion des blocs : palatabilité des blocs ; cohésion des blocs qui faible, peut favoriser le détachement de petits morceaux de la masse et ainsi augmenter l'ingestion tout comme le ramollissement du bloc par la salive de l'animal. Il en est de même de l'état hygrométrique de l'air (l'urée contenue dans les blocs est très hygroscopique).

#### ○ **Appétibilité et ingestibilité des blocs**

L'appétence du bloc était remarquable. Dès le premier jour d'adaptation, le BMN était consommé et accepté par les animaux (**Figure 40**).



**Figure 40. Animal, le premier jour de mesure, à la découverte d'un bloc.**

Durant les 15 jours de mesure, l'ingestion des 3 blocs était, en moyenne, de 24g de MS/kgP<sup>0,75</sup>. Elle était de 28g pour BMN3 (p<0,001) contre 23 et 20 respectivement pour BMN2 et BMN1 (**tableau 15**).

**Tableau 15. Ingestion de bloc et de MS totale (g/jour/animal/ kgP<sup>0,75</sup>)**

Rations	P <sup>0,75</sup> (kg) (1)	QIPMS	QIBMS	QIRTMS
BMN 1	20,8 <sup>a</sup>	68,3 <sup>a</sup>	20,4 <sup>a</sup>	88,8 <sup>a</sup>
	±	±	±	±
	1,1	6,4	8,4	9,6
BMN 2	21,7 <sup>a</sup>	51,8 <sup>b</sup>	22,8 <sup>a</sup>	74,6 <sup>b</sup>
	±	±	±	±
	0,47	2,1	7,3	5,8
BMN 3	21,3 <sup>a</sup>	52,0 <sup>b</sup>	27,6 <sup>b</sup>	79,7 <sup>b</sup>
	±	±	±	±
	0,51	2,0	8,2	6,7
<b>R<sup>2</sup></b>	0,18	0,76	0,79	0,74
<b>P</b>	0,17	0,001	0,001	0,001

(1) : poids initial + poids final/2 ; QIPMS : quantité ingérée paille en matière sèche ; QIBMS : quantité ingérée bloc en matière sèche ; QIRTMS : quantité ingérée ration totale en matière sèche. Dans une colonne donnée, les valeurs qui sont différentes de deux lettres sont significatives au seuil de 5% ; P ≤ 0.05 est significatif

Dans un travail national (**Hadjsmail, 2007**), où 16 essais ont été répertoriés, l'ingestion moyenne de bloc était de 19g de MS/kgP<sup>0,75</sup> contre 24g dans ce travail. Au vu de ces résultats, il apparaît que les trois formules de blocs à base de rebuts de datte que nous avons testées ont été bien ingérées par les animaux, plus particulièrement le BMN2 qui est caractérisé par les valeurs de dureté les plus élevées.

L'ingestion de paille par les animaux en présence des trois blocs était de 68 ; 52 et 52g de MS/kgP<sup>0,75</sup> respectivement pour les rations BMN1, 2 et 3 (**Tableau 15**). Il en résulte pour la ration totale une ingestion respectue de MS de 88 ; 80 et 75g/kgP<sup>0,75</sup> : BMN1 > BMN2 et



BMN 3 ( $p < 0,001$ ). Cette ingestion de MS totale est élevée comparée à d'autres résultats algériens ( $64 \text{ g/kgP}^{0,75}$ ) rapportés par **Hadjsmail (2007)**.

Le lot d'animaux consommant le moins de bloc est celui qui a ingéré le plus de paille sur la période expérimentale de 15 jours. Ce résultat signifierait qu'une ingestion élevée de bloc pourrait déprimer l'ingestion de paille. Ce phénomène connu sous le nom de digestibilité associative négative est observé dans le cas de forte consommation de concentré (**Dozias et al, 2007**). Néanmoins, la durée de l'expérience dont le but était de tester l'appétibilité des blocs n'est pas suffisante pour évaluer l'effet des blocs sur le niveau d'ingestion de la paille.

**Conclusion :** les rebuts de datte inclus dans des blocs multinutritionnels sont bien acceptés par les mouton et son consommés à des niveaux très élevés : respectivement : 424, 495 et 589 g/j/ mouton pour les blocs 65 ; 50 et 35 % de rebuts de datte. Dans la littérature les écarts de consommation observés pour des BMN était de 100-530g/j/mouton.

## Essai 2 : Valeur nutritionnelle des Blocs

### ○ Dureté des blocs et composition chimique des aliments

La composition chimique des aliments est consignée dans le **tableau 16**. Elle n'appelle pas de commentaires particuliers. La dureté des blocs pour une teneur en MS de 78.2 est de 21 N/mm, comparable à celle de l'essai 1.

**Tableau 16. Composition chimique des aliments**

Aliments	MS (%)	%MS						
		MO	MM	MAT	NDF	ADF	HÉM	ADL
Paille	92,74	93,52	6,48	5,10	71,84	42,16	29,68	6,10
BMN	78,19	66,98	33,02	32,45	16,72	12,81	3,90	5,79
Concentré	91,01	96,62	3,38	13,26	12,58	6,19	6,39	0,81
Rebuts de datte	87,17	96,65	3,35	4,29	27,11	20,30	6,81	10,66

BMN: bloc multinutritionnel; MS: matière sèche; MO: matière organique; MM: matière minérale; MAT: matière azotée totale; NDF: neutral detergent fibre; ADF: acid detergent fiber; HEM: hémicellulose; ADL: acid detergent lignin.

### ○ Ingestibilité des rations

La réalisation de cet essai a nécessité 320 kg de bloc de 3kg, fabriquée manuellement.

Au cours des périodes d'adaptation et de mesures, les animaux ont pris du poids (75g en moyenne par jour). L'ingestion d'eau était plus importante pour les sujets de la ration bloc que pour ceux de la ration « concentré ». Aucun incident pathologique ou sanitaire n'a été observé. L'appétence du bloc était remarquable. Dès le 2<sup>ème</sup> jour d'adaptation, le BMN était pleinement accepté et consommé par les animaux. La consommation de MS de bloc de la ration 1 était de 21,5g kg<sup>0.75</sup>/j/animal. Celle du concentré de la ration 2 était totale (13g/kg<sup>0.75</sup>) ayant été donné en quantité limitée (300g/j). L'ingestion de la paille seule a été de 61 et de 66g de MS/kg<sup>0.75</sup> respectivement pour la ration 1 et 2. Elle est plus élevée (p< 0,01) pour la ration 2 recevant les 300g de concentré. Il en résulte une ingestion totale de MS pour les rations 1 et 2 de 83 et de 79g respectivement (**Tableau 17**).

**Tableau 17. Digestibilités des composants des rations et ingestibilité de la matière sèche**

Rations	Digestibilité des composants des rations (%)						MSTI g/kgP <sup>0.75</sup>
	dMS	dMO	dMAT	dNDF	dHEM	dADF	
<b>Ration 1</b>	51,77 <sup>a</sup>	53,85 <sup>a</sup>	69,75 <sup>a</sup>	46,37 <sup>a</sup>	48,74 <sup>b</sup>	44,79 <sup>a</sup>	82,70 <sup>a</sup>
(R1)	± 5,74	± 5,72	±9,34	±6,79	±6,75	±6,85	± 7,25
<b>Ration 2</b>	53,28 <sup>a</sup>	55,27 <sup>a</sup>	49,55 <sup>b</sup>	50,00 <sup>b</sup>	46,62 <sup>b</sup>	51,87 <sup>b</sup>	78,90 <sup>a</sup>
(R2)	± 2,36	± 2,30	± 2,64	± 3,20	± 3,47	± 3,05	± 3,14
<b>Ration 3</b>	48,76 <sup>b</sup>	50,83 <sup>b</sup>	47,43 <sup>b</sup>	46,41 <sup>a</sup>	43,84 <sup>a</sup>	48,25 <sup>a</sup>	67,44 <sup>b</sup>
(R3)	± 0,04	± 0,04	± 0,04	±0,05	± 0,05	± 0,05	±5,11
<b>P</b>	<b>0,005</b>	<b>0,005</b>	<b>0,001</b>	<b>0,051</b>	<b>0,012</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>
<b>PS (R1)</b>	-	<b>46,8<sup>a</sup></b>	<b>45,7<sup>a</sup></b>	<b>45,9<sup>a</sup></b>	-	-	<b>61,2<sup>a</sup></b>
<b>PS (R2)</b>	-	<b>48,0<sup>a</sup></b>	<b>47,8<sup>a</sup></b>	<b>48,8<sup>b</sup></b>	-	-	<b>66,1<sup>b</sup></b>
<b>Bloc</b>	-	<b>77,4</b>	<b>83,2</b>	-	-	-	-
<b>Concentré</b>	-	<b>85,9</b>	<b>78,3</b>	-	-	-	-

dMS: digestibilité de la matière sèche;dMO: digestibilité de la matière organique ; dMAT: digestibilité de la matière azotée totale; dNDF:digestibilité de la paroi totale;dADF: digestibilité de la ligno-cellulose;dHEM: digestibilité des hémicellulose; R<sup>2</sup>: coefficient de détermination; P: probabilité au seuil de 5%; ETR : écart type résiduel; MSTI: matière sèche totale ingérée ; PS : paille seule. Dans une même colonne, les valeurs marquées d'un même indice, sont comparable au seuil de 5%.

La ration 3 dans cette expérience, est une ration de référence pour le calcul de la digestibilité de la MO et des MAT de la paille seule, du concentré et du bloc par différence (**Giger, et Sauvart, 1983**). Ses caractéristiques d'ingestion et de digestibilité sont visibles dans le **tableau 17**. Elles n'appellent pas de commentaires particuliers sinon que l'ingestion de MS de

la paille seule ( $63 \text{ g/kg}^{0.75}$ ) est légèrement supérieure à celle enregistrée pour la ration bloc ( $61 \text{ g/kg}^{0.75}$ ), sans que cette différence soit toutefois significative.

- **Digestibilité de la ration totale et des composants** : paille, concentré et bloc

La digestibilité de la MS (dMS), de la MO (dMO) et de la MAT (dMAT) pour les trois rations, est donnée dans le **tableau 17**. La dMO des rations 1 et 2 est comparable (54 et 55%). Par contre, celle de la paille est plus élevée ( $p < 0,005$ ) pour la ration 2 (concentré). La digestibilité de la MO de la paille seule, du bloc et du concentré, est respectivement de 48 ; 77 et de 86%.

Il n'existe pas à notre connaissance dans la littérature des valeurs de digestibilités de blocs multinutritionnels seuls. Mais, celles très abondantes de pailles et de concentrés sont en accord avec nos résultats. Ils valident du même coup ceux originaux pour le bloc multinutritionnel calculé par la méthode de différences (**Giger, et Sauvant, 1983**).

La dMAT respective des rations 1 et 2 est de 70 et 49 %. Celle plus élevée pour la ration BMN est logique compte tenu, de sa teneur élevée en urée, dont l'azote est soluble à 100%.

- **Digestibilité de la matière organique (dMO) et des composants pariétaux**

La dMO de la ration 2 était de 55%, elle correspond à celle qui est habituellement obtenue avec des pailles complétées avec une dose modérée de concentré (300-400g).

Plus originale est celle de la dMO de même niveau (54%) enregistrée avec la ration BMN. En comparaison, la bibliographie n'offre que deux résultats, obtenus avec des blocs mélassés (**Moujahed et al, 2003**) : un indiquait une amélioration de la dMO de 10,5% de la ration totale en présence de paille de blé; l'autre, enregistrant une faible diminution (-3%) mais, en présence d'une ration à base de *A. cyanophylla*, arbuste fourrager connu pour sa richesse en tanins, substances de diminution de la digestibilité chez les ruminants.

Par ailleurs, le niveau alimentaire de la ration (NA) peut influencer la dMO. Élevé, il peut entraîner une baisse de celle-ci pouvant nécessiter parfois une correction de la dMO (**Sauvant, 2003**). La baisse est d'autant plus forte que la dMO de la ration est élevée. Pour nos rations, le NA atteint par les animaux au cours de la mesure de la dMO est certes conséquent, respectivement 1,66 et 1,74 pour les rations 1 et 2 ; néanmoins, l'effet qui peut

être calculé par l'équation : Effet (%) = 11,2 - 0,19 dMO ration (**Sauvant et Giger-Reverdin 2009**) est négligeable, respectivement + 0,97 et +0 70% pour R1 et R2, il n'y a donc pas lieu de corriger nos résultats. Il est admis en effet que pour des dMO de l'ordre de 60% (ce qui est notre cas), l'effet du NA est nul (**Sauvant et Giger-Reverdin 2009**).

La MO des rations 1 et 2 renfermant environ 77% de NDF (représentant l'ensemble des composés pariétaux), il apparaît plus pertinent d'analyser la digestibilité de ce composant. Les résultats du **tableau 17** montrent qu'elle est plus élevée pour la ration «concentré» que pour la ration BMN ( $p < 0,05$ ), 50% versus 46%. La complémentation de la paille avec le bloc, déprimerait donc la digestibilité du NDF, ce qui révélerait de légères interactions digestives négatives. Les auteurs associent habituellement la diminution de la digestibilité des composants pariétaux dans le rumen à deux facteurs principaux :

- Une trop forte teneur de la ration en glucides rapidement fermentescible, (cas du BMN), qui en faisant baisser le pH du rumen, fait diminuer l'activité cellulolytique (**Calsamiglia et al 2008**). Mais, la richesse du bloc en urée, générant de l'ammoniac dans le rumen, devrait limiter ce phénomène, ce que des auteurs ont démontré mais avec des niveaux de consommation de bloc plus faible (**Moujahed et al, 2000**).
- L'augmentation de la vitesse de transit du digesta (**Calsamiglia et al 2008 ; Nogueira-Filho, 2005**). Elle se manifeste notamment, lorsque l'ingestion de MS est importante. L'accélération du transit se manifeste aussi, par l'action laxative des minéraux exprimés par les cendres, lorsqu'elles sont en grande quantité dans la ration. Notre bloc présente en effet, une teneur en cendres de 33% due à l'apport de ciment et de du condiment minéral (**tableau 16**). L'accélération du transit par les cendres peut se traduire directement par leur effet laxatif ; cet effet laxatif est vérifié par une teneur plus faible en MS des fèces des animaux du lot bloc (43,6% contre 45,5% ;  $p < 0,04$ ) ; ou indirectement, par l'augmentation du taux de renouvellement de la biomasse bactérienne dans le rumen. La consommation répétée sous forme de léchage des blocs de petites quantités de BMN est favorable aux taux de dilution. Mais, le temps d'exposition des parois végétales à la dégradation bactérienne est alors plus faible, entraînant, une diminution de leur digestibilité, ce que vérifient nos résultats. Idéalement, la consommation de bloc devrait être telle qu'elle optimise la digestibilité et les quantités ingérées du fourrage grossier. Dans notre expérience, pour ces deux paramètres,

compte tenu du niveau élevé de consommation de bloc, la ration à base de concentré a été légèrement supérieure.

○ **Niveau alimentaire et valeur énergétique établis par les rations 1 et 2**

Les résultats apparaissent dans le **tableau 18**.

**Tableau 18. Valeur énergétique et niveau alimentaire permis par les rations**

Apport ration	Poids (kg <sup>0.75</sup> ) (1)	MOI (g)	MODI (g)	MODI g/kg <sup>0.75</sup>	NA	UFL (/kgMS)	UFLTI (/j/Ani)
<b>Totale ration 1</b>	20,68 <sup>b</sup>	1464 <sup>a</sup>	788 <sup>a</sup>	38,10 <sup>a</sup>	1,66 <sup>a</sup>	0,61 <sup>a</sup>	1,05 <sup>a</sup>
<b>Totale ration 2</b>	20,41 <sup>b</sup>	1530 <sup>a</sup>	816 <sup>b</sup>	39,98 <sup>b</sup>	1,74 <sup>b</sup>	0,66 <sup>b</sup>	1,10 <sup>a</sup>
<b>Bloc</b>	-	-	-	-	-	0,77	-

(1) : poids initial + poids final/2 ;MOI: matière organique ingérée; MODI: matière organique digestible ingérée; NA: niveau alimentaire; UFL: unité fourragère lait ; UFLTI : unité fourragère lait totale ingérée. Dans une même colonne, les valeurs marquées d'un même indice, sont comparable au seuil de 5%.

La quantité de MODI est supérieure ( $p < 0,05$ ) pour la ration 2 (concentré) comparée à celle de la ration 1 (bloc). Il en est de même pour le NA (1,66 versus 1,74) et pour la valeur énergétique par kg de MS (0,61 versus 0,66 UFL). Par contre, les quantités d'unités fourragères ingérées quotidiennement par les deux lots sont comparables (1,05 versus 1,10). La consommation de MS du lot bloc est certes plus élevée mais sa teneur en MO était plus faible (valeur élevée en MM des blocs). La valeur énergétique du bloc est de l'ordre de 0,77 UFL/kg de MS.

○ **Valeur azotée et énergétique des blocs**

La teneur en MAT du bloc et leur digestibilité suggèrent une valeur en matières azotées digestibles de 272g/kg MS. Cette valeur est élevée, mais ce mode d'expression, encore en vigueur en Algérie, est très inapproprié pour exprimer la valeur azotée du bloc dont 88% des MAT sont constitués d'urée qui disparaît totalement dans le rumen. L'expression en protéines digestibles dans l'intestin est plus correcte (INRA, 2007).

Sur la base que 1g d'urée correspondant à 1,47 g de PDIMN (protéines microbiennes digestibles dans l'intestin synthétisées dans le rumen grâce à azote soluble disponible), la quantité d'urée du bloc (116g/kgMS) correspondrait à 170g/kg de PDIMN, les matières azotées apportées par les rebuts de datte dans le bloc, ne représentant que 27g/kgMS de bloc, leur apport en PDIMN est faible. On peut donc considérer la valeur PDIMN du bloc autour de

170-180g de PDIMN. La valeur PDIE (protéines microbiennes digestibles dans l'intestin synthétisées dans le rumen grâce à l'énergie disponible) des rebuts de dattes qui constituent la totalité de la matière organique du bloc n'est pas connue. Néanmoins, en se référant à celle de la mélasse de canne qui dose 62g de PDIE/kg MS (bien que le profil des sucres ne soit pas le même : dattes profil fructoses, mélasse, profil glucose), on peut estimer raisonnablement que, le bloc présenterait un excédent de PDIMN qui pourrait être utilisé pour compenser le déficit en PDIMN des fourrages grossiers très celluloseux comme la paille.

Les calculs de la valeur énergétique des aliments conventionnels pour le ruminant sont effectués habituellement à l'aide de modèles mathématiques mettant en jeu principalement des paramètres de la composition chimique (MAT, composants de la paroi) de la digestibilité de la matière organique et du niveau alimentaire (NA). Le modèle INRA France de 1978, corrigé en 1988 et 2007, s'adresse à des rations (fourrages plus concentré ou fourrages seuls).

Pour les concentrés, les paramètres chimiques sont également utilisés (**Giger-Reverdin et al, 1990**). Le bloc multinutritionnel (15% de ciment, 67% de matière organique, 10% d'urée) ne présentant pas la structure d'un aliment conventionnel, il nous semble que les modèles classiques ne peuvent lui être appliqués, ceci d'autant plus que la valeur calorifique (5 à 5,7 kcal) attribuée aux protéines dans ces modèles, pourrait surestimer la teneur en énergie brute des blocs. En effet, l'essentiel des MAT du bloc est constitué d'urée dont la chaleur de combustion n'est que de 2,5 kcal/g. Ainsi, en appliquant au bloc les modèles de calcul de **Giger-Reverdin et al**, établis pour des aliments concentrés (**Giger-Reverdin et al, 1990**), la valeur énergétique du bloc ressort à 0,99 UFL, valeur manifestement élevée pour une teneur en MO de 660g/kg MS. En pondérant la chaleur de combustion des MAT du bloc en fonction de la place de l'urée (88% ; 2,5kcal/g) et des rebuts de dattes (12% ; 5,7kcal/g), la valeur énergétique ressort à 0,76 UFL et à 0,79 UFV/kg de MS. Cette valeur est comparable à celle de 0,75 UFL obtenue en faisant la correspondance : 23g de MOD représentent 0,033 UFL pour l'ovin (**INRA, 2007**). Cette correspondance simple entre MOD et UFL, nous semble de portée suffisamment générale pour l'appliquer à l'estimation de la valeur énergétique des blocs dont la teneur en MOD/kg de MS est de 520g. En confrontant les deux modèles de calcul, on peut estimer une valeur énergétique des blocs voisine de 0,77 UFL, moins énergétique logiquement qu'un aliment concentré conventionnel compte tenu de sa teneur en MM.

De façon plus générale, la valeur azotée et énergétique des blocs dépend de la nature et des quantités des sources glucidiques et azotées utilisées. Pour nos blocs, des valeurs de PDIMN de 170-180 g et de 0,77 UFL/kg MS peuvent être retenues.

## Conclusion

L'intérêt du bloc multinutritionnel à base de rebuts de datte est maintenant démontré. Il peut être confectionné facilement à la ferme et séché à l'air libre. Il est intéressant pour l'élevage en Algérie et d'autres contrées similaires du monde. Sa digestibilité et sa valeur énergétique sont élevées et se rapprochent de celles d'un concentré conventionnel. Son pouvoir de complémentation est aussi élevé que celui d'un concentré plus onéreux et souvent avec des matières premières importées.

## Essai 3 : Performance de croissance permise par les BMN

### ○ Composition chimique

Des teneurs en MO faibles (de 64 et 66%), en MM et en MAT élevées sont les caractéristiques chimiques déjà rapportées et discutées pour les blocs. L'apport de gros son (bien pourvu en NDF avec 54%) dans la formule augmente légèrement (+11%) la teneur en NDF du bloc, (**Tableau 19**).

**Tableau 19. Composition chimique de la paille, des blocs, des rebuts de datte et du son.**

Aliments	MS (%)	% MS							
		MO	MM	MAT	NDF	HEM	ADF	C	ADL
<b>Paille</b>	94,3	93,2	6,8	5,1	77,3	38,4	41,2	31,9	6,7
<b>BMN 1</b>	77,4	64,1	35,9	30,4	24,0	7,9	16,1	10,1	5,7
<b>BMN 2</b>	77,8	65,9	34,1	32,6	27,4	10,0	17,4	10,2	6,8
<b>Rebut de datte</b>	87,4	94,8	5,2	4,6	29,2	9,2	19,9	9,9	9,9
<b>Gros son de blé</b>	89,6	93,5	6,5	14,6	54,2	36,7	17,5	15,8	2,6

BMN : Bloc multinutritionnel ; MS : Matière sèche ; MO : Matière organique ; MM : Matière minérale; MAT: Matière azoté totale ; NDF : Neutral detergent fiber; ADF: Acid Détergent fiber ; HEM: Hémicellulose ; C: Cellulose; ADL : Acid detergent Lignin

La teneur en MS des blocs après 10 jours de séchages est de 78%, du même ordre de grandeur que dans les deux essais précédents, tout comme la valeur de la dureté qui est ici de 19.4 N/mm.

○ **Ingestibilité des rations**

Les résultats du **tableau 20** montrent que comme pour les expériences antérieures, la consommation de blocs est élevée, respectivement 22 et 27g/kgP<sup>0,75</sup> pour BMN65 et BMN35. Une meilleure ingestion de bloc contenant plus de son a été observée.

La consommation plus faible du bloc BMN35 (17g/kgP<sup>0,75</sup>) lorsqu'il est laissé à disposition de l'animal pendant seulement 8h est logique, mais reste néanmoins conséquente. Elle représente 60% de la consommation de bloc de toute une journée (27g/kgP<sup>0,75</sup>) par les animaux. L'ingestion concomitante de paille est également élevée, proche de 54g pour les deux rations BMN35 (en *ad libitum* et en temps limité) ; elle atteint même 61g pour la ration BMN65 (p<0,001). En dehors du rôle du bloc, la qualité de la paille (6% de MAT) a joué un rôle positif sur sa consommation. La distribution modulée du bloc dans le régime BMN35<sub>8h</sub>, n'a donc pas affecté l'ingestion de paille qui est comparable à celle obtenue en présence d'une mise à disposition à volonté (lot BMN35).

**Tableau 20. Ingestion de matière sèche et d'eau (g/jour/animal) et gain moyen quotidien.**

Rations	P <sup>0,75</sup> (Kg) (1)	Paille	Paille (/kgP <sup>0,75</sup> )	Bloc	Bloc (/kg P <sup>0,75</sup> )	RT	RT (/kgP <sup>0,75</sup> )	Eau (/kgP <sup>0,75</sup> )	GMQ (g)
<b>BMN 65</b>	21,7 <sup>a</sup> ± 1,1	1321 <sup>a</sup> ± 133	60,9 <sup>a</sup> ± 5,8	483 <sup>a</sup> ± 174	22,3 <sup>a</sup> ± 8,1	1804 <sup>a</sup> ± 200	83,1 <sup>a</sup> ± 10,2	220 <sup>a</sup> ± 42	164 ± 18
<b>BMN 35 (à volonté)</b>	21,8 <sup>a</sup> ± 0,3	1188 <sup>b</sup> ± 99	54,5 <sup>b</sup> ± 2,3	591 <sup>b</sup> ± 273	27,3 <sup>b</sup> ± 12,2	1781 <sup>a</sup> ± 148	81,8 <sup>a</sup> ± 15,8	183 <sup>b</sup> + 17	102± 12
<b>BMN35 (8h/j)</b>	21,6 <sup>a</sup> ± 0,14	1165 <sup>b</sup> ± 98	53,9 <sup>b</sup> ± 2,6	352 <sup>c</sup> ± 111	16,6 <sup>c</sup> ± 5,8	1517 <sup>b</sup> ± 174	70,5 <sup>b</sup> ± 8,1	187 <sup>b</sup> ± 14	54 ± 8
<b>R<sup>2</sup></b>	0,09	0,48	0,53	0,64	0,66	0,42	0,46	0,40	0,68
<b>P</b>	0,44	0,041	0,033	0,001	0,001	0,049	0,044	0,051	0,001

(1) : poids initial + poids final/2 ; BMN : Bloc multinutritionnel à 65ou 35% de rebuts de datte ; R<sup>2</sup> : coefficient de détermination ; RT : ration totale. Dans une même colonne, les valeurs marquées d'une même lettre, sont comparables au seuil de 5%.

La courbe de variations de consommation de la paille, lorsque celle du bloc passe de 17g de MS/kg P<sup>0,75</sup> (BMN35<sub>8h</sub>) à 27g de MS/kg P<sup>0,75</sup> (BMN35) ne peut être connue dans cette expérience ; car nous n'avons mesuré la consommation de bloc qu'en libre accès pendant respectivement 8h (17g/kgP<sup>0,75</sup>) et 24h (27g/kgP<sup>0,75</sup>). Néanmoins, soit elle décrit un plateau, et nous sommes alors dans le cas observé ici où l'ingestion de paille reste stable



(respectivement 53,9 à 54,5g de MS/kg P<sup>0,75</sup>), soit elle décrit une parabole dont les deux points bas seraient 53,9 et 54,5g de MSI/kg P<sup>0,75</sup>. Une consommation de paille plus élevée que celle des deux points bas s'observerait alors pour une consommation de MS de bloc se situant entre 17 et de 27g (nous noterons que pour BMN65, une consommation de 22g avait entraîné une ingestion de 61g de MS de paille). Si cette dernière hypothèse se vérifiait, on serait alors en ligne avec des résultats de l'essai 2, qui montrait que, la digestibilité et l'ingestibilité de la paille diminuait avec une consommation trop élevée de bloc. Mais surtout, on serait en présence de phénomènes de substitution classiques chez le ruminant, qui rendent compte d'une diminution de l'ingestion volontaire de fourrages avec l'augmentation de l'aliment concentré dans la ration (**Dozias et al, 2007**). Ces phénomènes se déclencheraient particulièrement à l'approche de taux de concentré de 30% dans la ration (**Dozias et al, 2007**).

Ce taux est atteint pour la ration BMN35 où la matière organique bloc représente 31% de la matière organique ingérée contre 20 et 14% pour les rations BMN65 et BMN<sub>8h</sub>

La quantité de MS totale ingérée résultant de celle de la paille et du bloc, est comparable pour BMN65 et BMN35 (83 et de 82g/kgP<sup>0,75</sup>) mais supérieure (p<0,001) à celle de 70g enregistrée pour BMN35<sub>8h</sub>. Ce résultat est logique, la différence est expliquée par une consommation plus faible du bloc BMN35<sub>8h</sub> offert en temps limité.

La quantité d'eau bue (200ml//kgP<sup>0,75</sup>) par jour et par animal est élevée mais habituelle pour des rations fortement ingérée et de surcroît, riches en urée qui favorise la consommation d'eau.

#### ○ Performances de croissance permises par les rations

Le GMQ enregistré pour BMN65, BMN35 et pour BMN35<sub>8h</sub> s'établit respectivement à 164, 102 et de 54g ou BMN35<sub>8h</sub>< BMN35 < BMN65 significativement. Les différences observées entre BMN65 et BMN35 ne s'expliquent pas par la quantité de MS ingérée puisqu'elle est comparable pour des GMQ respectifs de 164 et 102g. Plus logique, est la qualité de la MS ingérée. La valeur en UF de la ration BMN65 étant de 0,61UF/kg de MS ingérée, le lot BMN65 dans cette expérience aurait donc consommé 1,10 UFL (1.8kg de MS).

Sur la base d'un besoin d'entretien de l'ovin de 0,033UFL/kgP<sup>0,75</sup> et de la valeur calorifique de 100g de croît de 0,32 UFL (**INRA, 2007**), le GMQ permis par la ration BMN65 serait de 143g au lieu de 164g mesurés (**Tableau 20**). Cette légère différence est acceptable et

probablement justifiée. Il a été montré en effet que les besoins en énergie d'entretien de la race Ouled djellal étaient légèrement plus faibles que ceux des races françaises (**Triki et Larwence, 2008**).

Par référence à la valeur énergétique de la ration BMN65 de 0,61 UFL/kg de MS de l'essai 2, celle de BMN35 serait de 0,55 UFL/kg de MS. Ce résultat plus faible est logique car l'apport de 30% de son dans la formulation de BMN35, augmente sa teneur en ADF de 28% et celle en lignine de 12%, deux composants connus pour diminuer la digestibilité de la matière organique des rations.

La distribution limitée de BMN35 fait chuter la croissance de moitié passant de 102 à 54g de GMQ. La différence de 48g, représente globalement l'apport énergétique des 239g de bloc supplémentaires (soit environ 0,20 UFL) consommés lorsqu'il est distribué *ad libitum*.

Bien que la couverture des besoins azotés n'ait pas été étudiée dans ce travail, il doit être largement couvert tout comme celle des minéraux, puisque le niveau de GMQ mesuré sur la base de la valeur énergétique des rations est comparable et même légèrement plus élevé (164g) que celui théorique (143g) que l'on pouvait attendre.

Dans la littérature, à notre connaissance, aucun travail n'a été publié sur l'utilisation dans l'alimentation animale de blocs multinutritionnels à base de rebuts de datte. Néanmoins, les résultats de deux expériences (**Chehma et Hamouda, 2004 ; Mebirouk et al, 2008**) utilisant les rebuts de datte en l'état ont été répertoriés. Le premier indique un résultat de GMQ de 150g pour une ration composée de 750g de rebuts de datte (640g de matière organique) et 1kg de paille mais les quantités de MS ingérées et la part de rebuts dans la ration réellement ingérée ne sont pas données par les auteurs. Dans le deuxième travail, les rebuts de datte rentrent pour 45% dans un concentré dosant 19% de MAT, le GMQ a été de 158g mais la quantité de concentré ingérée n'est pas mentionnée. Ces résultats de GMQ sont comparables à ceux que nous avons obtenu avec BMN65 (164g) sans que nous puissions comparer la quantité de matière organique de rebuts de datte réellement ingérée, mais visiblement bien plus élevée que dans notre expérience où elle a été modérée 310 ; 254 et 166g respectivement pour BMN65 ; BMN35 et BMN35<sub>8h</sub>. Les rebuts de dattes consommés sous forme de blocs à lécher présenteraient une densité nutritionnelle bien plus élevée que donnés en l'état aux animaux.

## **Conclusion**

Il ressort de cette étude, que les blocs multinationnels à base de rebuts de datte à dose élevée (65%) ou faible (35%) sont faciles à fabriquer au niveau de la ferme. Laissés à disposition de l'animal pour compléter une ration à base de paille de blé de bonne qualité, nous avons obtenu avec des moutons adultes, des GMQ respectifs de 160 et de 100 g. Distribué pendant 8 h seulement dans la journée, le GMQ a été de 50g. Sur cet essai de longue durée, aucun incident pathologique ou sanitaire, na été observé.

En adaptant le dosage des blocs en rebuts de datte et en modulant le temps de mise à disposition de l'animal, ils pourraient rentrer avec succès dans l'alimentation d'animaux à état physiologique différent : brebis en gestation, croissance modérée (agnelles), animaux à l'entretien et avec quelques adaptations (apport d'une source de protéines de bonne qualité), animaux à l'engrais.

## **PARTIE 3 : DISCUSSION**

Nous rappelons que l'objectif de ce travail était dans un premier temps de caractériser des blocs nutritionnels à base de rebuts de datte en étudiant en particulier, les conditions d'évolution de la dureté (qui contrôlerait sa consommation). Ces blocs sont composés de divers ingrédients. Le taux de certains étaient fixés : urée, sel, eau, CMV d'autres variables : rebuts de dattes, son de blé et liant. Dans un deuxième temps, il s'agissait à l'aide de petits blocs de 0,2 kg de proposer une méthode de laboratoire de routine pour prédire la dureté de blocs de gros volume. Pour ce dernier objectif, nous avons utilisé un plan d'expériences type mélanges pour modéliser la dureté optimale en fonction des ingrédients. Enfin dans un troisième temps, nous étions invités à des essais biologiques pour étudier l'appétibilité, le niveau d'ingestion et la valeur nutritionnelle et alimentaire de ces blocs chez le mouton.

La partie zootechnique ayant été discuté en même temps que la présentation des résultats, dans cette partie 3, nous insisterons sur deux aspects de base de ce travail : la caractérisation physique des blocs selon le modèle béton et sur l'analyse du plan d'expérience.

### **1. Quelle compréhension des paramètres de caractérisation des blocs ?**

Tout le long de la présentation des résultats de caractérisations, les paramètres qui ont paru les plus importants étaient : l'hétérogénéité granulométrique des constituants, la teneur en matière sèche et la dureté. Nous allons développer ces trois points.

**L'hétérogénéité** des blocs peut être appréciée à l'œil nu Mais, leur teneur en MS ou leur dureté, peut être prise aussi comme indicateur. Cette hétérogénéité provient tout d'abord du nombre de composants : 6 majeurs mais aussi de l'hétérogénéité propre de chaque composant. Ainsi, les rebuts de datte admettent une distribution de la taille des particules particulièrement étalée allant de moins de 1 mm à plus de 10 mm. Les plus grosses particules appartenant à celles des noyaux de dattes. L'hétérogénéité provient également des conditions de séchage des blocs : position des pastilles dans l'étuve, répartition de l'air issu de la ventilation de l'étuve, de la position du point géographique à la surface du bloc sur lequel est mesurée la dureté par exemple. Ce point peut revêtir plusieurs caractères : situé au rebord immédiat du bloc (point de moindre résistance qui en plus subit plus que les autres points, les agressions de la

ventilation, de la température, de l'effet du tassage lors de la fabrication, de la rencontre de particules plus ou moins dures par la pointe lors de la mesure de la dureté (noyau de datte dur par exemple). En terme de dureté, l'hétérogénéité des blocs peut être de forte ampleur par exemple, il est montré dans ce travail que la dureté à 106 h répartie sur toute la surface du bloc prend des valeurs allant de 5 N/mm à 55 N/mm.

L'hétérogénéité des ingrédients (principalement dans ce travail, composition chimique et la taille des particules) est un facteur de variabilité de la tenue et de la cohésion d'une masse (**Vimane, 2003**). De même, le jeu des forces dans la masse lors du séchage peut entraîner la formation de fissures dans le bloc. Ces fissures et des morceaux de noyaux mal fixés dans la masse pourraient se détacher à la surface du bloc et donner plus de prise à l'animal lors du léchage. Cette situation est propice à une augmentation de la consommation de bloc par l'animal. Une réduction plus poussée de la taille des particules des rebuts de datte inférieure à 2 mm serait peut-être à envisager.

**Matière sèche :** La valeur de la MS, résulte de la sortie d'eau de la masse (transfert interne) vers l'atmosphère de l'étuve (transfert externe) grâce à un gradient de concentration et par convection, tout comme le transfert externe de chaleur. Dans notre travail, la pente de la courbe de séchage est faible 0,0034 et 0,0059 respectivement pour le bloc mère de 4kg et pour les pastilles de 0,2 kg. Les coefficients de diffusion de l'eau dans les blocs sont les meilleurs indicateurs pour expliquer la dynamique de l'eau. Il est remarquable de noter qu'entre 0 et 8h d'étuvage, il y a une accélération de sortie d'eau. En moyenne les pertes d'eau n'ont été que de 37% de l'eau initiale après 7 jours d'étuvage contre 43% en moyenne pour les pastilles après trois jours d'étuvage à la même température. Ces différences sont logiques compte tenu de la différence de taille des deux blocs.

Il est plus intéressant d'analyser la dynamique de sortie d'eau des 10 formules du plan de mélange.

Il apparaît que les deux formules les plus richement dosées en datte (61% en moyenne) accusent une sortie d'eau de seulement 50% après 8 jours d'étuvage à 45°C contre 65% pour les deux formules les plus faiblement dosées en rebuts de dattes (50% en moyenne). De même, les sorties d'eau les plus élevées (66%) s'observent pour les doses de ciment ou de son les plus élevées, l'inverse étant également vérifiée. Il apparaît clairement que la nature et les proportions des ingrédients dans les formules impactent la vitesse de sortie d'eau dans le bloc pour une même température d'exposition.

La vitesse à laquelle s'effectue cette sortie d'eau est liée à l'allure de la courbe des transferts internes et externes. Selon **Bonazzi et Bimbenet (2008)**, ces transferts correspondent à des mécanismes que l'on peut considérer comme disposés en parallèle ou en série, le plus lent contrôle le séchage. Selon ces mêmes auteurs, dans les produits biologiques, ce qui est notre cas, c'est le plus souvent le transfert interne de l'eau qui correspond au phénomène limitant. Ce phénomène semble plus actif avec les fortes doses de dattes. Il pourrait s'expliquer par des forces de rétentions de l'eau par les parois cellulaires des rebuts de dattes plus forte que celle du son, par la formation de corps de Maillard (favorisés par la richesse du produit en sucre) et par la concentration de soluté en surface. L'ensemble de ces phénomènes pouvant aboutir à des «croûtages».

**La dureté** est l'expression du durcissement des blocs qui est liée positivement à la teneur en MS des blocs mais qui n'évolue pas à la même vitesse. Alors que la pente de la courbe de séchage est de 0,0034 pour le bloc mère de 4kg et de 0,0059 pour les pastille de 0,2 kg sans point d'inflexion, celle de la dureté en fonction du temps est très nettement plus élevée (0,1224) et présente un point d'inflexion à 60h d'étuvage. Ce point d'inflexion divise la courbe en deux parties : une courbe 0-60h d'étuvage avec une pente de 0,045 et une courbe 72-168h avec une pente 4 fois plus élevée (0,165). Par ailleurs, les relations dureté-MS à 0-60h et à 72-168h sont respectivement : **Dureté bloc (N/mm)= 64,43\*MS – 41,71** et **Dureté bloc (N/mm) = 235,71\*MS – 163,97** avec des R<sup>2</sup> respectifs de 0.97 et 0.99.

Cette configuration observée également pour les pastilles révèle une accélération très forte de la dureté à partir de 60h. Elle dénote un phénomène en deux temps : un temps de latence et un temps d'accélération. Cette configuration se rapproche de celle qui est observée pour l'évolution du béton de construction (phase dormante et phase de prise et de durcissement). Selon **Thibault et al (2008)**, le béton est un mélange de gravier, de sable (ces deux éléments dans notre bloc étant remplacés par des rebuts de dattes et du son) d'eau et de ciment, le ciment représentant alors entre 9 et 18% de la masse du béton (12% dans notre cas). Dans notre cas, la nature des ingrédients : organique avec l'urée, les dattes et le son ; minérale avec le CMV ne sont pas les composants habituels du béton et mortier. De même, le rapport eau-ciment (E/C) dans un béton classique est de l'ordre de 0,5 contre 2 à 3 dans nos formules de bloc. Ces différences de composition, n'affectent pas les lois générales de comportement d'un béton sinon que la présence de matière organique augmente le temps de prise tout

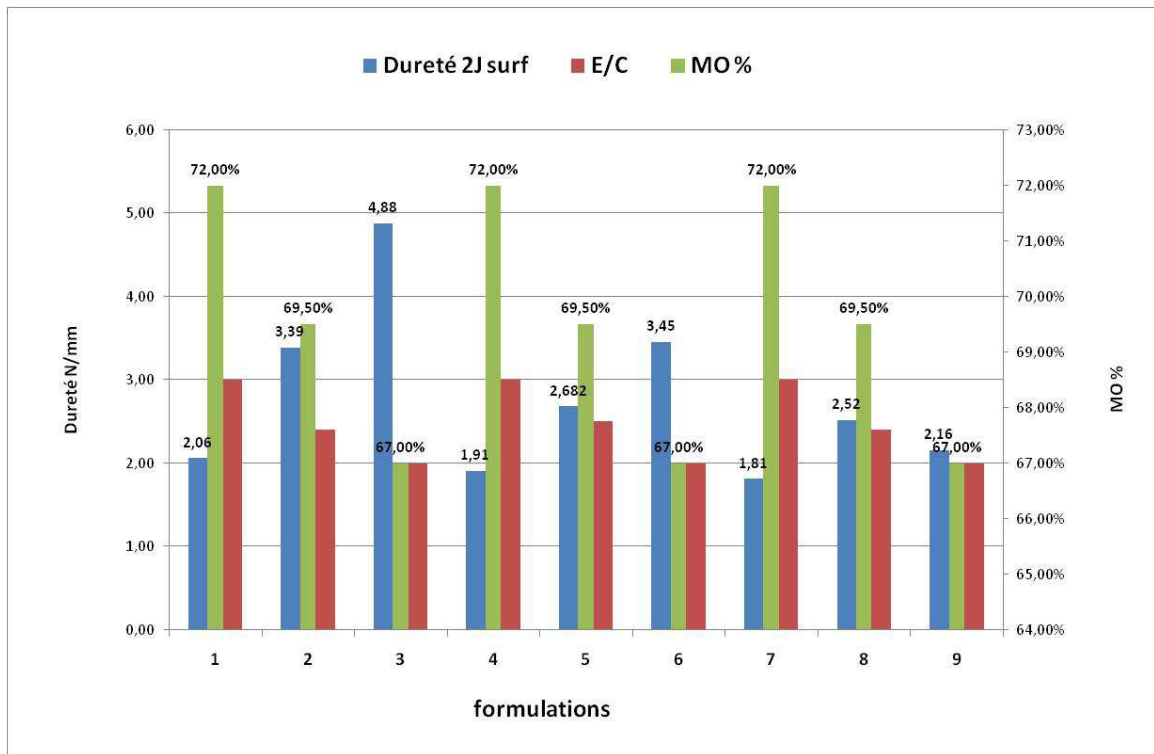
comme l'excès d'eau. Ce dernier favorise également les fissurations, diminue la dureté et la longévité du béton (**Vimane, 2003**).

Il nous a paru intéressant d'utiliser ce modèle du comportement du béton, pour tenter d'expliquer et de comprendre les phénomènes qui se déroulent dans notre bloc.

Dans un modèle classique de béton, l'hydratation et le temps de prise dure environ 3h mais peut être beaucoup plus long en fonction du E/C et de la présence de matière organique dans la masse. En revanche, la température l'accélère. Dans notre cas, ce temps ne peut être déterminé avec précision. Néanmoins, les réactions chimiques d'hydratation et de prise sont exothermiques. Théoriquement, pour la réalisation de ces réactions dans le bloc de 4kg, la chaleur dégagée serait de l'ordre de 66381cal (calculée à partir des coefficients proposés par **Vimane, 2003**). Pendant cette étape exothermique, la pente de la courbe de séchage devrait être plus pentue, c'est bien ce que nous voyons sur la **Figure 13**, entre 0 et 8 h d'étuvage. La période d'hydratation et de début de prise s'étalerait donc sur 8h contre 3h dans un béton classique. Ce résultat semble acceptable, dans la mesure où précisément l'excès d'eau et la présence de matière organique dans la masse sont des paramètres de prolongement du temps de prise (**Vimane, 2003 ; Thibault, 2008**). Par ailleurs, notre composition est moins riche en ciment.

Dans le modèle béton, le durcissement est un processus continu qui met en œuvre de nombreuses réactions et commence avec la prise. Il peut durer des mois, voire des années. La dureté que nous mesurons sur nos blocs, est l'expression de ce durcissement. Il débute avec l'expansion du gel de silicate de calcium hydratés (CSH) qui donne sa solidité au ciment : les CSH se développent à la surface des grains de ciment non hydratés et combinent progressivement les interstices capillaires entre les grains non hydratés et enrobent les autres composants de la masse et les lie ensemble. Le béton durcit ainsi en une masse rigide. L'accumulation de CSH dans le milieu à partir de 60h d'étuvage, expliquerait probablement l'accélération de la dureté que nous avons observée (**Figure 15**).

Si l'on utilise trop d'eau dans le mélange, les espaces seront plus grands entre les particules du mélange, et le gel de ciment ne parviendra pas à les remplir. Il en résultera un mélange plus faible, plus poreux et moins dur. Dans notre modèle bloc, le rapport E/C varie théoriquement entre 2 et 3 contre 0,5 conseillé dans le modèle béton. La **figure 41** ci-dessus montre ainsi une relation inverse entre E/C et la dureté.



E/C : rapport (eau/ciment) ; MO : matière organique

**Figure 41. Evolution de la dureté à j2, E/C et MO en fonction des formulations**

Néanmoins nous pensons que compte tenue de la nature des composants organique du bloc, une partie de l'eau apportée y est absorbée (composant hydrophile) ce qui pourrait diminuer le rapport E/C et avoir une dureté plus élevée que celle que nous devrions avoir avec un E/C variant de 2 à 3.

## 2. Le plan de mélange

Pour les trois modèles (linéaire, quadratique et cubique spécial) et les 6 variables de séchage (2j ; 4j et 8 j d'une part en profondeur et d'autre part en surface), seul deux modèles quadratiques ont été statistiquement significatif, pour le temps de séchage en surface à 2j et pour celui du séchage en surface à 8j (**Annexe 23**).

De même, les valeurs issues des mesures en profondeur des blocs n'ont pu être ajustées à l'un des trois modèles. Les valeurs du **tableau 11** laissaient prévoir ce résultat. En effet, les mesures prises en profondeur, présentent très peu de variabilité.

Pour la dureté en surface 2j , l'ajustement de nos données n'a été possible qu'avec ce modèle quadratique. Néanmoins, pour tous les temps de séchage, en surface ou en profondeur, quand



on passe du linéaire de 1<sup>er</sup> ordre au modèle quadratique, le  $R^2$  augmente et le  $p$  diminue (**Annexe 23**). Cela signifie que les interactions entre les composants des pastilles existent.

Pour la dureté à 2jours en surface qui présente un  $p = 0,041$  et un  $R^2 = 0,98$  ; la fonction proposée en valeurs réelles est la suivante :

$$\text{Dureté à 2j surf (N/mm)} = -13,700 \text{ dattes} + 60,642 \text{ son} - 48,30 \text{ liant} - 48,73 \text{ dattes*son} + 245,86 \text{ dattes*liant} - 297,26 \text{ son*liant} ; p = 0,04 \text{ et } R^2 = 0,98 \text{ (1)}$$

De même les données de dureté en surface à 8jours de séchage, sont significativement ajustées avec un  $p$  à 0,040 et un  $R^2$  à 0,93 ; la fonction correspondante s'écrit :

$$\text{Dureté à 8j surf (N/mm)} = -147,61 \text{ dattes} + 2355,48 \text{ son} - 650,45 \text{ liant} - 2805,67 \text{ dattes*son} + 3532,53 \text{ dattes*liant} - 8096,53 \text{ son*liant} ; p = 0,04 \text{ et } R^2 = 0,93 \text{ (2)}$$

L'ajout des 3 paramètres du modèle quadratique (dattes\*son, dattes\*liant, son\*liant) permet donc d'améliorer significativement l'ajustement du modèle, ce qui n'est pas le cas du modèle cubique spécial. Il est intéressant de constater que les rebuts de datte diminuent la dureté tandis que le son la fait progresser tout comme les interactions datte\*liant. Dans la mesure où l'eau joue un rôle important dans les phénomènes de « prise » du bloc à cause du ciment, les rebuts de datte doivent jouer un rôle important dans la dynamique de cette eau dans la matrice.

Fondamentalement, pour valider ces deux modèles, Il reste à vérifier que leurs coefficients  $R$  : (A) dattes ; (B) Son ; (C) Liant, ainsi que les interactions (AB) dattes\*son, (AC) dattes\*liant et (BC) son\*liant sont dans l'idéal, aussi significatifs ( $p_{\text{value}} < 0,05$ ). Ces coefficients, traduisent l'effet (importance ou poids) des facteurs sur la réponse.

Il apparaît que, seul le coefficient B (son) pour la dureté en surface à J8 est significatif (**Annexe 23 suite**). Néanmoins, il ne convient pas de rejeter formellement des coefficients non significatifs qu'ils soient en solo ou en interactions. En effet, l'analyse de l'**Annexe 23** montre que, lorsqu'on passe du modèle d'ordre 1 au modèle quadratique,  $R^2$  passe de 0.78 à 0.93 à 2 jours de séchage et de 0.22 à 0.93 pour 8 jours de séchage. Un facteur pris individuellement peut ne pas être significatif mais l'addition des effets peut le rendre significatif. A notre avis, c'est ce phénomène fréquent que nous observons pour les modèles

(1) et (2). Dans ces conditions, l'analyse de variance (qui valide ces deux modèles) peut être un outil de prise de décision, qu'il ne faut pas négliger au profit des seuls coefficients. Pour ce qui nous concerne, nous validons les deux modèles.

Il apparaît donc que globalement, un taux élevé de liant associé à un taux faible de son amplifie la dureté des pastilles. Les rebuts de dattes ont un effet positif et significatif sur la diminution de la dureté des pastilles : facteur antagoniste au durcissement de bloc, cela s'explique probablement par sa teneur élevée en sucres solubles totaux qui varie de 73 à 84.8 % de la MS.

## Conclusion et perspectives

Le but de ce travail était de pouvoir élaborer un aliment de complément (à base de sous produits agricoles) pour le bétail en Algérie, dont le déficit en unité fourragère est bien connu. Le concept de bloc nutritionnel à base de rebut de dattes (165000 tonnes par an correspondant à 150 millions d'unités fourragères) nous paraissait bien adapté. En ce sens, qu'il est produit sans consommation de nouvelle terre, il dépollue et ne consomme que très peu d'énergie pour sa fabrication. Nous espérons, qu'il soit bien ingéré par l'animal qu'il soit nourrissant et qu'il soit économique (ce dernier point méritant encore des études).

Ce travail a montré que les deux premiers étaient avérés. En effet, la consommation du bloc a dépassé toute notre espérance et le gain de poids quotidien obtenu en complément d'un fourrage pauvre comme la paille : 100 à 160g (pour une teneur en rebuts de dattes du bloc de 35 et 65%) est très prometteur. La consommation du bloc s'est située entre 400 et 600g/jour soit plus en moyenne que ce qui est classiquement recommandé (environ 400g), sa digestibilité est de l'ordre de 77% et sa valeur énergétique de 0,80 UF/kg de matière sèche. Substitut d'un concentré conventionnel, il est néanmoins, consommé à un niveau trop élevé, susceptible de déprimer la consommation et la digestibilité des composés pariétaux du fourrage grossier constituant la ration de base (Comme les pailles de céréales qui sont ses premières cibles en termes de complémentation).

Dans l'optique de la mise en place définitive, d'une formulation de bloc multinutritionnel et de sa fabrication industrielle, la dureté et la tenue de la matrice mérite une attention particulière. Elle conditionne en grande partie, le niveau de consommation. Nous avons montré dans ce travail que ses variations étaient expliquées à 99% par la teneur en matière sèche du bloc : **Dureté<sub>bloc</sub> (N/mm) = 235,71\*MS - 163,97**). Cette expression pourrait être utile pour prédire en routine, la dureté. Cette teneur en MS du bloc dépend de la vitesse de sortie de l'eau de la matrice qui elle même est conditionnée par la nature et la proportion des ingrédients dans la matrice ainsi que de leurs interactions comme le montre, le détail la réponse du plan de mélange : **Dureté à 8j surf (N/mm) = -147,61 dattes+2355,48 son - 650,45 liant -2805,67 dattes\*son +3532,53 dattes\*liant - 8096,53 son\*liant**. Ainsi, les rebuts de dattes diminuent la dureté du bloc et le son l'augmente.

La teneur en MS maximum que nous avons mesurée en laboratoire après 7 jours de séchage dans une étuve réglée à 45 °C ou en situation de travail de terrain pendant au moins 10 jours en moyenne à 28°C n'a pas été supérieure à 78% et la dureté à 22 N/mm.

Il nous semble plus indiqué, pour initier une diminution de la consommation de bloc par l'animal de porter la teneur en MS à 80-85%. La dureté correspondante serait alors comprise entre 25 et 36 N/mm. Une telle valeur de dureté sera à rechercher dans la proportion des ingrédients constituant le bloc et la durée de séchage.

Pour ce faire, ce travail devrait être poursuivi par l'établissement et la résolution de nouveaux plans de mélange, le testage de nouveaux liants et l'étude de l'activité de l'eau dans la matrice dont dépendra la conservation sanitaire des blocs sur une longue période.

Néanmoins, sans attendre des travaux complémentaires, des blocs à base de rebuts de datte peuvent être fabriqués manuellement et mis à la disposition de l'élevage. Ils pourraient s'adapter facilement au rationnement d'animaux à état physiologique différent : brebis en gestation, croissance modérée (agnelles), animaux à l'entretien et animaux à l'engrais avec quelques adaptations (apport d'une source de protéines de bonne qualité).

## Références bibliographiques

An B X, Hieu LT, Preston T R (1993). Multinutrients blocks (MUB) as supplement for milking cows fed forages of low nutritive value in south Vietnam. *Livest. Res. Rural Dev.* 5 (1): 1- 5.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). *Official methods of analysis*, 14th Ed; Washington, DC, USA, 1984.

Bada M.A.A., Mosbah Y., (1994). Contribution à la détermination de l'ingestibilité et de la digestibilité in vivo des sous produits de palmier dattier (palmes sèches, pédicelles, rebuts de datte) chez le camelin. Thèse Ingénieur. INFSAS. Ouargla, 44p.

Barreveld W.H., (1993). Date Palm Products. Ed. FAO Agricultural Services Bulletin No. 101. FAO. Rome. Italy. 180p. [en ligne]. Disponible sur : < [www.fao.org/docrep/t0681E/t0681e00.htm#com](http://www.fao.org/docrep/t0681E/t0681e00.htm#com). (consulté le 12.05.2006).

Ben Salem H, Atti N, Priolo A, Nefzaoui A (2002). Polyethylene glycol in concentrate or feed blocks to deactivate condensed tannins in *Acacia cyanophylla* Lindl foliage. *Anim. Sci.* 75: 127–135.

Ben Salem H, Nefzaoui A, Makkar H P S (2007). Feed supplementation blocks for increased utilization of tanniferous foliages by ruminants. In: Makkar H P S, Sanchez M, Speedy A W. *Feed supplementation blocks*. FAO, Rome, p 185-205.

Ben Salem H., Nefzaoui A., (2003). Feed blocks as alternative supplements for sheep and goats. *Small Rumin. Res.* Vol. 49, pp. 275–288.

Berthier Y, Godet M, Brendle M (1989). Velocity accommodation in friction, *Tribology Transaction*, volume 32, Issue 4, pp.490-496.

Bimbenet JJ, Duquenoy A, Trystram G (2007). *Génie des procédés alimentaires. Des bases aux applications*. DUNOD, 573 p.

Bonazzi C, Bimbenet JJ (2008). Séchage des produits alimentaires. Principes. *Techniques de l'Ingénieur*, F3000, pp1-14.

Boual D., (1992). Composition chimique et digestibilité in vitro des palmes sèches, pédicelles, paille et drinn (utilisation d'inoculum d'ovin et de camelin). Thèse Ingénieur. INFSAS. Ouargla, 45p.

Bruinsma, J (2009). *The Resource Outlook to 2050: By How Much do Land, Water and Crop Yields Need to Increase by 2050?* Prepared for the FAO Expert Meeting on 'How to Feed the World in 2050', 24–26 June 2009, Rome.

Calsamiglia S, Cardozo PW, Ferret A, Bach A (2008). Changes in rumen microbial fermentation are due to a combined effect of type of diet on pH. *J. anim. Sci.* 2008; 86: 702-711.

Chabaca R (2009). *Elevage des ruminants en Méditerranée. Tome 1: Environnement physique, socio-*

économique et alimentaire. Rapport Averroes-SupAgro Montpellier 54p.

Chabaca R, Hadjsmail B, Larwence A (2010). Blocs multinutritionnels a base de rebuts de dattes pour ovins dans les zones arides. 2.Valeur nutritionnelle. Sécheresse; 21(4) : 272-7

Charlet-Levy G. (1969) Methods for determination of digestibility coefficient of feed for ruminant. Commission on animal nutrition INRA Paris 1969.

Chehma A, Hamouda F (2004). Bilan azoté et gain de poids, chez le dromadaire et le mouton, alimentés à base de sous produits du palmier dattier, de la paille d'orge et du drinn (Aristidapungens). Cahiers Agricultures 2004 ; 13 : 221-226.

Chehma A., (1998). Contribution à l'étude quantitative et valeur alimentaire des sous produits de palmier dattier chez le mouton et le dromadaire en zones arides. Thèse Magister. INA. El Harrach.131p

Chenost M, Kayouli C (1997). Utilisation des fourrages grossiers en régions chaudes. Étude FAO. Production et Santé Animales, FAO, Rome. Italie, 226 p.

Chermiti A (1998). Utilisation des figues de barbarie en remplacement de la mélasse dans les blocs nutritionnels. Effets sur l'ingestion volontaire. Ann. Zootech. 47 : 179-184.

Chouia A., Ferhat H.M.E., (1995). Éssai du traitement à l'ammoniac des sous produits de palmier dattier (pédicelles, palmes sèches). Thèse Ingénieur. INFSAS. Ouargla.50p.

Cozannet P, Primot Y, Métayer JP, Gady C, Lessire M, Geraert PA, Le Tutour L, Skiba F, Noblet J (2009). L'utilisation des drêches de blé en alimentation animale. Inra Prod. Anim. 22 : 11-16.

Denape J, Berthier Y, Vincent L (2001). Wear particles life in a Sliding Contact under dry conditions: Third body Approach. Fundamentals of Tribology and Bridging the Gap Between Macro, Micro and Nanoscale, Nano Science Series II, volume 10, pp.393- 411.

Dorin B, Paillard S (2009) Agriculture et alimentation du monde en 2050 pour un développement durable. Agrimonde INRA-CIRAD 2ème Ed. 265p.

Dozias D, Peccaatte JR, Agabriel J, Micol D (2007). Apport de différents niveaux de concentré dans des rations de bœufs à l'engrais : confrontation au modèle de substitution fourrages – concentré. Renc. Rech. Ruminants; 14 : 237-239

Dugot P (2001). L'eau autour de la Méditerranée. Ed.Harmattan 190p

El Fouly H.A., Leng R.A., (1986). Manipulation of rumen fermentation to enhance microbial protein synthesis from NPN supplements. In: Extended synopsis of international Symposium on the use of nuclear techniques in studies of animal production and health in different environments. IAEA. Vienna, Austria, 17-21 march, pp. 170-171.

El Hag M.G., El khanjari H.H., (1992). Dates and sardines as potential animal feed resources. In: Better feeding for improved production. World Anim. Rev. 73, pp. 221-239.

El Mokhtar M ; Fakir Y ; El Mandoud A ; Benavente J ; Meyer H ; Stigter T (2012) Salinisation des eaux souterraines aux alentours de sebkhas de Sad Al Majnoun et Zima (Plaines de la Bahira, Maroc). *Sécheresse* 23 (1) 48-56.

Etcheverry, B. (2006) Adhérence, mécanique et tribologie des revêtements composites NiP/Talc multifonctionnels à empreinte écologique réduite. Thèse de Doctorat de l'INP de Toulouse. 234 p.

FAO (1997) Roughage utilization in warm climates. FAO animal production and health paper 135 <http://www.fao.org/docrep/003/w4988e/W4988E00.htm#ch0.1> visité le 25 avril, 2013.

FAOstat, (2012) crops productions. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor> Visité le 25 avril, 2013.

Faye B, Alary V (2001). Les enjeux des productions animales dans les pays du Sud. *Inra. Prod. Anim.*; 14 : 3-13.

Filippi B G, Amici A, Machin D (1992). Initial studies on the production and use of molasses blocks in the feeding of forage fed rabbits. *Journal of Applied Rabbit Research*, 15: 1053–1057.

Garg M R, Mehta A K, Singh D K (1998). Advances in the production and use of urea molasses mineral blocks in India. *World Animal Review*, 90: 1.

Garg MR, Gupta B N (1992). Effect of supplementing urea molasses mineral block lick to straw based diet on DM intake and nutrient utilization. *Asian- Australasian Journal of Animal Science*, 5: 39-44.

Genin D, Kadri A, Khorchani T, Sakkal K, Belgacem F, Hamadi M (2004) . Valorisation des sous produits du palmier pour l'alimentation du bétail dans le sud de la Tunisie. I-Potentialités d'utilisation traditionnelle. *Options Méditerranéennes : Ser A. Séminaires Méditerranéens*; 9 : 221 - 6.

Giger S, Sauvant D (1983). Comparaison de différentes méthodes d'évaluation du coefficient d'utilisation digestive des aliments concentrés par le ruminant. *Ann. Zootech* ; 32: 215-246.

Giger-Reverdin S, Aufrère J, Sauvant D, Demarquilly C, Vermorel M, Pochet S (1990). Prédiction de la valeur énergétique des aliments composés pour les ruminants *Inra Prod. Anim.* 3 : 181-188.

Goupy J.(2000). plans d'expériences : les mélanges. Edition dunod. 284p

Hadjipanayiotou M (1996). Performance of Friesian heifers on urea blocks and of Chios ewes on blocks and other supplements. *Livest. Res. Rural Dev.* 8 (1) : 9.

Hadjipanayiotou M, Verhaeghe L, Allen M, Kronfoleh AR, Al-Wadi M, Amin M, El-Said H, Al-Haress AK (1993a). Urea blocks. I. Methodology of feed block making and different formulae tested in Syria. *Livest. Res. Rural Dev.* 5 (3) :1- 8.

Hadjipanayiotou M, Verhaeghe L, Kronfoleh AR, Labban LM, Amin M, Al-Wadi M, Badran A, Dawa K, Shurbaji A, Houssein M, Malki G, Naigm T, Merawi AR, Haress AK (1993b). Urea blocks. II. Performance of cattle and sheep offered urea blocks in Syria. *Livest. Res. Rural Dev.* 5 (3) :1-7.

Hadjsmail B (2009). Caractérisation et formulation d'un bloc multinutritionnel à base de rebuts de dattes et de son de blé pour l'ovin. Mémoire de Master. SupAgro Montpellier, France.

Hadjsmail B, (2007). Essai de mise au point pour l'ovin d'un bloc multinutritionnel à base de rebuts de datte : Effet sur la valeur alimentaire d'une paille de blé. Mémoire de magister en sciences animales. INA, Alger.96p.

Hadjsmail B, Chabaca R, Larwence A (2010). Blocs multinutritionnels a base de rebuts de dattes pour ovins dans les zones arides : 1.Caracteristiques physiques et appetibilite. Secheresse; 21(4) : 266 -71.

Hassoun P (1989). Manufacture of urea blocks without molasses. Mimeograph, FAO, Rome, Italy.

Hassoun P, Bâ AA. (1990). Mise au point d'une technique de fabrication des blocs multi nutritionnels sans mélasse. *Livest. Res. Rural Dev.* 1990; 2: 1; <http://www.lrrd.org>.

Houmani M (2003). Situation alimentaire du bétail en Algérie. Recherche agronomique, INRAA. 4 : 35 - 45.

Houmani M, Tisserand J L (1999). Complémentation d'une paille de blé avec des blocs multinutritionnels : effets sur la digestibilité de la paille et intérêt pour des brebis taries et des agneaux en croissance. *Ann. Zootech.* 48 : 199-209.

Houmidbennani H (1998), Contribution à l'étude de l'adhérence et des caractéristiques mécaniques et tribologiques de quelques couches minces dures. U.F.R. des Sciences et Technologies de l'université de Franche Comté, 146p.

INRA (1978). Alimentation des ruminants. Ed. INRA, Versailles, France.

INRA (2007) .Alimentation des bovins, ovins et caprins: Besoin des animaux, valeurs des aliments. Quae Eds, Versailles France.

INRA., 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Éd. INRA. Route de St Cyr. Versailles. 472p

MADR (2007) [en ligne]. Disponible sur: <http://www.minagri.dz/> (consulté le 14-06-2009)

Makkar H P S, Sanchez M, Speedy AW (2007). FEED SUPPLEMENTATION BLOCKS.FAO, Rome, 252p.

MAP (2002). Ministère de l'agriculture et de la pêche : statistiques agricoles série B (superficie et production).

Mebirouk L, Araba A, Ouzrout R (2008). Effet de substitution de l'orge grain par les rebuts de dattes sur les performances zootechniques et le rendement en carcasse d'ovins de race berbère. *Renc. Rech. Ruminants* 2008; 15: 312.

Miller S.M., Thompson R.P., 2003. Developing urea-molasses feed blocks in the Falkland Islands. *Livest. Res. Rural Dev.* 15 (3), pp. 1-10



Mouhous A (2007). Alimentation des troupeaux des zones steppiques. Cas de la zone de Hadj Mechri (région de Laghouat), Algérie. *Livest. Res. Rural Dev.* 19 (2):11.

Moujahed N, Kayouli C, Raach-Moujahed A (2003). La complémentation des fourrages pauvres par les blocs multinutritionnels chez les ruminants. 2-Effets sur l'ingestion, la digestion et les performances animales. *Livest. Res. Rural Dev.* 2003 (15) 3 ; <http://www.lrrd.org>.

Moujahed N, Kayouli C, Thewis A, Beckers Y, Rezgui S (2000). Effect of multinutrient blocks and polyethylene glycol 4000 supplies on intake and digestion by sheep fed *Acacia cyanophylla* Lindl. Foliage-based diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 88: 219-238.

Nguyen Van Thu (2000). Urea-molasses based supplements for multipurpose buffaloes. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.

Nogueira-Filho S (2005). The effect of increasing level of roughage on coefficients of nutrient digestibility. *Anim. feed Sci technol.* ; 120: 151-157.

Nuwanyakpa M, Preston T R, Sayers R (1986). Effects of watering frequency on the response of sheep to supplementation with molasses/urea and noug cake (*Guizotia abyssinica*). In: Preston T R, Nuwanyakpa M, Towards optimal feeding of agricultural by products to livestock in Africa. ILCA, Addis Ababa. p93-101.

Nyarko-Badohu DK, Kayouli C, Bâ A A, Gasmi A (1994). Valorisation des pailles de céréales en alimentation des ovins dans le nord de la Tunisie : traitement à l'urée et à l'ammoniac et complémentation par des blocs mélasse-urée. *Options Méditerranéennes, Série B : Études et Recherches* 6 :129-141.

Oulmane M H (2010) Les coproduits agroalimentaires, ressources potentielle pour le ruminant en Algérie. Mémoire de fin d'études INA El Harrach, 86p.

Perez R (1990). Manual de crianza: Conejos. Ministerio del Azucar, Havana, Cuba. 79 p.

Rajkomar B (1991). The molasses block technology in Mauritius and the African Perspective. *Livest. Res. Rural Dev.* 3 (3): 1-9.

Salman A D (1999). The Role of Multinutrient Blocks for Sheep Production in an Integrated Cereal-livestock Farming System in Iraq. *Livest. Feed Resou. Within Integra. Farm. Sys.* IPA Agricultural Research Center. Baghdad. Iraq. P. 209-219.

Sansoucy R (1986). The Sahel manufacture and molasses urea blocks. *World Anim. Rev.*, 1986; 57: 40-48.

Sansoucy R (1995). New developments in the manufacture and utilization of multinutrient blocks. *World Animal Review*, 82: 78-83.

Sansoucy R, Hassoun p (2003). The block story. In: Makkar H P S, Sanchez M, Speedy A W. Feed supplementation blocks. FAO, Rome, p 185-205.

Sauvant D, Giger-Reverdin S (2009). Modélisation des interactions digestives et de la production de méthane chez les ruminants. *Inra Prod. Anim.* ; 22 : 375-384.

Sauvant, D (2003). Modélisation des effets des interactions digestives entre aliments sur les flux digestifs et métaboliques chez les bovins. *Renc. Rech. Rum.* ; 10 : 151-158.

Seddi A., 1993. Contribution à l'étude de la composition chimique et la digestibilité in vitro de la matière sèche (camelina, ovine) des sous produits de palmier dattier. Thèse Ingénieur. INFSAS. Ouargla. 33p.

Sudana IB, Leng RA (1986). Effects of supplementing a wheat straw diet with urea or urea-molasses blocks and/or cottonseed meal on intake and live weight change of lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 16 : 25-35.

Thibault B, Marc B, César H, Rémi L, Simon M, Thibault O, (2008) Projet IFIPS S2 [en ligne].

Disponible sur : <http://lebeton.free.fr/ciment.html#II>(consulté le 29.04.2013).

Thomas SG ; Middleton NJ (1994). Desertification exploding the myth. Ed. Wiley New York, 194p.

Triki S, Larwence A (2008). Contribution to assessment of energy requirements in ruminant of the Ouled-djellal breed lambs. *Livest Res Rural Dev.* 20 (11). <http://www.lrrd.org/lrrd20/11/trik20187.htm>.

Van Soest P.J (1963). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds: II- A rapid method for the determination of fibre and lignin. *J. AOAC.* 1963; 46: 829-235.

Vetopsy (2013) Papilles gustatives du mouton [en ligne].

Disponible sur : [http://www.vetopsy.fr/sens/gout/gout\\_pap.php](http://www.vetopsy.fr/sens/gout/gout_pap.php) (consulté le 29.04.2013).

Vimane P (2003). Cours en ligne [en ligne].

Disponible sur : [http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre\\_trois\\_un.html](http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_trois_un.html) (consulté 29.04.2013)

Vindt G (2005) Le choc entre l'homme et la nature. In : Le développement durable. *Alternative Economique HS N° 63* ; p. 11-16.

Yue-ming WU, Wei-lian H U, Jian-xin L I U (2005). Effects of supplementary urea-minerals lick block on the kinetics of fibre digestion, nutrient digestibility and nitrogen utilization of low quality roughages. *J. Zhejiang. Univ. SCI.* 6B (8): 793-797.

Yuzhi C, Hong W, Xiuewu M, Yu L, Zhanqi G, Peterson M A (1993). Multinutrient lick blocks for dairy cattle in Gansu province, China. *Livest. Res. Rural Dev.* 5(3): 1- 4.

ZumGahr K H (1897). Microstructure and wear of materials, Tribology series 10.Elsevier Sciences Limited Paris, 560 P.

# ANNEXES

## Annexe 1. Caractéristiques chimiques des sources de glucides fermentescibles susceptibles d'être utilisées dans la fabrication des blocs.

Sources	Forme	g/kg	g/kg MS				
		MS	MO	MAT	CB	Ca	P
Mélasses de canne	Visqueuse	740	877	56	0	7.5	0.5
Mélasses de betterave	Visqueuse	761	868	146	0	3.5	0.5
Pulpes de betterave déshydratée	Solide	889	912	98	206	13	1
Vinasse de mélasse ordinaire	Visqueuse	685	794	398	0	0.1	0.1
Pulpes d'agrumes déshydratées	Solide	902	935	70	137	23	1.3
Pulpes de tomate	Visqueuse	730	959	189	423	4.0	5.5
Lactosérum	Liquide	62	885	129	0	19	10
Datte*	Solide	844	740	44	57	2	0.7
Pulpes de datte déshydratée**	Solide	928	980	44	116	-	-
Rebut de datte*	Solide	895	810	69	20	1.4	1.3
Noyaux de datte**	Solide	940	820	84	208	-	-

INRA 1988 ; \*Barreveld (1993) ; \*\* El Hag et EL Khanjari, (1992).

## Annexe 2. Les principales catégories de rebuts de datte en Algérie.

Catégories	Origine et caractéristiques
1- Sich	Datte non fécondée, ne possède pas de noyau.
2- H'chef	Datte sèche déshydratée, par manque d'eau et d'éléments nutritifs, elle n'a pas atteint le stade de maturation, peut être causé par suite d'une lésion de hampe ou du pédicelle.
3- M'soussa	Datte véreuse, attaquée par l' <i>Ectomélois</i> .
4- Kehla	Datte noire par oxydation.
5- Belha	Datte immature, très riche en eau.
6- Seksak.	Datte tardive, immature.
7- Boufaroua	Datte attaquée par <i>OlégonichusAfrasiaticus</i> .
8- Mâakoufa	Datte recroquevillée.
9- Melbouza	Datte écrasée.
10- Caoutchoutée	Datte déshydratée, dure et élastique.
11- Mangouba ou Mantoucha	Datte attaquée par les oiseaux.
12- Makhmoudja	Datte pourrie.
13- Mangoura	Datte pourrie au niveau du calice.
14- Datte bille	Datte naine

Chehna (1998).

## Annexe 3. Composition en sucres des dattes molles, demi molles et sèches.

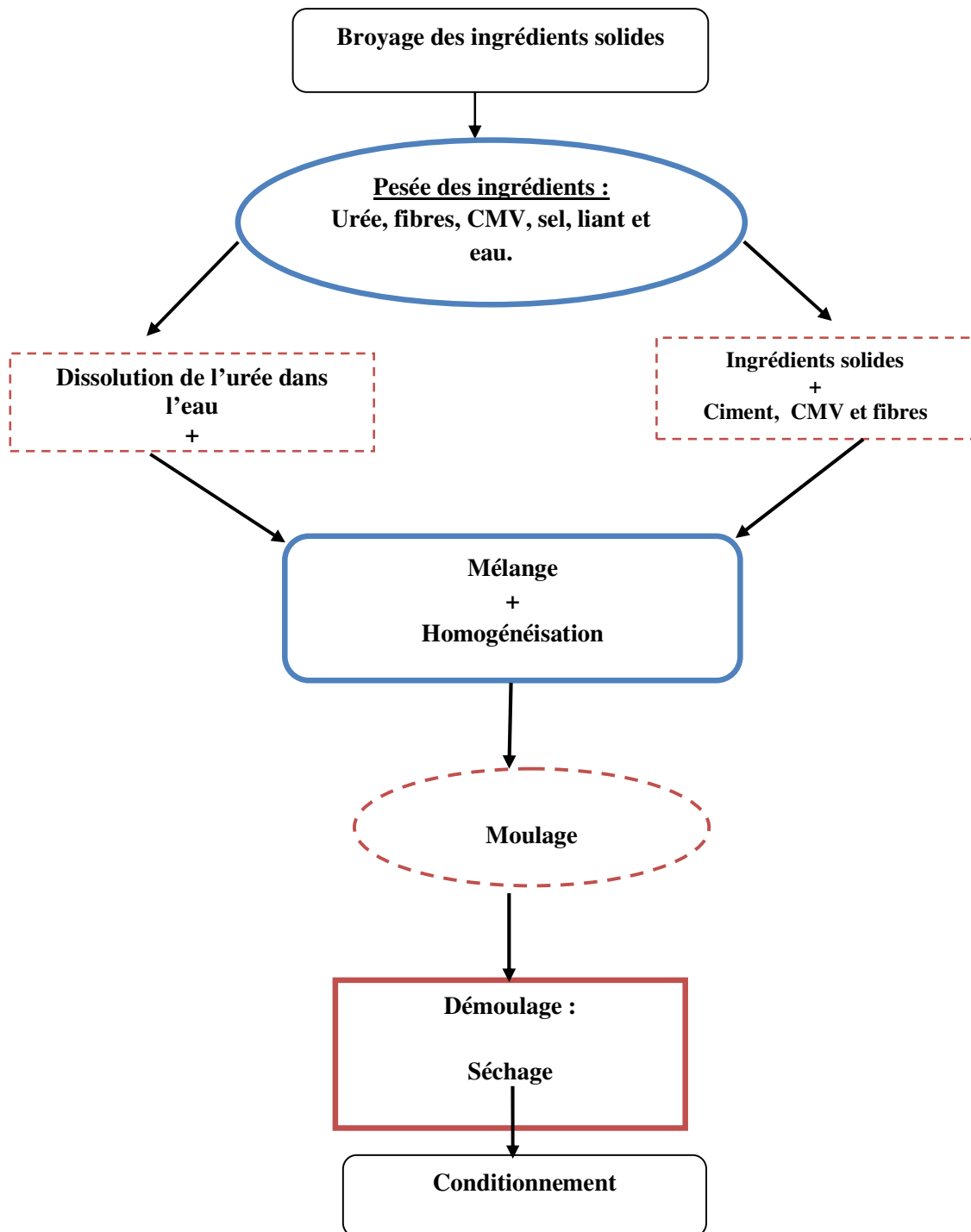
Type de variétés	% Humidité (poids frais)	Sucres totaux (% de MS)	Sucres réducteurs (% de MS)	Saccharose (% de MS)	
Molle : Barhee	37.3	84.8	84.8	0	
	Khadrawy	24.4	82.2	82.2	0
Demi molle : DegletNour	24.1	77.1	38.6	38.5	
	Dayri	22.2	75.7	70.4	5.3
	Zahdi	13.6	78.2	70.7	7.5
	Zahdi	-	82.0	64.6	17.4
Sèche	Thoori	15.5	73.0	40.9	32.1
	Kinta	-	80.0	35.0	45.0

Barreveld (1993)

#### Annexe 4. Composition chimique des palmes sèches, pédicelles et noyaux (%MS).

Auteurs	MS (%)	MO	MM	MAT	CB	NDF	ADF	Hem	ADL
<b>Boual (1992)</b>	95.15	85.99	14.01	5.10	-	89.60	43.90	45.70	11.75
<b>Seddi (1993)</b>	95.63	82.78	17.21	4.89	-	89.28	65.3	23.98	20.45
<b>Bada et Mosbah (1994)</b>	93.89	80	19.98	1.80	37.20	-	-	-	-
<b>Chouia et Ferhat (1995)</b>	92.40	81.93	18.07	4.04	28.19	-	-	-	-
<b>Chehma (1998)</b>	94.37	84.74	15.25	3.90	-	89.44	65.30	23.98	20.45
Les palmes représentent la partie foliaire du palmier dattier. Chaque année, le palmier dattier doit être débarrassé de ses palmes sèches. On peut obtenir 10 à 20 palmes sèches par pied, (représentant une production moyenne annuelle de 200.000 tonnes, en fonction des variétés et de la technique de conduite de la culture (en irrigué ou non, fertilisation etc....). L'utilisation des palmes dans l'alimentation animale est très répandue dans les élevages traditionnels et familiaux surtout pendant les périodes creuses de l'année (été, hiver). Leur composition chimique, se rapproche de celle d'une paille de céréale.									
Pédicelles de datte									
Auteurs	MS (%)	MO	MM	MAT	CB	NDF	ADF	Hem	ADL
<b>Boual (1992)</b>	95.17	92.22	7.78	5.25	34.28	83.20	32.55	50.65	6.05
<b>Seddi (1993)</b>	95.57	91.75	8.24	4.88	29.23	83.25	54.21	29.06	33.31
<b>Bada et Mosbah (1994)</b>	87.73	89.78	10.22	1.69	37.94	-	-	-	-
<b>Chouia et Ferhat (1995)</b>	92.30	93.10	6.90	4.81	36.81	-	-	-	-
<b>Chehma (1998)</b>	90.98	91.97	8.03	3.93	36.55	83.25	53.88	29.06	19.68
Les pédicelles de datte représentent le support des dattes. Le régime est constitué par un ensemble de pédicelles (épillets) fixés sur le palmier dattier par la hampe (pédoncule). La production annuelle est estimée à 9 200 tonnes. Les pédicelles constituent un déchet important après la cueillette de datte. Ils sont utilisés généralement comme combustible domestique dans la maison ou détruits après la récolte pour éviter l'encombrement dans la palmeraie. Très peu de travaux ont été réalisés sur l'utilisation de pédicelles de datte en alimentation animale. Tout comme les palmes, leur composition chimique se rapproche de celle des pailles de céréales, hormis leur teneur en lignine, qui est plus élevée.									
Noyaux de datte									
Les noyaux de datte, c'est la graine de la datte. Ils représentent 7 à 35 % du poids de la datte (selon la variété). Ils sont issus de la production de pâte de datte, confiture de datte, sirop de datte, dattes fourrées, jus de datte ; ils sont riches en cellulose et minéraux avec respectivement 20 % et 18% de la MS et une teneur en azote non négligeable (8%) tout comme la teneur en ENA (extractif non azoté) appréciable.									

**Annexe 5. Diagramme standard de fabrication de bloc multinutritionnel.**



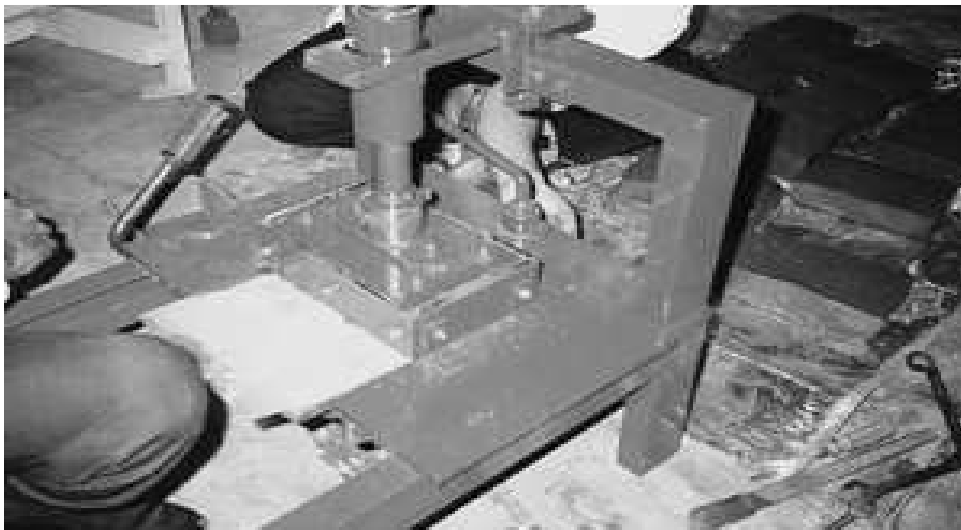
**Annexe 6. Broyeur à marteaux (Source : Electra-industrie, 2009).**



**Annexe 7. Mélangeur horizontal (Source : Electra-industrie, 2009).**



**Annexe 8. Presse de blocs (Source : Garget al ; 1998) et mouleuse de brique pleine (source : hyperbric, 2009).**





**Annexe 9. Combiné mélangeur-mouleuse pour fabrication de BMN (Source : Garget al ; 1998).**



**Annexe 10. Quelques caractéristiques mécaniques d'intérêt pour les blocs multinutritionnels.**

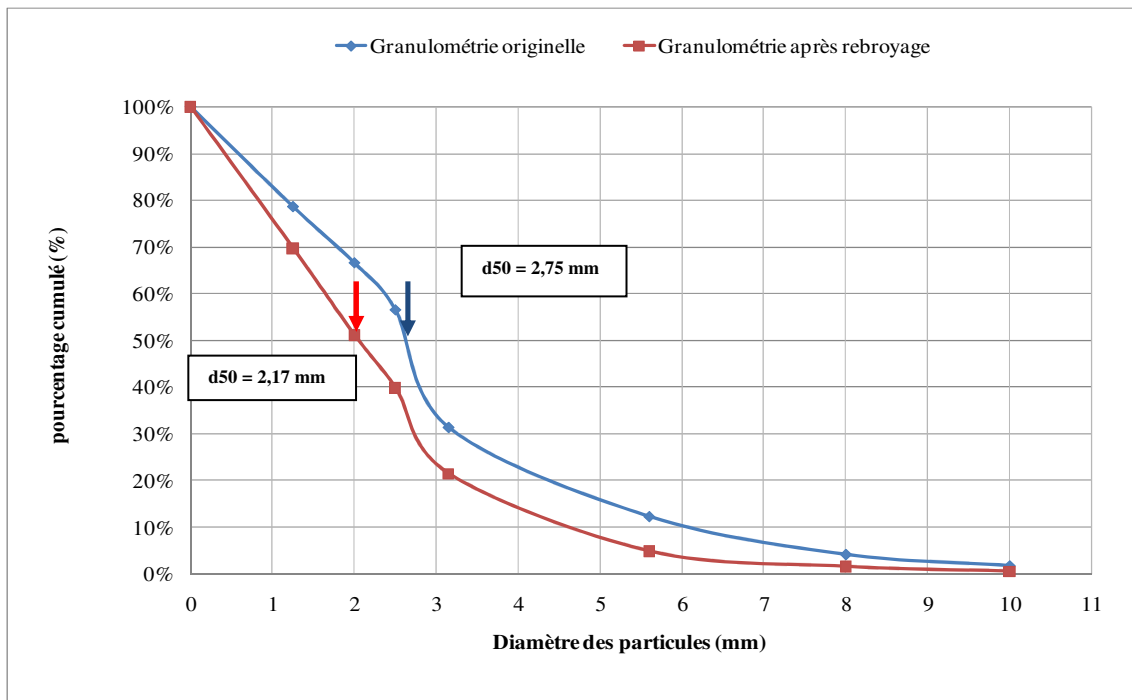
<b>Caractéristiques mécaniques</b>	<b>Définition</b>	<b>Force mise en œuvre</b>	<b>Technique de mesure</b>	<b>Principe</b>
<b>Texture</b>	C'est l'ensemble des propriétés rhéologiques et de structure (géométrie et surface) d'un produit alimentaire perceptible par les mécanos récepteurs, les récepteurs tactile et éventuellement les récepteurs visuel et auditif.	Ecrasement du produit lentement	Analyse instrumentale du profil de texture (TPA)	L'échantillon est soumis à deux déformations successives
<b>Adhésion</b>	L'adhésion est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques qui se produit lorsque l'on met en contact intime deux matériaux.	Travail nécessaire pour décoller l'échantillon de la sonde	Analyse instrumentale du profil de texture (TPA)	Mesurer la résistance que présente l'aliment et quelle énergie est dissipée pendant le décollage
<b>Résistance à l'abrasion</b>	L'usure produite par le frottement de particules entre-elles ou entre 2 surface dont au moins une est abrasive.	Frottements	Abrasimètre	l'échantillon est positionné sur une table tournante et soumis à l'action de 2 roues abrasives appliquées à force constante.
<b>Cohésion</b>	-Correspond à la force qui s'exerce entre les molécules d'un corps, s'opposant à leur séparation. -Forces de liaisons internes maintenant la structure du produit	- Attraction interarticulaires. - Forces électrostatiques	-Test d'étirement -Test dit à deux morsures	mesurer la force nécessaire pour étirer un échantillon d'une longueur donnée
<b>Résistance au Cisaillement</b>	Le cisaillement est une contrainte tangentielle appliquée en deux points très proches mais dans des sens opposés.	Force de rupture	Test de cisaillement	Plusieurs lames coupantes qui cisailent le produit alimentaire dans des conditions standardisées
<b>Dureté</b>	Capacité d'une substance solide à résister à une déformation ou à une abrasion de surface.	- Pression - Force de pénétration	-Test de compression -Test de pénétration	- Mesurer la résistance que présente l'aliment à la compression. - Mesurer la force nécessaire pour atteindre une certaine Profondeur

### Annexe 11. Quantités ingérées de bloc multinutritionnel selon différents auteurs.

Numéros d'auteurs	Ration de base	Espèce	Ingestion (g/j)		Digestibilité %		GMQ (g/j)
			grossier	BMN	MO	MAT	
5	Paille de riz	Agneaux	534	10	58.4	45.7	-
6-7-8	Paille	Brebis Awassi	-	243	-	-	+115
			-	252	-	-	+77
			-	150	-	-	+40
10	Acacia	Ovins	37.3*	22.3*	52.3	39.5	+2
12	Paille	Bovin (250kg)	-	700	-	-	-
		Ovin (30kg)	-	100	-	-	-
13	Paille de blé	Agneaux (22kg)	420	400 #	-	-	+10
14	Paille de riz	Buffles (233kg)	-	500-600	-	-	-
18	paille	Brebis	60*	530 #	-	-	+53
19	Paille	Ovin awassi	770	230 #	-	-	-53
20	paille	Bovins, buffles (adulte)	-	400-800	-	-	-
		Camélidés	-	300-500	-	-	-
		Ovins et caprins	-	100-250	-	-	-
21	Acacia	Ovins (46kg)	760.1	272	50.2	51.3	-
22		Ovins (52kg)	773.4	261	53.7	64.2	-
23	paille	Agneaux	727	427.5	56.7	54.5	+83
24			450	784	59.1	60.9	+105
Kunju (1986)	Paille de riz	Buffles	+ 29.5 %	150-185 #	-	-	+700
Tiwari et al ; (1990)	paille	Buffles	3.38kg	-	-	-	+288
El Khidir et al ; (1989b)	Foin de sorgho	Ovins	678	451	-	-	+ 61

\* en g/kgp<sup>0.75</sup>; # en g/100kg PV; **BMN** : Bloc multinutritionnel; **MO** : Matière Organique ; **MAT** : Matière Azotée Totale ; **GMQ** : gain moyenne quotidien ; **5-** Yue-ming et al (2005) ; **6-7-8-** Salman (1999) ; **10-** Ben Salem et al ( 2002) ; **12-**Sansoucy (1986) ; **13-**Sudana et leng (1986) ; **14-**Rajkomar (1991) ; **18-**Nyarko-badohu et al (1993) ; **19-**Hadjipanaiotou et al (1993b) ; **20-**Chenost et kayouli (1997) ; **21- 22-** Moujahed et al (2000) ; **23-24-**Houmani et Tisserand (1999).

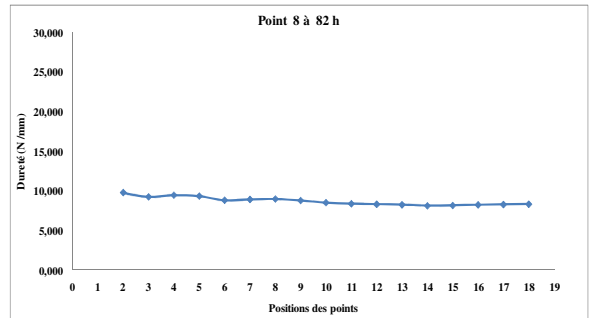
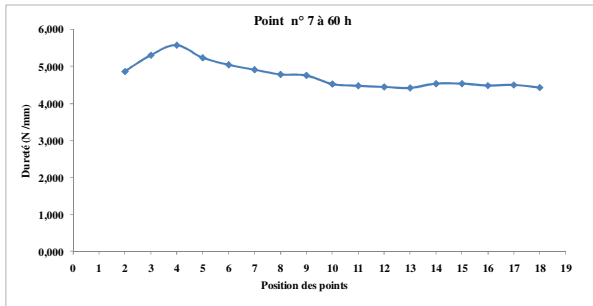
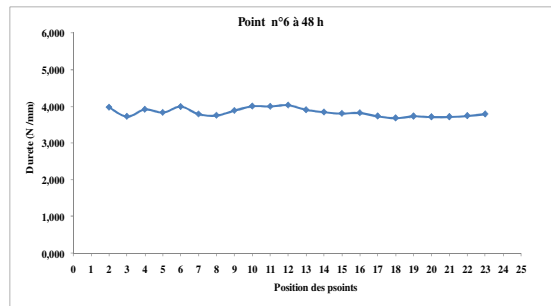
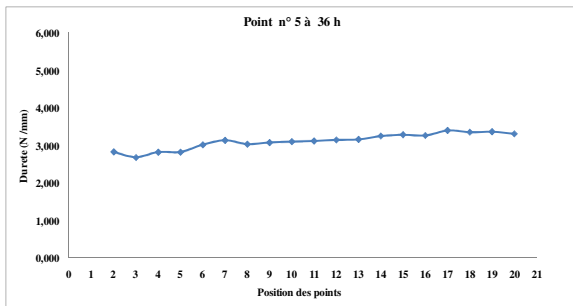
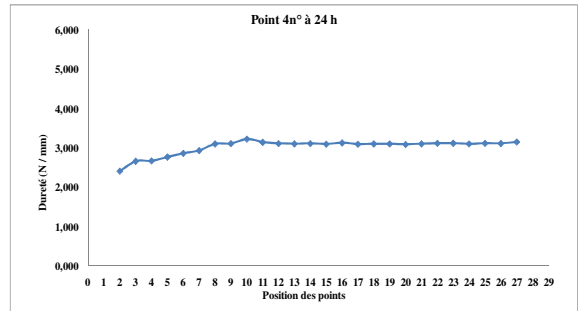
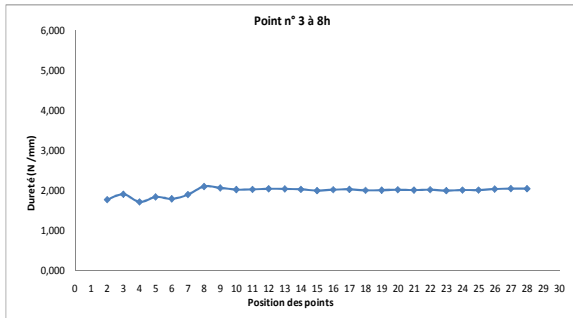
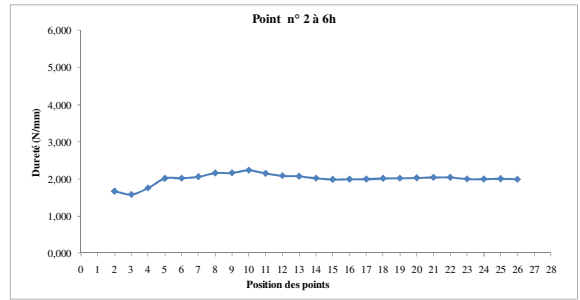
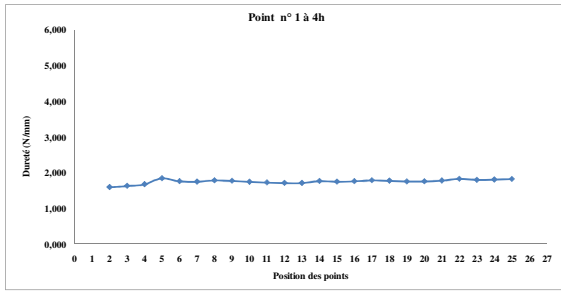
## Annexe 12. Distribution granulométrique cumulée des rebuts de dattes.

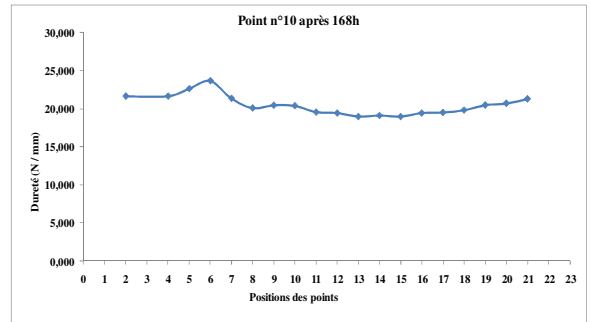
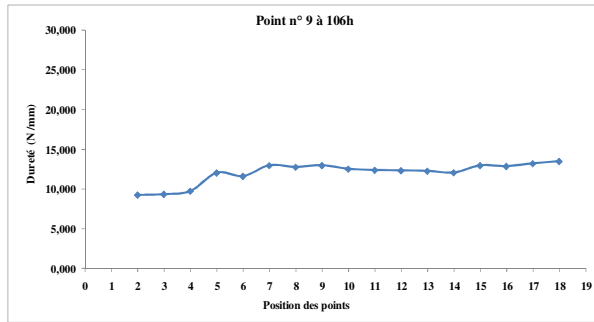


## Annexe 13. Granulométrie et d50 des rebuts de dattes

Dimensions (mm)	1-Granulométrie originelle (%)	2-Granulométrie après broyage (%)	Ecart (1-2)
< 1,25	21,40%	30,27%	8,9%
> 1,25	12,06%	18,62%	6,6%
> 2	10,07%	11,30%	1,2%
>2,5	12,93%	13,60%	0,7%
> 3,15	31,31%	21,43%	-9,9%
> 5,6	8,14%	3,29%	-4,9%
>8	2,41%	1,02%	-1,4%
> 10	1,69%	0,48%	-1,2%
<b>Diamètre moyen</b>	<b>2,75 mm</b>	<b>2,17 mm</b>	

## Annexe 14. Evolution de la dureté du bloc mère pour chaque temps de séchage en fonction de la position de chaque point sur la surface du bloc.





### Annexe 15. Dureté et MS bloc mère.

Temps (h)	MS (%)	Dureté (N/mm)
0	65,36%	0
4	66,98%	1,82
6	67,45%	1,99
8	68,13%	2,04
24	69,79%	3,14
36	70,93%	3,32
48	71,83%	3,79
60	72,75%	4,44
82	73,99%	8,31
106	75,27%	13,48
168	78,02%	22,30

Annexe 16. Photo réelle de la face ¼ (en haut) et ½ (en bas) du bloc mère en profondeur.



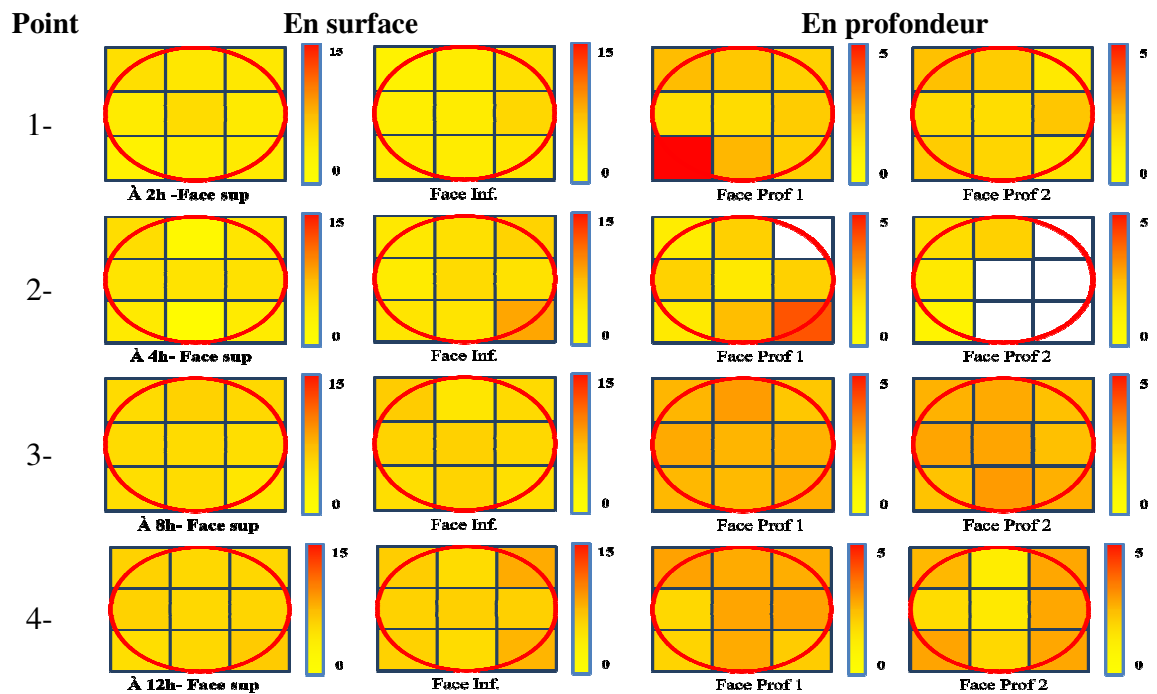
Annexe 17. Valeurs de la dureté en profondeur du bloc, coupe ½.

	8,87	7,69	4,38	5,79	9,36		7,37	6,40	8,07	10,52	6,37	9,86
	6,63	6,21	6,43		6,00	7,34	6,74	5,04	4,50	3,10	6,01	9,46
5,53	2,18	1,41	1,11	1,17	3,30	2,09	3,02	3,93	1,85	1,61	2,10	1,46
4,75	1,75	1,73	1,34	3,08		2,96			1,39	1,45	1,50	1,82
3,94	1,52	2,11	1,48	3,74	4,81		3,60	3,23	1,52	1,74	1,26	1,34
3,91	2,33	2,69	1,02	3,90	3,51	3,50	3,56	4,33	1,58	2,01	1,23	
1,28		1,68	2,89	6,39	2,19	2,11	1,87	2,03	2,75		2,27	2,58

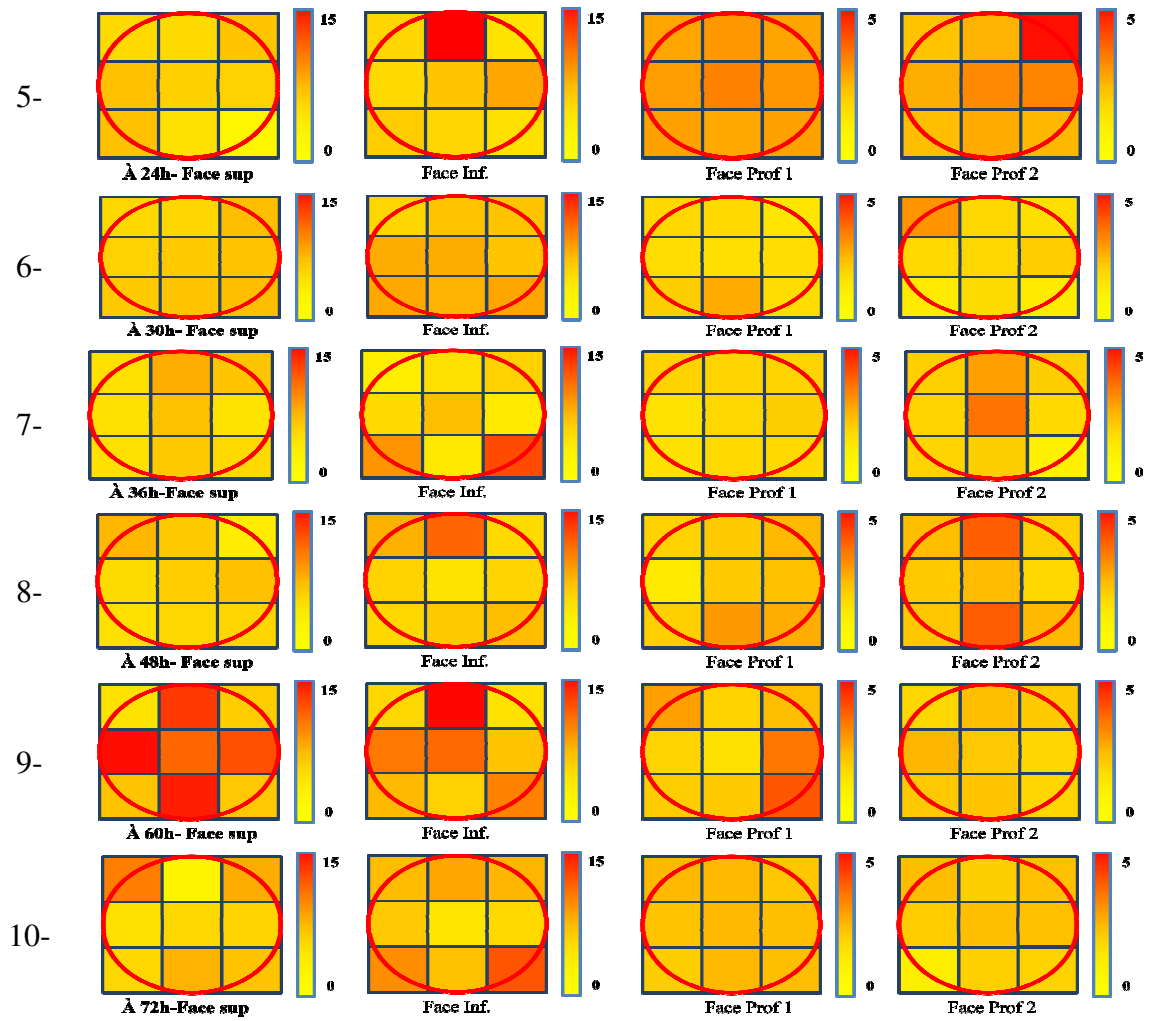
Annexe 18. Valeurs de la dureté en profondeur du bloc, coupe 1/4.

2,65	2,35	3,39	2,44	2,02	3,93	2,14	2,99		1,96	2,17		3,06
2,18	2,62	2,19	2,10	1,87	2,12	1,61	1,69	1,83	2,14	1,41	2,02	5,52
1,97	1,67	1,57	2,07	1,72	1,30		2,10	1,52	1,58	1,22	1,85	2,52
1,73	1,36	1,31	1,38	1,22	1,30	1,31	1,49	2,04	1,43	1,68	2,25	2,05
2,59	1,72	1,19	1,71	1,49	1,16	1,51	1,46	1,12	1,75	1,42	1,95	1,22
5,23	1,69	1,75			1,76	1,73			1,89	2,13	2,34	2,89
3,81	2,34	3,59	2,67	1,53	1,60	1,66	2,79	2,77	2,30	2,27	3,72	3,19

Annexe 19. Cartographie de la dureté de la pastille en fonction du temps.







**Annexe 20. Photo réelle du profile de la pastille.**



### Annexe 21. Dureté et MS pastille.

Temps (h)	MS(%)	Dureté en surface (N/mm)	Dureté en profondeur (N/mm)
0	66,99%	0	0
2	68,73%	1,01	0,66
4	69,63%	1,30	0,73
8	71,86%	1,84	1,10
12	72,20%	1,82	0,96
24	75,20%	2,12	1,30
30	76,67%	2,45	0,78
36	77,11%	2,37	0,79
48	78,78%	2,37	1,04
60	80,18%	4,23	1,02
72	81,28%	3,62	1,21

### Annexe 22. Evolution de la MS des pastilles.

Essai	Rebuts de dattes (%)	Son (%)	Liant (%)	MS à J0	MS à J2	MS à J4	MS à J 8	PE (g)	PE (%)
1	47	20	15	68,1%	75,5%	82,7%	89,3%	42,3	66,5
2	52	20	10	67,4%	72,7%	82,8%	88,1%	41,3	63,3
3	62	10	10	66,6%	73,2%	78,7%	83,4%	33,2	50,2
4	57	10	15	67,4%	71,7%	78,6%	88,9%	43,1	66,1
5	49,5	20	12,5	67,7%	73,2%	79,5%	88,4%	41,4	64,2
6	57	15	10	67,0%	74,1%	83,3%	88,0%	42,0	63,7
7	59,5	10	12,5	67,0%	71,2%	77,7%	83,7%	33,5	50,7
8	52	15	15	67,7%	73,8%	83,9%	86,6%	37,8	58,6
9	57	15	10	67,0%	70,3%	79,2%	85,5%	37,0	56,1
10	57	15	10	67,0%	71,2%	79,8%	84,6%	35,3	53,5

PE : perte en eau

## Annexe 23. ANOVA

ANOVA; Variable: dureté à 2J prof ; Ajust. séquentiel des modèles de + en + complexes										
	SC	dl	MC	SC	dl	MC	F	p	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajusté
<b>Lin.</b>	<b>0.042432</b>	<b>2</b>	<b>0.021216</b>	<b>0.012722</b>	<b>6</b>	<b>0.002120</b>	<b>10.00631</b>	<b>0.012272</b>	<b>0.769343</b>	<b>0.692457</b>
<b>Quadrat.</b>	0.007787	3	0.002596	0.004934	3	0.001645	1.57815	0.358444	0.910534	0.761424
<b>Cubiq.Spécial</b>	0.000546	1	0.000546	0.004388	2	0.002194	0.24885	0.667352	0.920434	0.681735
ANOVA; Variable: dureté 2J surf. Ajust. séquentiel des modèles de + en + complexes										
	SC	dl	MC	SC	dl	MC	F	p	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
<b>Lin.</b>	<b>6.150241</b>	<b>2</b>	<b>3.075121</b>	<b>1.754805</b>	<b>6</b>	<b>0.292468</b>	<b>10.51440</b>	<b>0.010939</b>	<b>0.778015</b>	<b>0.704019</b>
<b>Quadrat.</b>	<b>1.604610</b>	<b>3</b>	<b>0.534870</b>	<b>0.150195</b>	<b>3</b>	<b>0.050065</b>	<b>10.68348</b>	<b>0.041401</b>	<b>0.981000</b>	<b>0.949333</b>
<b>Cubiq.Spécial</b>	<b>0.019225</b>	<b>1</b>	<b>0.019225</b>	0.130971	2	0.065485	0.29357	0.642233	0.983432	0.933728
ANOVA; Variable : dureté 4J prof. Ajust. séquentiel des modèles de + en + complexes										
	SC	dl	MC	SC	dl	MC	F	P	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
Lin.	0.078741	2	0.039370	0.022394	6	0.003732	10.54839	0.010857	0.778572	0.704762
<b>Quadrat.</b>	0.020023	3	0.006674	0.002372	3	0.000791	8.44238	0.056614	0.976549	0.937465
<b>Cubiq.Spécial</b>	0.001270	1	0.001270	0.001102	2	0.000551	2.30403	0.268345	0.989103	0.956412
ANOVA; Variable : dureté 4J surf. Ajust. séquentiel des modèles de + en + complexes										
	SC	dl	MC	SC	dl	MC	F	P	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
<b>Lin.</b>	221.3256	2	110.6628	607.7586	6	101.2931	1.092501	0.393910	0.266952	0.022603
<b>Quadrat.</b>	475.3295	3	158.4432	132.4291	3	44.1430	3.589314	0.160905	0.840271	0.574055
<b>Cubiq.Spécial</b>	61.1858	1	61.1858	71.2433	2	35.6216	1.717658	0.320274	0.914070	0.656280
ANOVA; Variable: dureté à 8J prof. Ajust. séquentiel des modèles de + en + complexes										
	SC	dl	MC	SC	dl	MC	F	P	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
<b>Lin.</b>	3.892591	2	1.946295	4.352645	6	0.725441	2.682914	0.147113	0.472102	0.296136
<b>Quadrat.</b>	3.720893	3	1.240298	0.631752	3	0.210584	5.889796	0.089673	0.923380	0.795679
<b>Cubiq.Spécial</b>	0.026083	1	0.026083	0.605669	2	0.302835	0.086131	0.796807	0.926543	0.706173
ANOVA; Variable : dureté à 8J surf. Ajust. séquentiel des modèles de + en + complexes										
	SC	dl	MC	SC	dl	MC	F	P	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
Lin.	183.2220	2	91.6110	649.3283	6	108.2214	0.84651	0.474418	0.220073	0.000000
<b>Quadrat.</b>	<b>594.7235</b>	<b>3</b>	<b>198.2412</b>	<b>54.6047</b>	<b>3</b>	<b>18.2016</b>	<b>10.89143</b>	<b>0.040339</b>	<b>0.934413</b>	<b>0.825101</b>
<b>Cubiq.Spécial</b>	29.7187	1	29.7187	24.8861	2	12.4430	2.38838	0.262266	0.970109	0.880435

**Annexe 24. Suite de l'annexe 23.**

<b>Coefficients en valeurs originales de dureté à 2j en surface</b>						
	(coeffs)	Err-Type	t(3)	p	-95.% Lim.Conf	+95.% Lim.Conf
(A)R dattes	-13.700	5.4081	-2.53319	0.085186	-30.91	3.511
(B)Son	60.642	36.0496	1.68217	0.191125	-54.08	175.368
(C)Liant	-48.304	149.4638	-0.32318	0.767776	-523.96	427.357
AB	-48.733	63.2867	-0.77004	0.497356	-250.14	152.673
AC	245.867	253.1470	0.97124	0.403066	-559.76	1051.493
BC	-297.267	275.8605	-1.07760	0.360144	-1175.18	580.645
<b>Coefficients en valeurs originales de dureté à 8j en surface</b>						
(A)R dattes	-147.61	103.117	-1.43146	0.247696	-475.8	180.56
(B)Son	<b>2355.48</b>	<b>687.365</b>	<b>3.42683</b>	<b>0.041634</b>	<b>168.0</b>	<b>4542.99</b>
(C)Liant	-650.45	2849.855	-0.22824	0.834131	-9720.0	8419.06
AB	-2805.67	1206.700	-2.32507	0.102608	-6645.9	1034.59
AC	3532.53	4826.801	0.73186	0.517244	-11828.5	18893.57
BC	-8096.53	5259.885	-1.53930	0.221360	-24835.8	8642.77

## Résumé

La disponibilité des rebuts de datte renouvelable annuellement en Algérie, représente 165000 tonnes (150 millions d'unités fourragères). Ce produit riche en sucre, associé avec de l'urée dans un bloc à lécher nous apparaissait intéressant pour améliorer le bilan fourrager du pays dont le déficit est de 4 milliards d'unités fourragères. Les ingrédients composants les blocs multinutritionnels (BMN) sont : des rebuts de datte (RD), du son de blé (S) de l'urée (U) d'un condiment minéral (CMV) du sel de cuisine (SC), du ciment servant de liant (CL) et de 30 litres d'eau par 100kg de mélange sec. La presque totalité du travail a été réalisée avec trois types des blocs fabriqués manuellement : BMN1 (65% de RD et 0% de S) ; BMN2 (50% de RD et 15% de S) et BMN3 (35% de RD et 30% de S). Les autres ingrédients : CL (15%) ; U (10%) ; CMV (8%) et SC (2%) sont à dose fixe pour les trois types de bloc. D'un poids de 3-4kg, nous avons étudié principalement, leurs **caractéristiques physiques** : leur Matière sèche (MS) à l'air libre et en étuve ventilée, leur dureté (D) et leur homogénéité, à l'aide d'un texturomètre. **Leur composition chimique** : matières azotées (MA), matière organique (MO), matières minérales (MM) et la teneur en composés pariétaux (NDF). **Leur ingestibilité** par le mouton en MS ( $MSI_{\text{bloc}}$ ), celle de paille en sa présence ( $MSI_{\text{paille}}$ ) et celle de la ration totale ( $MSI_t$ ). **Leur digestibilité** : matière organique (dMO), matières azotées (dMA). **Leur valeur nutritionnelle** en énergie : UF lait et UF viande (UFL, UFV) et en protéines digestibles dans l'intestin (PDIMN). Les études sur animaux sont faites sur des lots de 4 à 6 moutons.

Par ailleurs, **un plan d'expérience** (PE) à trois facteurs et 9 essais a été établi et résolu pour rechercher les effets des facteurs (RD ; S et CL principalement) sur la dureté des blocs.

Il ressort que, pour BMN1 ; BMN2 et BMN3, la MS est comparable, elle passe de 65% à la fabrication à 78% après étuvage à 45°C pendant 7 jours ou pendant 10 jours à l'air libre à 28°C environ. La D plus discriminante est de 16 ; 21 et 18 Newton/mm (N/mm), elle est plus faible pour le bloc riche en RD. La teneur en MS à l'air libre augmente rapidement les 6 premiers jours tout comme la D (respectivement 76% et 68% des valeurs de D à 10 jours). Ce résultat est néanmoins classique. La diffusivité de l'eau diminue avec le temps de séchage. Une très forte liaison ( $R^2 = 0.99$ ) est notée entre MS et D :  $D_{\text{bloc}} \text{ (N/mm)} = 235,71 * MS - 163,97$  qui pourrait servir à la prédiction de D. La cartographie d'homogénéité des blocs est caractérisée par une proportion de fines particules plus importantes en profondeur qu'en surface et un gradient de dureté allant de la surface à l'intérieur du bloc. La composition chimique : MS (78%) ; MO (64%) ; MM (34%) et MAT (32%) est comparable mais logique compte tenu de la fixité du CL, de l'U, du CMV et du SC dans la formulation. Seule la teneur en NDF varie (respectivement : 17 ; 24 et 28% de la MS) en fonction de la dose de S (0 ; 15 et 30%), assez pourvu en NDF.

Exprimées par kg  $p^{0.75}$ , la  $MSI_{\text{bloc}}$  est élevée, elle s'établit à 21 ; 23 et 28g par jour (soit en poids vif : 424 ; 495 et 589g) :  $BMN3 > BMN2$  et  $BMN1$  ( $p < 0,001$ ). Pour la  $MSI_p$  : 68 ; 52 et 52  $BMN1 >$

BMN2 et BMN 3 ( $p < 0,001$ ). Il en résulte pour  $MSI_t$ , une ingestion de 88 ; 80 et 75g/kgP<sup>0,75</sup> : BMN1 > BMN2 et BMN 3 ( $p < 0,001$ ).

La digestibilité et la valeur nutritionnelle ont été étudiées seulement pour le BMN1 (65% de RD). La dMO, la dMAT, les UFL, UFV et la valeur PDIMN se sont établies respectivement à 77% ; 83% ; 0.77 ; 0.79 et 175g/kg de MS.

Consommée pendant deux mois en complément d'une paille de blé de bonne qualité, la croissance de moutons obtenue avec BMN1 a été de 160g par jour contre 100g, pour une complémentation réalisée avec 300g de concentré commercial.

La résolution du plan d'expérience a montré que les RD seuls et ses interactions avec le CL, diminuent la dureté du bloc. Par contre, le son de blé l'augmente comme le montre le modèle de dureté de blocs en surface, après 8 jours de séchage :  $D \text{ (N/mm)} = -147,61 \text{ RD} + 2355,48 \text{ S} - 650,45 \text{ CL} - 2805,67 \text{ RD*S} + 3532,53 \text{ RD*CL} - 8096,53 \text{ S*CL}$  ;  $p = 0,04$  et  $R^2=0,93$ .

Notre objectif de 400g de consommation de bloc par les animaux a été dépassé. Néanmoins, une trop forte consommation n'est pas recommandée. Outre la palabilité des blocs et leur teneur en énergie, c'est le niveau de dureté qui contrôle leur consommation. Un niveau de dureté de l'ordre de 25 N/mm nous semble indiqué. Le maximum atteint dans ce travail est de 22 N/mm.

Néanmoins, dès maintenant, des blocs à base de rebuts de datte peuvent être fabriqués manuellement et mis à la disposition de l'élevage. Ils pourraient s'adapter facilement au rationnement d'animaux à état physiologique différent : brebis en gestation, croissance modérée (agnelles), animaux à l'entretien et animaux à l'engrais avec quelques adaptations (apport d'une source de protéines de bonne qualité).

**Mots clés:** Bloc multinutritionnel, alimentation, moutons, rebuts de datte, digestibilité, matière sèche ingérée, plan de mélanges, dureté, paille, zone aride.

# Summary

Availability date renewable scrap annually in Algeria, represents 165,000 tonnes (150 million fodder units). This product rich in sugar, associated with urea in a multinutrient lick blocks us seemed interesting to improve the feed balance of the country with a deficit of 4 milliards forage units. The ingredients components multinutrient blocks (MNB) are: scrap date (RD), wheat bran (S) urea (U) of a mineral condiment (CMV) cooking salt (SC), cement binder (CL) and 30 liters of water a dry mixture of 100kg. Almost all of the work was carried out with three blocks manually produced: BMN1 (65% RD and 0% S); BMN2 (50% RD and 15% S) and BMN3 (35% RD and 30% S). Other ingredients: CL (15%); U (10%); CMV (8%) and SC (2%) fixed dose for the three block types weighing 3-4kg, we studied mainly their **physical characteristics**: Their dry matter (DM) in the open and ventilated oven, hardness (D) and homogeneity, using a texture analyzer. **Their chemical composition**: nitrogenous matter (MAT), organic matter (OM), mineral matter (MM) and the content of parietal compounds (NDF). **Their voluntary intake** by sheep in MS (MSI block) the straw in his presence (MSI straw) and that of the total ration (MSIT); **their digestibility**: organic matter (OMD), crude protein (DMA). **Their nutritional energy**: UF milk and meat (UFL, UFV) and digestible protein in the intestine (PDIMN) Studies on animals are made on lots from 4 to 6 sheep.

Furthermore, an **experimental design (PE)**: three-factor and 9 test has been prepared and resolved to investigate the effects of the factors (RD; S and CL mostly) on the hardness of the blocks.

It appears that for BMN1, BMN2 BMN3 the DM is similar, it rises from 65% to 78% in the manufacture after stoving at 45 ° C for 7 days or for 10 days in air at 28 ° C. Most discriminant D is 16; 21 and 18 Newton / mm (N / mm), it is lower for the rich block RD. DM content in the open air increases rapidly the first 6 days as well as the D (76% and 68% of D values at 10 days). This result is still classic. The water diffusivity decreases drying time. A very strong bond ( $R^2 = 0.99$ ) was found between MS and D:  $D_{\text{bloc}} \text{ (N / mm)} = 235.71 * MS - 163.97$  that could be used in predicting D. blocks homogeneity mapping is characterized by a proportion of fine particles larger in depth on the surface and a hardness gradient from the surface to the interior of the block. The chemical composition: MS (78%); MO (64%); MM (34%) and MAT (32%) is comparable but logical given the fixity of CL, U, CMV and SC in the formulation. Only the NDF varies (respectively 17; 24 and 28% DM) depending on the dose of S (0, 15 and 30%), sufficiently rich in NDF.

Expressed by  $\text{kg p}^{0.75}$ , MSI block is high, it was 21; 23 and 28g per day (in live weight: 424, 495 and 589g)  $\text{BMN3} > \text{BMN2}$  and  $\text{BMN1}$  ( $p < 0.001$ ). For the MSIP: 68, 52 and 52  $\text{BMN1} > \text{BMN2}$  and  $\text{BMN3}$  ( $p < 0.001$ ). The result for MSIT: an intake of 88, 80 and 75 g /  $\text{kgP}^{0.75}$   $\text{BMN1} > \text{BMN2}$  and  $\text{BMN3}$  ( $p < 0.001$ ). Digestibility and nutritional value have been studied only for BMN1 (65% RD).

The OMD, DMAT, the UFL, UFV and PDIMN value amounted respectively to 77%, 83%; 0.77; 0.79 and 175g / kg DM. Consumed for two months in addition to a good quality wheat straw, the growth of sheep was obtained with BMN1 160g against 100g per day for complementation made with 300g of commercial concentrate.

The resolution of the experimental design showed that the only RD and its interactions with the CL, decrease the block hardness. On the other hand, wheat bran increases it as shown in the block surface

hardness model, after 8 days of drying:  $D \text{ (N/mm)} = -147,61 \text{ RD} + 2355,48 \text{ S} - 650,45 \text{ CL} - 2805,67 \text{ RD} * \text{S} + 3532,53 \text{ RD} * \text{CL} - 8096,53 \text{ S} * \text{CL}$  ;  $p = 0,04$  et  $R^2=0,93$ .

Our goal block consumption 400g by animals has been exceeded. However, excessive consumption is not recommended. Besides palabilité blocks and energy content, the hardness level controls their consumption. A hardness level of about 25 N / mm seems indicated. The maximum reached in this work is 22 N / mm.

But now, the date scrap-based block can be made manually and made available for breeding. They could easily adapt to rationing of animals to different physiological state: pregnant ewes, moderate growth (lambs), animal maintenance and fattening animals with some modifications (intake of good protein source quality).

**Keywords:** Block multinutritional, food, sheep, date scrap, digestibility, dry matter intake, plan mixtures, hardness, straw, arid zone.



## الملخص

مخلفات التمور، تتواجد في الجزائر بكمية معتبرة 150 مليون وحدة علفية متجددة كل سنة. هي المخلفات الأكثر قيمة غذائية في الجزائر، قليلة الاستعمال في التغذية الحيوانية. تتميز بغناها بالسكريات، بخلطها مع اليوريا في قوالب غذائية تمكن من تحسين القيمة الغذائية للحيوانات.

القوالب الغذائية المصنوعة يدويا، تتكون من : مخلفات التمر (35 - 65 - 50 بالمئة) ، الإسمنت (10 بالمئة) ، اليوريا (10 بالمئة)، النخالة (15 - 10 بالمئة) ، مكمل معدني فيتميني ( 8 بالمئة) ، ملح، الماء 30 ل/100 كج. بوزن 3 الي 4 كج ، درسنا خلال خمسة سنوات، استهلاكها من قبل الأغنام (مجموعة 4 كباش)، القيمة الغذائية (مجموعة 4 ال 6 كباش) و اهم الخصائص الفيزيائية : المادة الجافة ( في الخارج و داخل فرن)، الصلابة و التجانس باستعمال محلل الملمس. التصميم التجريبي للتحقيق في آثار العوامل على هذه الصلابة تم إثباته.

يبدو أن القوالب الغذائية المصنوعة مصفوفة غير متجانسة للغاية ولكن لا تتفكك، فقد كانت المادة الجافة بعد 7- 8 أيام في مجموعة الفرن عند 45 درجة مئوية أو 10 أيام في الهواء الطلق (متوسط درجة الحرارة من 28 درجة مئوية) لا تزيد عن 78% ، وجود ارتباط عالي مع صلابة القوالب ينتهي أيضا لتسجيل قيمة صلابة منخفضة. الكمية المستهلكة من القالب هو 400-600 غ/اليوم، عالية جدا أعلى من القيم الدولية، قيمة الطاقة لديها هو من الطريقة التقليدية التي تركز : 0.80 وحدة علفية / كج، القيمة الهضمية بأسلوب الفرق هو 70%. تستهلك على مدى فترة طويلة، متوسط الوزن اليومي المتحصل عليه تراوح بين 100 و 150 غ.

أظهر القرار من التصميم التجريبي ذلك مخلفات التمور يقلل من صلابة الكتلة، فضلا عن تفاعله مع الاسمنت. و يبدو لنا أن هذ صلابة الكتلة هي التي تسيطر على جزء كبير من استهلاكه و مخلفات التمور وحدها أو في التفاعل مع الإسمنت يساهم في إضعاف صلابة

**الكلمات المفتاحية :** القوالب الغذائية، مخلفات التمور، للتبن، الخرفان، منطقة قاحلة ، اليوريا.