

ASPECTS TECHNIQUES DE LA
DÉHYDRATATION DES FOURRAGES
A BASSE TEMPÉRATURE
ET DU CONDITIONNEMENT
DANS UNE PRESSE A PISTON

LA DESHYDRATATION EST UN PROCÉDE MODERNE DE RECOLTE ET DE CONSERVATION DES FOURRAGES. L'UN DES OBJECTIFS EST DE FABRIQUER UN ALIMENT DE qualité destiné aux ruminants.

Déshydrater un fourrage consiste à le sécher rapidement en le mettant en contact avec de l'air chaud : on distingue alors la déshydratation à basse température (entre 100 et 300°) ou à haute température (entre 800 et 1.000°).

L'acquisition de différents matériels : déshydrateuse à basse température SCOLARI A 50 K (1967), presse à piston MULLER (1968), presse à filières KAHL (1969) nous ont permis d'étudier le fonctionnement d'une telle unité.

Nous analyserons successivement le fonctionnement de la déshydrateuse, le conditionnement du fourrage sec et les caractères physiques des agglomérés.

I. — FONCTIONNEMENT DE LA DESHYDRATEUSE

Elle permet de traiter du fourrage long, haché grossièrement (brins de 15 à 20 cm) ou haché finement (brins de 2 à 5 cm), en fonction du matériel de conditionnement. Sa capacité d'évaporation horaire est de 1.000 kg d'eau.

1) Description et réglage.

Ce matériel se compose essentiellement d'un tablier d'alimentation, d'un complexe brûleur, four, ventilateur, et d'une case de séchage ; le déplacement du fourrage est réalisé mécaniquement par des agitateurs rotatifs munis de fourches. Ce brassage du fourrage a l'inconvénient d'entraîner l'envol de fines particules dans la hotte d'évacuation de l'air de séchage.

Le fourrage en couche de 10 à 20 cm est successivement traversé, au cours de sa progression, par de l'air chaud (120 à 150°), puis par de l'air à température ambiante qui assure le refroidissement du produit.

Le réglage de ce matériel se fait d'une part en agissant sur la vitesse d'avancement du fourrage et sur l'épaisseur de la couche et d'autre part en contrôlant la température de l'air sous la case de séchage par une régulation automatique.

2) Résultats - Bilan d'utilisation.

Les fourrages étudiés étaient coupés à la faucheuse-conditionneuse, puis repris immédiatement ou après un léger préfanage par une ramasseuse-hacheuse-chargeuse à couteaux. Le hachage fin en brins de 2 à 5 cm a permis d'améliorer le rendement du séchoir de 10 à 15 % par rapport à des brins longs, la couche de fourrage étant plus homogène sur le tablier de séchage ; en outre, ce conditionnement était indispensable pour l'agglomération ultérieure dans la presse à piston.

Le tableau I résume les performances techniques de l'installation pour les différents fourrages traités. Signalons que pour certains fourrages, en particulier le maïs et le dactyle, la presse à piston a constitué un frein au

TABLEAU I
CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

<i>Nature des fourrages étudiés</i>	<i>Graminées</i>		<i>Luzerne</i>	<i>Maïs</i>
	<i><² à 17 % M.S. n = 5</i>	<i>>² à 18 % M.S. n = 8</i>	<i>n = 5</i>	<i>n = 2</i>
<i>Mesures :</i>				
<i>Teneur en M.S. du fourrage (%) :</i>				
— entrée séchoir	15,1 (13,9-16,5)	21,0 (18,0-24,5)	20,1 (19,7-23,1)	32,8
— sortie séchoir	90,2 (89,2-91,8)	90,9 (89,0-92,1)	89,1 (88,2-90,5)	85,8
— sortie presse	91,9 (90,6-92,9)	92,2 (90,0-93,2)	90,8 (89,3-92,5)	87,5
<i>Débit de l'installation (en kg de produit sec à l'heure)</i>	189 (171-206)	257 (187-318)	271 (230-311)	470
<i>Débit évaporation (kg d'eau par heure)</i>	967 (938-1.009)	897 (760-1.118)	917 (817-1.114)	770
<i>Consommation spécifique de fuel :</i>				
— en kg/heure	97 (88-105)	89,5 (75-104)	93 (82-101)	75,0
— en g/kg de produit sec	512 (441-601)	352 (323-406)	347 (289-427)	162
— en kg/tonne d'eau évaporée	99 (109-93)	100 (116-93)	101 (118-91)	98
<i>Consommation spécifique d'électricité :</i>				
— en kW/heure :				
— séchoir	15,4	15,5	15,4	16,4
— presse	5,8	7,2	7,1	8,3
— en kW/kg de produit sec :				
— séchoir	0,080	0,060	0,060	0,035
— presse	0,030	0,030	0,025	0,020
— TOTAL	0,110	0,090	0,085	0,055
<i>Kg d'eau évaporés/kg de produit sec..</i>	5,1 (4,5-5,8)	3,5 (3,2-4,1)	3,4 (2,9-3,7)	1,6

chantier de déshydratation, le séchoir ayant un débit supérieur à celui de la presse.

Pour étudier le phénomène de séchage en lui-même, les principaux contrôles ont porté sur l'enregistrement de différentes températures dans le circuit de la machine, les mesures de débit de fuel, de puissances électriques, de débit de produit sec en relation avec les mesures de poids et d'humidité du produit vert et du produit fini. Ces données permettent ensuite de calculer les débits évaporatoires, les consommations spécifiques de fuel et d'électricité pour les différents fourrages traités : ray-grass d'Italie, fétuque élevée, dactyle, luzerne, trèfle violet, sorgho, maïs plante entière.

a) *Débit du séchoir en fourrage sec.*

Il est très variable avec des extrêmes allant de 170 kg de produit sec avec du sorgho, à 500 kg pour du maïs plante entière.

L'utilisation de la méthode de calcul par « régressions progressives multiples » a permis de classer les facteurs qui influent sur le débit horaire du séchoir. Ce sont par ordre d'importance : la teneur en matière sèche du produit à l'entrée et à la sortie du séchoir, la température et l'hygrométrie de l'air extérieur, la température de séchage, la consommation horaire de fuel, les caractéristiques physiques et chimiques du fourrage initial. Comme il était prévisible, la teneur en eau du fourrage vert est le facteur prépondérant ($n = 20$, $r = 0,96$) (graphique n° 1), 80 % de la variation totale est due à celui-ci ; la teneur en eau du fourrage dépend du stade d'exploitation, de la fertilisation azotée et aussi des conditions climatiques (humidité superficielle).

b) *Capacité d'évaporation.*

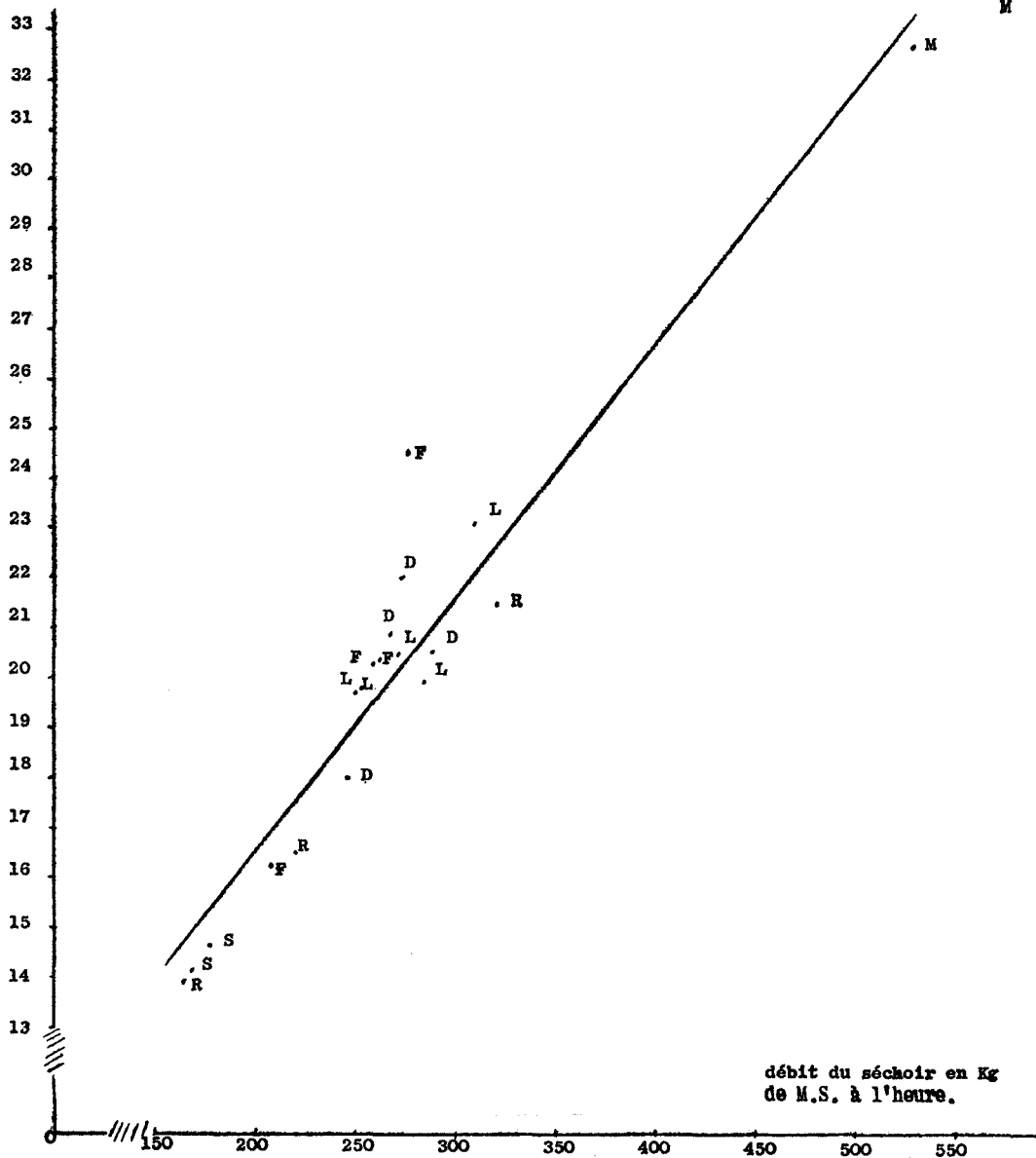
Cette capacité s'exprime en kg d'eau évaporée à l'heure ; elle a varié pour les fourrages traités de 760 kg à 1.120 kg. Cette variation importante s'explique par le fait que pour certains fourrages le débit du brûleur qui est en relation avec la capacité d'évaporation ($r = 0,82$, $n = 20$, graphique n° 2) a été diminué pour harmoniser le débit du séchoir avec celui de la presse.

GRAPHIQUE 1

RELATION ENTRE LA TENEUR EN MATIERE SECHE DU FOURRAGE VERT
ET LE DEBIT DU SECHOIR A CAPACITE D'EVAPORATION CONSTATE

% de M.S. du fourrage vert

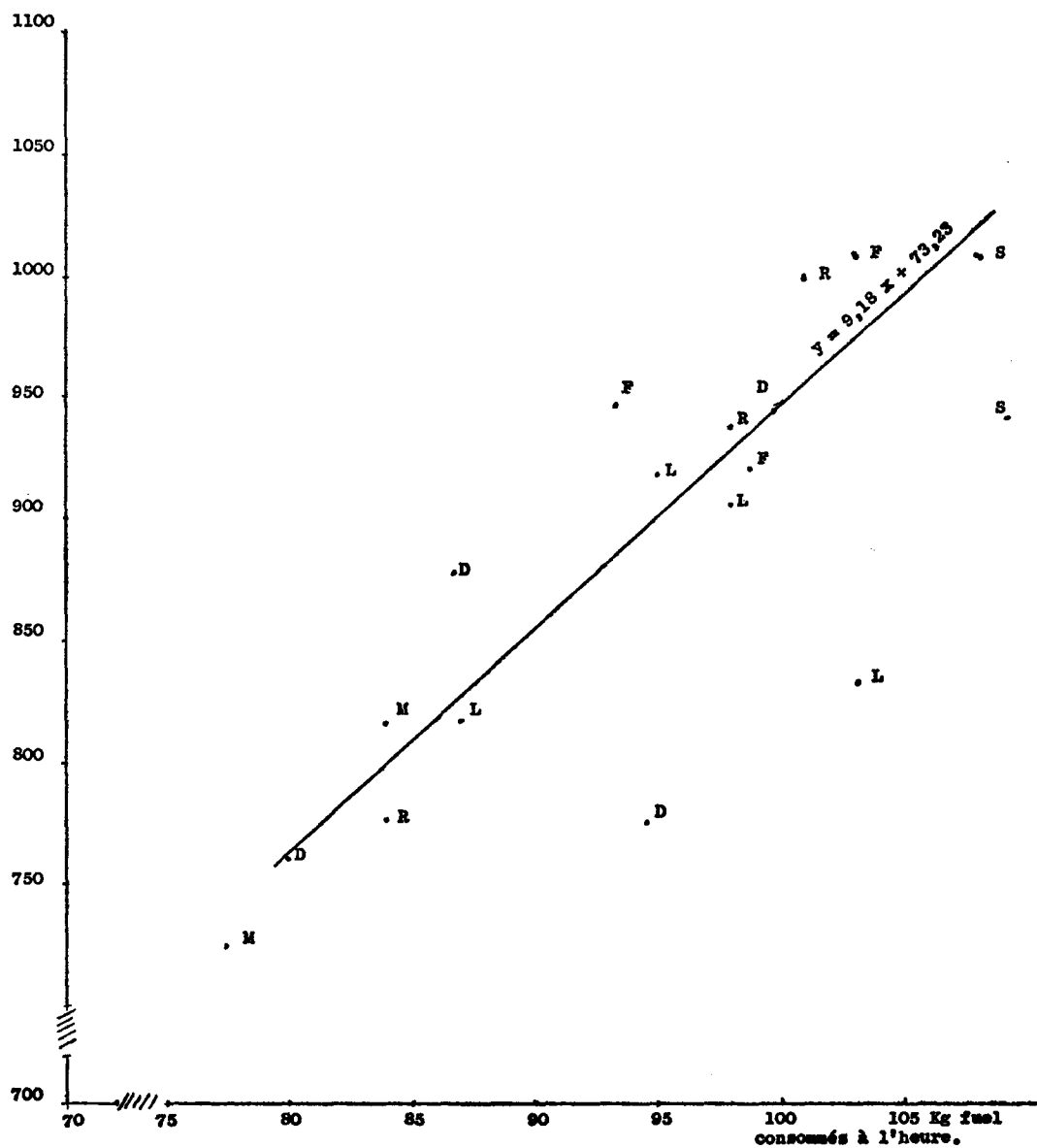
$r = 0,96$ $n = 20$ $x = 19,49 y + 121,69$



GRAPHIQUE 2
« RELATION » ENTRE LA QUANTITE D'EAU EVAPOREE
ET LE FUEL CONSOMME

$r = 0,82 \quad n = 20 \quad y = 9,18 x + 73,23$

L = Luzerne	D = Dactyle
F = Fétuque élevée	M = Maïs
R = Ray-grass d'Italie	S = Sorgho



c) *Consommations spécifiques de fuel et d'électricité.*

La consommation spécifique de fuel peut être rattachée au produit fini ou à l'eau évaporée. Elle s'exprime :

- en g de fuel par kg de produit sec : la consommation de fuel est alors principalement fonction de la teneur en matière sèche du fourrage initial, la corrélation est de $r = 0,92$, $n = 20$ (graphique n° 3) ; elle passe de 500 à 600 g de fuel par kg de produit sec pour des fourrages verts à 13-14 % de matière sèche, à 300-350 g pour des fourrages à 20-22 % de matière sèche et à 150 g pour des fourrages à 30-32 % de matière sèche. L'intérêt économique du préfanage ou des fourrages sur pied riches en matière sèche est évident ;
- en kg de fuel par tonne d'eau évaporée : elle a été en moyenne de 100 kg de fuel avec des extrêmes allant de 91 kg à 118 kg ; l'installation du système de régulation en 1970 a permis de diminuer cette consommation d'environ 5 %.

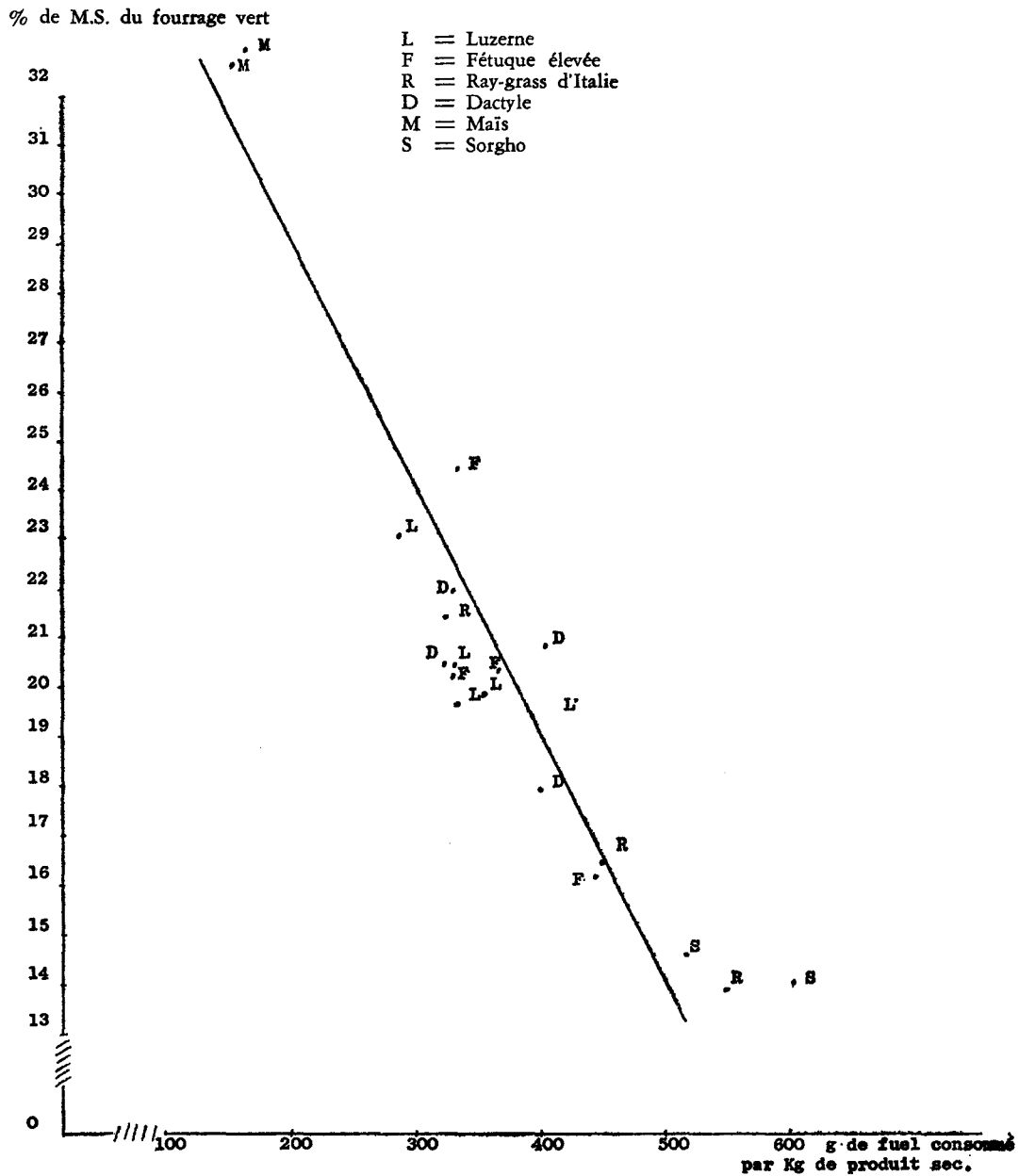
En ce qui concerne l'énergie électrique, la consommation horaire est peu variable. Elle est en moyenne de 15 kW/heure (14,7 à 16,4). Son incidence au kilogramme de produit sec est donc uniquement fonction du débit du séchoir.

II. — LE CONDITIONNEMENT DU FOURRAGE SEC ET LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES AGGLOMERES

Ce type de séchoir laisse une grande souplesse quant au conditionnement réalisable. Pour les graminées fourragères, il est possible en travaillant avec du brin long (15 à 20 cm) de les conditionner par bottelage moyenne densité ; malgré tout, les pertes mécaniques sont souvent importantes, le fourrage sec se brise facilement, le bottelage douze à vingt-quatre heures après séchage limite les pertes. Pour les légumineuses, la luzerne et le trèfle violet, le bottelage entraîne un effeuillage important, pour le maïs il est impossible.

Il est de loin préférable, pour éviter les pertes mécaniques et pour résoudre la manutention, le stockage et la distribution aux animaux, d'agglomérer

GRAPHIQUE 3
RELATION ENTRE LA TENEUR EN MATIERE SECHE DU FOURRAGE VERT
ET LE FUEL CONSOMME (en g/kg de produit sec)



mérer le produit sec. Ce conditionnement peut se réaliser sans broyage préalable dans des presses à filières (fourrage compacté) ou à piston (fourrage comprimé). La presse à piston conserve davantage d'éléments longs dans les agglomérés, celle à filière assurant un broyage souvent important.

Dans notre unité, les fourrages ont été agglomérés immédiatement à la sortie de la déshydrateuse dans une presse à piston qui permet de fabriquer des bouchons de 50 mm de diamètre et de 10 à 20 mm d'épaisseur.

Comme pour le séchoir, nous avons effectué des contrôles : humidité du produit, débit, consommation d'électricité, pour analyser le fonctionnement de ce matériel (tableau I).

1) Le débit en produit sec.

Le débit théorique de cette presse, annoncé par le constructeur, était de 500 kg à l'heure. En fait, nous avons observé des débits très variables, en fonction de la nature des fourrages, soit au maximum : 450 à 500 kg pour le maïs plante entière, 300 à 350 kg pour la luzerne et le trèfle violet, 250 à 300 kg pour le ray-grass d'Italie, la féтуque élevée et le sorgho, 200 à 250 kg pour le dactyle. Le débit est surtout freiné au niveau de l'alimentation de la presse, le fourrage déshydraté haché étant plus ou moins dense suivant les espèces. Ainsi le dactyle déshydraté haché est peu dense, son admission dans les cylindres est plus difficile, d'où le faible débit enregistré. Une alimentation forcée, comme il y en a sur la presse Mellen, permet d'avoir des débits plus réguliers et moins dépendants de la nature du fourrage.

2) La consommation d'énergie.

Elle est faible, en moyenne 7 kW/heure avec des variations, en fonction du débit, allant de 5,7 à 8,3 kW/heure. Des lots du même fourrage déshydraté haché ont été compactés à la filière de 8 mm au moulin de La Minière et dans la presse à piston ; ainsi, nous avons pu comparer l'énergie stricte consommée par tonne de produit sec, c'est-à-dire l'énergie totale utilisée par la presse moins celle qu'elle nécessite pour fonctionner à vide.

L'énergie stricte consommée par la presse à piston a été en moyenne de 18 kW et pour la presse à filière de 40 kW. Signalons cependant que les conditions d'agglomération ont été différentes, le conditionnement du fourrage dans la presse à piston a eu lieu dès la sortie du séchoir ; par contre, plusieurs semaines se sont écoulées avant le compactage du fourrage sec stocké en sac papier, cependant la teneur en M.S. du fourrage n'avait pas varié.

3) L'agglomération et les qualités physiques des agglomérés.

L'agglomération sans adjonction de liant permet d'abaisser l'humidité du fourrage sortant du séchoir de 1,5 à 2 points en moyenne. D'après nos constatations, la facilité d'agglomération dépend principalement des caractéristiques suivantes :

- l'humidité et la température du produit à consommer, une humidité de 10 ± 2 % et un fourrage froid donnent une meilleure agglomération ;
- la nature du fourrage : la luzerne et le trèfle violet s'agglomèrent mieux que les autres espèces que l'on peut classer comme suit : ray-grass d'Italie, sorgho, fétuque élevée, dactyle, maïs.

L'adjonction de liant améliore le conditionnement et le rend plus homogène ; après avoir utilisé l'eau, la mélasse, la lignosulfite, la bentonite, le Wafolin et l'amidon, nous employons actuellement de l'eau mélassée (30 % de mélasse + 70 % d'eau) à raison de 2 litres par 100 kg de produit sec ; ce mélange est pulvérisé sur le fourrage avant son admission dans la presse.

Différents contrôles permettent de juger la qualité physique des agglomérés. Ils ont été effectués au Moulin de La Minière en 1969 et par la Station de Lusignan depuis 1970. Ces mesures ont été effectuées sur des fourrages « comprimés » et des fourrages compactés.

a) *La friabilité.*

Elle permet de rendre compte de la tenue des agglomérés et de leur aptitude à être manutentionnés facilement.

Méthodes d'appréciation :

Le test consiste à placer une certaine quantité d'agglomérés dans un caisson qui va tourner pendant dix minutes à la vitesse de 50 tours/minute ; pendant cette opération les agglomérés sont soumis à des effets de chocs et de frottements. La friabilité se mesure par le pourcentage de « fines » obtenu après élimination de tous les agglomérés dont la taille représente au moins les deux tiers de leur diamètre initial.

Résultats et facteurs de variations :

Comme le montre le tableau II, les fourrages comprimés sont nettement plus friables que ceux compactés (63,7 % de fines, contre 21,9 %). Pour les deux types de conditionnement, les agglomérés de légumineuses ont une meilleure cohésion que ceux de graminées. Chez les graminées on observe même une différence nette entre les deux espèces, les agglomérés de dactyle et surtout de maïs sont nettement plus friables.

b) *La dureté.*

Elle permet d'estimer la résistance à l'écrasement qu'offrira l'aggloméré sous les dents de l'animal.

Méthode d'appréciation :

Pour les fourrages compactés, la dureté est mesurée à l'aide d'un appareil « Kahl ». L'aggloméré est pincé en son centre par deux mâchoires métalliques dont l'une, mobile, est abaissée par l'intermédiaire d'une vis ; un index donne la pression atteinte lors de l'éclatement de l'aggloméré. La dureté est alors exprimée par une pression en kg/cm².

Pour les fourrages comprimés, l'appareil Kahl ne convient pas ; il n'existe pas à l'heure actuelle de méthode valable pour apprécier leur dureté.

Résultats (tableau II) et facteurs de variation :

Nous avons pu vérifier sur les fourrages compactés ($n = 19$) la liaison négative qui existe entre la friabilité et la dureté :

TABEAU II
CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES AGGLOMERES

	Teneur en matière sèche (%)		Friabilité (en % de fines)		Dureté en kg/cm ²	GRANULOMETRIE					
						Comprimé			Compacté		
	Comprimé	Compacté	Comprimé	Compacté	Compacté	Taille moyenne (en mm)	% de particules > r		Taille moyenne (en mm)	% de particules > r	
							à 0,40 mm	à 1,25 mm		à 0,40 mm	à 1,25 mm
Luzerne <i>n</i> = 6	88,9	88,7	37,9	12,7	23,0	1,17	76,9	39,6	0,95	72,0	31,0
Trèfle violet <i>n</i> = 3	86,9	88,7	25,4	11,0	25,7	1,45	78,3	42,5	1,00	74,8	35,0
Moyenne	87,9	88,7	31,6	11,8	24,3	1,31	77,6	41,0	0,97	73,4	33,0
Fétuque élevée <i>n</i> = 4	90,7	91,7	79,5	15,4	14,1	1,33	82,9	42,3	0,70	60,8	13,9
Dactyle <i>n</i> = 4	88,8	88,7	83,1	21,4	9,6	1,58	80,3	45,4	0,91	76,4	22,8
Ray-gr. d'Italie <i>n</i> = 4	88,6	90,5	72,5	14,2	16,9	1,23	77,9	44,1	0,95	72,8	24,5
Moyenne	89,4	90,3	78,4	17,0	13,5	1,38	80,3	43,9	0,85	70,0	20,4
Maïs	88,6	89,2	84,0	56,6	4,6	1,96	86,4	—	1,35	—	—

D'autre part, la dureté varie :

- avec la famille botanique : les compactés de légumineuses sont plus durs que les compactés de graminées, 24,3 contre 13,5 kg/cm²,
- avec l'espèce fourragère : chez les graminées, il existe des différences nettes ; par ordre de dureté décroissante on trouve le ray-grass d'Italie, la fétuque élevée, le dactyle et le maïs.

c) *La granulométrie.*

Cette caractéristique est très importante sur le plan nutritionnel ; en effet, un pourcentage de particules fines élevé dans une ration à base de fourrages déshydratés agglomérés peut entraîner des troubles digestifs graves chez le ruminant.

Méthode d'appréciation :

La mesure de la granulométrie se fait par tamisage à sec ; l'appareil utilisé est un plansichter de laboratoire à tamis superposés.

Si le fourrage en vrac est tamisé directement, l'aggloméré doit être au préalable dilacéré soit par voie sèche (1969), soit par voie humide (depuis 1970). Cette deuxième méthode est la plus couramment utilisée, elle permet de déliter les agglomérés sans briser les particules.

Résultats (tableau II) et facteurs de variation :

Même sans broyage préalable, la mise en aggloméré entraîne inévitablement une certaine réduction de la taille des particules, variable selon le type de presse utilisée, la famille botanique et la teneur en matière sèche du fourrage à traiter.

La presse à piston broie significativement moins l'ensemble des fourrages que la presse à filières.

Les légumineuses sont moins sensibles à l'action de la presse à filières que les graminées ; elles contiennent, en effet, un taux de cellulose plus élevé, qui est en relation avec le taux de conservation des fibres longues.

La presse à piston n'a pas eu une influence significativement différente sur les espèces soit en graminées, soit en légumineuses.

Si l'on prend pour critère la taille moyenne des particules, il existe une liaison entre la teneur en matière sèche des fourrages et leur broyage, par exemple pour les compactés ($n = 22$) $r = -0,47$, significatif à 5 % ; Y (taille moyenne) = $-0,76$ (% M.S.) + 7,82.

Toutefois, le pourcentage de particules de taille supérieure à 0,40 mm donne toujours de meilleures corrélations que la taille moyenne des particules. C'est ainsi que pour les graminées comprimées ($n = 18$), on obtient :

- pour la taille moyenne : $r = -0,40$ (significatif à 10 %),
- % de particules $> 0,40$ mm : $r = -0,67$ (significatif à 1 %).

Dans ce dernier cas, la droite de régression a pour équation :

$$Y (\% \text{ de particules } > 0,40 \text{ mm}) = -0,49 \times (\% \text{ M.S.}) + 124,3$$

d) *La densité en place (kg/m³).*

Cette caractéristique est très importante pour le stockage. Elle a varié de 180 kg à 500 kg/m³ pour les fourrages agglomérés ; pour ces mêmes fourrages, la densité est de 50 à 80 kg/m³ en vrac haché et 100 à 120 kg/m³ en bottes moyenne densité.

Les principaux facteurs de variation de la densité des fourrages agglomérés sont :

- le type de presse : les fourrages comprimés ont une densité moyenne de 300 kg/m³, alors que pour les fourrages compactés elle est de l'ordre de 450 à 500 kg/m³ ;
- la nature du fourrage, qui est surtout très importante pour la forme « comprimée » ; ainsi nous avons noté les densités suivantes : 350 à 400 kg/m³ pour le maïs et la luzerne, 300 kg/m³ pour le ray-grass d'Italie, 250 kg/m³ pour la fétuque et 200 kg/m³ pour le dactyle.

En conclusion, la déshydratation à basse température apparaît donc comme un outil sérieux ; pour l'ensemble des fourrages traités la machine nous a donné satisfaction, en outre elle est très bien adaptée au séchage des grains.

Les débits maximaux ont été obtenus avec du maïs-fourrage, les rendements très variables sont liaison avec la teneur en matière sèche du fourrage initial, le préfanage dans de nombreux cas permet de les améliorer.

La consommation spécifique de fuel (kg de fuel consommés/tonne d'eau évaporée) est très satisfaisante, bien que légèrement supérieure à celle enregistrée avec la déshydratation à haute température.

En ce qui concerne le conditionnement, bien que ce type de séchoir laisse une grande souplesse, il est préférable d'agglomérer le produit sec pour faciliter la manutention, le stockage et la distribution ; la presse à piston (fourrage comprimé) ou à filières (fourrages compactés) peut alors convenir. Il est important de choisir des presses dont le débit est très supérieur à celui du séchoir afin d'éviter que le conditionnement ne soit un goulot d'étranglement. Suivant le type de presse, la qualité physique des agglomérés est souvent très différente, la friabilité des « comprimés » est plus grande que celle des « compactés », la presse à piston broie moins que la presse à filières ; en outre, il existe des différences nettes entre les familles botaniques et les espèces.

La gamme actuelle de ce type de déshydrateuse à basse température permet de situer la capacité annuelle de traitement entre 300 et 1.000 tonnes de fourrages secs représentant une surface de 30 à 100 ha. Ces installations nécessitent des investissements moindres comparativement aux unités de déshydratation à « haute température ». Elles peuvent trouver leur application dans des régions d'élevage où les exploitations sont de petite ou moyenne importance.

La déshydratation basse température, de conduite simple, peut être utilisée sans difficulté par de petits groupes d'agriculteurs : C.U.M.A., G.A.E.C..., travaillant dans un faible rayon d'action (3 à 5 km). Le travail discontinu, soit pour les arrêts quotidiens nocturnes, soit par le manque de produits à traiter, ne présente aucune difficulté.

Cette technique simple de séchage artificiel, qui permet de s'affranchir des contraintes climatiques, peut donc s'insérer dans les exploitations d'élevage pour résoudre le délicat problème de la récolte et de la conservation des fourrages. Cependant, son développement dépendra largement des facteurs économiques.

L. HUGUET, G.BERTIN,

*Station d'Amélioration des Plantes Fourragères,
Lusignan (Vienne).*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- (1) « La déshydratation », *Fourrages* n° 36, décembre 1968.
- (2) « Note de présentation des résultats des contrôles de deux unités de déshydratation à basse température », *Bulletin d'information du C.N.E.E.M.A.* n° 150, pp. 13-14, juillet 1970.
- (3) BOURGOIN B. : « Déshydratation à basse température et conditionnement dans une presse à piston », rapport de stage E.N.S.A., Grignon, réalisé à la Station d'Amélioration des Plantes Fourragères, Lusignan, juin 1969.
- (4) « La déshydratation des fourrages », brochure I.T.C.F., février 1968.
- (5) Journées d'information sur la production, la récolte et l'utilisation des fourrages et des céréales, et leur transformation en viande bovine », document I.T.C.F., janvier 1967.