

## B. — PRÉSENTATION D'EXEMPLES DE TRAVAUX

### SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DE QUATRE ANNÉES D'EXPÉRIMENTATION SUR LA DESHYDRATATION ET L'AGGLOMÉRATION DES FOURRAGES

#### INTRODUCTION

**L**ES RECHERCHES POURSUIVIES DEPUIS CES DERNIÈRES ANNÉES, TANT À L'ÉTRANGER QU'EN FRANCE, MONTRENT QU'APRÈS AVOIR ÉTÉ DESHYDRATÉS, BROYÉS ET agglomérés, les fourrages sont généralement ingérés par les bovins et ovins en plus grande quantité que sous forme normale. D'autre part, la mécanisation totale de la récolte, du traitement et de la distribution de nourriture aux animaux en toute indépendance du climat peut être réalisée. Beaucoup d'aspects techniques et économiques doivent cependant être précisés.

C'est pourquoi, en liaison avec le C.N.E.E.M.A. et l'IN.R.A., l'I.T.C.F. étudie ces problèmes. L'action a débuté en 1966, qui fut une année de prise de contact avec les divers matériels. Les premières études ont eu lieu en 1967 et se sont développées au cours des campagnes 1968, 1969 et 1970.

Chaque année des comptes rendus partiels ont été rédigés mais après quatre années d'études il nous a paru nécessaire de faire le point des travaux réalisés.

## MATERIELS ET METHODES

### Description de l'installation.

L'I.T.C.F. avait acquis en 1966 une déshydrateuse et mis en place une série d'équipements qui ont permis de prendre contact avec les problèmes posés par la déshydratation et l'agglomération des fourrages. Cet ensemble était à entraînement mécanique par moteur Diesel de 125 CV. Nous avons été amené à la remplacer en 1967 par une machine dont les différents éléments sont entraînés de façon indépendante par des moteurs électriques. Ceci permet d'avoir une souplesse d'emploi plus grande, ainsi que la possibilité d'effectuer les différentes mesures nécessaires à l'expérimentation.

#### 1) *Implantation :*

##### a) antérieure (années 1966, 1967, 1968) :

De 1966 à 1968 l'installation a été implantée à la Coopérative Agricole de Déshydratation de la région d'Etampes. En effet, nous étions alors titulaire du chantier de récolte de la Coopérative.

##### b) actuelle :

Au cours de l'hiver 1968-1969, l'installation a été démontée, transportée et réinstallée à la Station Expérimentale de l'Institut Technique des Céréales et des Fourrages à Boigneville, département de l'Essonne.

#### 2) *Description - Caractéristiques :*

Un bâtiment de 40 m de long, 15 m de large, 8 m de haut abrite la machine et les instruments de contrôle.

L'aire de réception du fourrage vert est bétonnée et a une surface de 150 m<sup>2</sup> (15 m × 10 m). Elle est prolongée par une aire macadamisée. Le fourrage vert, stocké sur l'aire bétonnée, est poussé ou vidé dans la fosse du tapis d'alimentation par un tracteur équipé d'une fourche hydraulique.

La déshydrateuse est de marque PROMILL, type SM.600. Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- capacité d'évaporation : 2.200 kg d'eau à l'heure,
- débit horaire de produit sec à 10 % M.H. à partir d'un produit à 80 % M.H. à l'origine : 600 kg,

- consommation de fuel léger : environ 200 kg/heure,
- puissance recommandée à installer : 150 KVA.

L'installation de déshydratation comprend :

- un tapis d'alimentation enterré d'une largeur intérieure de 1,20 m,
- un foyer dont le four est garni intérieurement de ciment réfractaire ; le brûleur consomme du fuel léger stocké dans une cuve de 50.000 l. Un réchauffeur électrique porte le combustible à la température voulue (70° C à 80° C),
- un tambour sécheur constitué de trois tubes concentriques munis d'aubes ; il est entraîné par un groupe moto-variateur,
- un cyclone primaire de séparation du fourrage et de l'air usé surmonté d'un ventilateur extracteur,
- une écluse d'air.

Le cheminement du fourrage dans la machine se fait par la combinaison d'un mouvement mécanique (rotation du tambour) et d'un transport pneumatique (ventilateur extracteur) ;

- un cyclone secondaire doté également d'un ventilateur extracteur assure le transport pneumatique du fourrage sec jusqu'à la vis d'alimentation des presses,
- entre le cyclone secondaire et le cyclone primaire un système de tuyaux avec vanne by-pass permet ou non de diriger le fourrage vers un broyeur à marteaux. Ce dernier peut être équipé de grilles dont le diamètre des trous peut varier de 1,5 à 30 mm.

Il peut également travailler sans grille, dans ce cas seule l'action des marteaux et contre-marteaux existe.

L'installation de granulation est alimentée en fourrage déshydraté vrac par une vis sans fin. Un quai en tôle permet de recevoir plusieurs presses. Actuellement, trois presses à rouleaux et filière fixe horizontale et une presse à piston sont installées :

- deux presses PROMILL type B.360 inversées,
- une presse FRANCE-ELEVAGE, type AL.11,
- une presse à piston PROMILL (prototype),
- signalons que nous avons également utilisé en 1967 une presse ROUSSELLE, licence KAHL, type 500.

Chacune de ces presses peut être équipée de filière de caractéristiques différentes tant au point de vue épaisseur que diamètre de trous. En particulier une filière à compression variable sera expérimentée en 1971.

L'aval de l'installation comporte un système de refroidissement des granulés et un système de pesage.

Un tapis en caoutchouc transporte les agglomérés des presses vers un refroidisseur vertical de marque PROMILL. L'opération d'extraction du produit refroidi est automatique. La peseuse-enregistreuse est de marque GATINEAU.

A la sortie de la peseuse, le produit peut être ensaché ou stocké en vrac dans deux boisseaux d'attente. Le stockage définitif a lieu dans des cellules.

### **Orientation des travaux expérimentaux.**

Le programme fixé comportait les études suivantes :

- influence du traitement technologique sur la valeur azotée des produits obtenus, par l'intermédiaire d'analyses chimiques,
- interaction plante-traitement en examinant différents critères physico-chimiques :
  - finesse, régularité de hachage,
  - influence de l'humidité sur l'agglomération ;
- étude de différents types de presses à agglomérer et de différentes filières en fonction de la finesse de broyage ;
- étude des conditions de refroidissement et de conservation des produits agglomérés ;
- étude de la valeur des produits agglomérés.

L'ampleur des études à réaliser est telle que toutes n'ont pas encore été abordées. En particulier l'étude des conditions de refroidissement et de conservation des produits finis ne commencera qu'en 1971. Les travaux effectués se sont essentiellement situés à quatre niveaux :

- au niveau de la plante : en suivant le développement de celle-ci et en s'imposant une régularité dans la coupe, le hachage et l'apport ; en préparant des produits finis issus d'une même parcelle mais à des stades différents ;

- au niveau du traitement : par la recherche des données permettant des réglages optima et l'efficacité des mesures effectuées ;
- au niveau du conditionnement : par l'étude du processus de conditionnement (broyage-agglomération) et la mise au point des conditions d'études physiques du produit déshydraté. A partir de la campagne 1971, l'étude de l'adjonction de liants sera mise en place ;
- au niveau de l'utilisation même du produit : en préparant des lots de nature, stade, agglomération différents, pour le compte d'organismes utilisateurs (C.N.R.Z. La Minière, C.R.Z.V. Theix, Service Utilisation de l'I.T.C.F.).

L'ensemble des travaux a toujours eu pour objectifs :

- la mécanisation totale de la récolte à la distribution aux animaux ;
- la réduction des pertes par une intervention immédiate à partir de la plante sur pied ;
- la fabrication d'un produit aisément stockable, manipulable mécaniquement et dont le poids spécifique avoisine 5 à 600 kg/m<sup>3</sup> contre environ 100 kg/m<sup>3</sup> pour le foin classique.

#### 1) *La plante et la récolte.*

La présence de parcelles de luzerne, de fétuque, de ray-grass, de maïs près de l'installation de traitement permet de suivre la plante dans son développement, de saisir le moment de la coupe (stade végétatif déterminé) pour en observer les répercussions sur le séchage, le conditionnement et l'utilisation animale. La régularité de hachage à la récolte et l'approvisionnement continu de la déshydrateuse sont permis grâce au chantier de récolte et de transport.

#### 2) *Le traitement.*

Les travaux ont porté sur la recherche des réglages les mieux adaptés aux caractéristiques du produit initial, compatibles avec un rendement de l'installation et une qualité de production optimums, c'est-à-dire sur l'appréciation du fonctionnement général de l'installation par les moyens disponibles : mesures de températures, de débit de combustible et de fourrage, d'énergie électrique, de déplacement (de certaines parties mécaniques en mouvement), d'humidités.

### 3) *Le conditionnement.*

L'installation de granulation conçue de manière à mettre en œuvre plusieurs presses permet de fabriquer des produits condensés (*a*), compactés (*b*) et comprimés (*c*). Les produits issus de l'atelier de granulation peuvent se classer selon leur méthode de fabrication et leurs diamètres.

Pour chaque type de produit, les mesures suivantes sont effectuées :

- humidité,
- poids spécifique en place,
- dimensions des particules constituant les granulés,
- dureté,
- friabilité,
- composition chimique.

### 4) *Utilisation du produit.*

Ces différentes mesures permettent de caractériser les lots fabriqués. Ceux-ci sont testés par des animaux, soit par le C.R.Z.V. de Theix, soit par le Service Utilisation de l'I.T.C.F. Les résultats obtenus à ce niveau ont fait l'objet de comptes rendus cités dans les références bibliographiques.

## LES RESULTATS

### 1) **Matière première.**

Remarquons d'abord que la déshydratation est la seule technique qui permet d'obtenir facilement les chiffres réels de production des fourrages ; le produit initial et le produit final étant dans tous les cas pesés.

En 1966 et 1967, ces études étaient tributaires du chantier de récolte de la Coopérative d'Etampes avec tous les aléas que cela comportait. A partir du milieu de la campagne 1967, nous avons eu notre propre chantier qui a

---

(*a*) Produit condensé : produit déshydraté, broyé et aggloméré dans une presse à rouleaux.

(*b*) Produit compacté : produit déshydraté et aggloméré dans une presse à rouleaux.

(*c*) Produit comprimé : produit déshydraté et aggloméré dans une presse à piston.

d'ailleurs été modifié pour la campagne 1968. De plus, pour les deux premières campagnes nous ne possédions pas en propre les parcelles. Ce n'est qu'à partir de l'implantation de l'installation à la Station de l'I.T.C.F. à Boigneville (début 1969) qu'il a été possible de suivre les différentes cultures destinées à la déshydratation depuis leur implantation jusqu'à leur récolte. Toutefois, la localisation de certains champs en 1968 a permis d'effectuer quelques observations.

1) *Cultures :*

Différentes espèces ont été récoltées et déshydratées :

Année 1967 :

- ray-grass italien : 2<sup>e</sup> cycle,
- fétuque élevée : 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles,
- luzerne Du Puits : 2<sup>e</sup> 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> cycles,
- maïs plante entière I.N.R.A. 258 et 260 : stade au-delà de vitreux.

Année 1968 :

- mêmes espèces, sauf le ray-grass.

Année 1969 :

- fétuque élevée Manade : 3<sup>e</sup> cycle,
- ray-grass italien Rina : quatre cycles,
- luzerne Europe : trois cycles,
- luzerne Europe : 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles,
- maïs plante entière I.N.R.A. 258 :
  - stade laiteux,
  - stade pâteux à vitreux,
- tournesol : stade mi-floraison.

Année 1970 : La surface totale des fourrages consacrée à la déshydratation a été de 49,19 ha. Les principales espèces traitées ont été :

- graminées : ray-grass italien Rina, fétuque élevée Manade,
- légumineuses : trèfle violet Goliath, luzerne Europe,
- maïs plante entière : I.N.R.A. 258.

2) *Rendements :*

Les rendements obtenus sur les cultures en 1967 n'ont pu être calculés. Quelques chiffres peuvent être indiqués pour l'année 1968.

Année 1968

| <i>Espèce et variété</i>                                  | <i>Surface<br/>(en hectares)</i> | <i>Cycles récoltés</i>  | <i>Rendement<br/>(en t/ha de M.S.)</i> |
|---|----------------------------------|---|--|
| Luzerne 1 :<br>« Du Puits » . . . .                       | 7,44                             | 1 <sup>er</sup>   | 4,24                                   |
| Luzerne 2 :<br>« Du Puits » . . . .                       | 6,00                             | 1 <sup>er</sup> , 2 <sup>e</sup> et 3 <sup>e</sup>                  | 12,46                                  |
| Luzerne 3 :<br>« Flamande » . . . .                       | 10,29                            | 1 <sup>er</sup>   | 5,56                                   |
| Luzerne 4 :<br>« Europe » . . . . .<br>(semis de l'année) | 7,65                             | 1 <sup>er</sup>   | 1,93                                   |
| Fétuque élevée :<br>« Manade » . . . . .                  | 2,50                             | 1 <sup>er</sup> , 2 <sup>e</sup> , 3 <sup>e</sup> et 4 <sup>e</sup> | 10,07                                  |

Année 1969

Tous les fourrages traités sont implantés à Boigneville, sauf une parcelle de luzerne. Le tableau suivant résume les résultats en tonne de M.S. par hectare.

| <i>Espèce et variété</i>           | <i>Cycle ou stade</i> |          |                  |          | <i>Total</i> |
|------------------------------------|-----------------------|----------|------------------|----------|--------------|
|                                    | <i>1</i>              | <i>2</i> | <i>3</i>         | <i>4</i> |              |
| Ray-grass italien « Rina » . . . . | 4,80                  | 3,12     | 0,76             | 0,56     | 9,24         |
| Fétuque élevée « Manade » . . . .  | 2,40                  | 3,33     | 1,61             | —        | 7,34         |
| Luzerne « Europe » . . . . .       | 4,77                  | 2,44     | 1,24             | —        | 8,45         |
| Maïs « I.N.R.A. 258 » . . . . .    | Laiteux               |          | Pâteux à vitreux |          |              |
|                                    | 6,42                  |          | 10,60            |          |              |
| Tournesol « Pérédovik » . . . . .  | Début à mi-floraison  |          |                  |          |              |
|                                    | 3,79                  |          |                  |          |              |

### Année 1970

Les tableaux ci-dessous indiquent les rendements en tonnes de M.S. par hectare ; ils sont plus détaillés en ce qui concerne le maïs.

| Espèce et variété              | Cycles        |                            |      | Total |
|--------------------------------|---------------|----------------------------|------|-------|
|                                | 1             | 2                          | 3    |       |
| Ray-grass italien « Rina » . . | 3,47          | Retourné puis semé en maïs |      |       |
| Fétuque élevée 1 « Manade »    | 2,23          | 2,40                       | 0,82 | 5,45  |
| Fétuque élevée 2 « Manade »    | 3,41          | 3,15                       | 1,41 | 7,97  |
| Luzerne 1 « Europe » . . . .   | 4,57          | 2,69                       | 1,97 | 9,23  |
| Luzerne 2 « Europe » . . . .   | semée en mars | 2,55                       | 1,82 | 4,37  |
| Trèfle violet « Goliath » . .  | 1,93          | 2,69                       | 0,87 | 5,49  |

Différentes constatations intéressantes apparaissent à l'examen de ces tableaux.

#### Année 1969 :

**Ray-grass :** les rendements des troisième et quatrième cycles. Les conditions météorologiques subies en 1969 expliquent en partie ces résultats. En effet, les troisième et quatrième cycles étaient constitués en majorité de tiges. Il semble que dans notre région ce fourrage ne puisse donner des rendements corrects qu'avec une irrigation qui n'est pas encore installée. C'est une des raisons pour lesquelles cette parcelle n'a été récoltée en 1970 qu'en première coupe et enssemencée ensuite en maïs.

**Tournesol :** cette plante, récoltée au stade début floraison à mi-floraison, donne un rendement de M.S./ha très faible. D'autre part, les conditions culturales ont été telles qu'il n'existe pas de matériel adapté à sa récolte.

**Maïs I.N.R.A. 258 - Le Trou-au-Maçon**  
 (Peuplement : 65 à 70.000 pieds à l'hectare)  
 Semis du 28 avril au 4 mai 1970

| <i>Stade</i>                                | <i>Laiteux</i> | <i>Pâteux</i> | <i>Pâteux-vitreux</i> | <i>Maturité</i> |
|---|----------------|---------------|-----------------------|-----------------|
| Date .....                                  | 26 et 27 août  | 7-15 sept.    | 21 et 22 sept.        | 28 septembre    |
| Surface récoltée (ha) .....                 | 2,15           | 6,34          | 1,42                  | 1,60            |
| Poids vert (tonnes) .....                   | 76,900         | 204,130       | 44,710                | 41,440          |
| Humidité moyenne pondérée<br>(% M.H.) ..... | 75,24          | 68,04         | 59,89                 | 53,18           |
| Poids de matière sèche :                    |                |               |                       |                 |
| — total (tonnes) .....                      | 19,042         | 65,270        | 17,717                | 19,402          |
| — par hectare (tonnes) ..                   | 8,86           | 10,30         | 12,48                 | 12,14           |

**Maïs I.N.R.A. 258 - Le Chemin-de-Gollainville**  
 (Peuplement : 65 à 70.000 pieds à l'hectare)  
 Semis après la première coupe de ray-grass, les 5 et 6 juin 1970

| <i>Stade</i>                                 | <i>Laiteux</i>     | <i>Pâteux</i>    |
|--|--------------------|------------------|
| Date .....                                   | 17 et 18 septembre | 13 et 14 octobre |
| Surface récoltée (ha) ...                    | 2,56               | 2,17             |
| Poids vert (tonnes) ....                     | 93,070             | 60,780           |
| Humidité moyenne pon-<br>dérée (% M.H.) .... | 79,72              | 67,74            |
| Poids de matière sèche :                     |                    |                  |
| — total (tonnes) .....                       | 18,876             | 19,608           |
| — par hectare (tonnes) ..                    | 7,37               | 9,04             |

L'écartement entre rangs était de 0,60 m. Il n'a pas été possible de récolter avec la barre de coupe. L'équipement maïs a été monté sur la récolteuse (deux becs de 0,85 m d'écartement) et un seul bec utilisé. Malgré les précautions prises on a observé une perte de 6 à 8 % des pieds par écrasement du rang latéral par la roue avant droite de la machine. Pour la même raison, la remorque a dû être enlevée, le camion circulant alors sur le côté

de la récolteuse d'où utilisation de deux chauffeurs au lieu d'un seul en temps normal. La forte proportion d'eau dans le produit vert (84 %) a été une des causes du mauvais rendement du traitement et du faible débit de l'installation.

Maïs : le maïs plante entière récolté lors de la campagne 1969 n'a pas été irrigué, il a été pénalisé par l'ouragan du début juillet (30 % de pieds atteints dont 10 % renversés) et par le déficit pluviométrique de l'été. Pour le stade laiteux deux parcelles ont été suivies. La parcelle n° 2 se trouvait en limite d'un bois et était constituée de fourrières d'un champ de 20 ha, ce qui explique son faible rendement.

#### Année 1970 :

Pour le ray-grass, à noter la différence de production à l'hectare de la même parcelle à deux stades différents et à sept jours d'intervalle : 45 % de production en plus au stade pleine épiaison. Le rendement de la fétuque de la première parcelle est faible : 5,4 tonnes de M.S./ha en trois coupes. Il s'agit d'une fétuque de troisième année. Pour la seconde parcelle (deuxième année), il s'établit à 7,97 tonnes. En trois coupes, le trèfle violet (première année d'exploitation) a également un rendement faible : 5,5 tonnes de M.S./ha. Ces rendements peuvent s'expliquer en partie par la situation des parcelles en bordure de vallée sur des terrains de qualité très moyenne.

Pour la luzerne troisième année, le rendement total s'établit à 9,2 tonnes de M.S./ha.

La première parcelle de maïs (peuplement de l'ordre de 70.000 pieds/ha) a été récoltée à quatre stades différents. Le rendement plafonne à 12 tonnes de M.S./ha pour les deux derniers stades (pâteux-vitreux et maturité). Les augmentations de rendement se situent à :

- 22 % entre les stades laiteux et pâteux ; intervalle de récolte : quinze jours,
- 41 % entre les stades laiteux et pâteux-vitreux ; intervalle de récolte : vingt-cinq jours,
- 21 % entre les stades pâteux et pâteux-vitreux ; intervalle de récolte : dix jours.

Dans le cadre de l'exploitation de Boigneville, le meilleur rendement en M.S./ha se situerait à la fin du stade pâteux et au début du stade pâteux-vitreux.

La deuxième parcelle de maïs (peuplement : 70.000 pieds/hectare) a été semée les 5 et 6 juin après la première coupe de ray-grass. La récolte à deux stades : laitieux et pâteux, a donné :

- ray-grass et maïs laitieux : 10,8 t de M.S./ha,
- ray-grass et maïs pâteux : 12,4 t de M.S./ha,
- ray-grass stade pleine épiaison et maïs pâteux : 13,2 t de M.S./ha.

La production la meilleure (13,2 t de M.S./ha) de la parcelle pour les deux cultures est supérieure de 45 % à celle du maïs seul. Rappelons pour terminer que cette même parcelle de ray-grass avait produit en 1969 9,2 t de M.S./ha en quatre coupes.

### 3) *Chantier de récolte et de transport :*

Quelques sondages de débit de la récolteuse ont été faits en 1969 par chronométrage. Au cours de la campagne 1970, les cultures de fourrages ont été suivies plus régulièrement. Certaines parcelles, pour une coupe donnée, ont été traitées à des stades différents. La récolteuse-hacheuse-chargeuse NEW-HOLLAND SP.818 et le camion BERLIET sont équipés d'un horamètre. Il nous a donc été possible de relever les heures de travail effectif de chacun de ces matériels et d'en tirer des données concernant le travail de la récolteuse et le débit du chantier d'apport de fourrage à l'usine.

#### Année 1969 :

Pour une luzerne de deuxième coupe on a noté un débit moyen du chantier de récolte de 7.570 kg de produit vert à l'heure (humidité 76,20 %, rendement : 10 tonnes de matière verte à l'hectare).

Pour cette même parcelle et cette même journée le débit instantané de la récolteuse a varié de 10,8 à 13,8 t de produit vert à l'heure. Ce débit est relativement faible : plusieurs choses en sont la cause :

- le rendement en deuxième coupe est inférieur à celui de la première coupe,
- la machine n'avancait qu'en deuxième vitesse, compte tenu des ondulations du champ et de la présence de nombreux cailloux.

Pour un maïs au stade pâteux-vitreux, la machine étant équipée d'un bec deux rangs, on a pu établir le tableau suivant :

| <i>Vitesse de l'ensileuse</i><br>( <i>km/h</i> ) | <i>Débit instantané</i><br>( <i>tonnes/hectare de matière verte</i> ) |
|--|---|
| 4,2 à 4,3  | 20,8  |
| 4,7 à 5,3  | 23,8  |
| 6,5  | 32,0  |

Humidité moyenne du produit vert : 67,38 % M.H.

Rendement : 32,5 tonnes de matière verte/ha, soit 10,60 t M.S./ha.

Année 1970 :

Les parcelles se trouvent groupées à proximité de l'usine, la plus éloignée est à 2 km. Dans certains cas (maïs), le transport du produit vert a été effectué par l'ensemble récolteuse-benne (champ en face de l'usine).

L'horamètre de la récolteuse branché sur le moteur indique donc les temps d'utilisation y compris les virages, temps morts...

Les débits cités ultérieurement ne sont pas des débits instantanés qui auraient pu être calculés si un deuxième horamètre avait été branché sur le rotor de hachage.

La surface traitée par la machine de récolte a été de 88 hectares, se décomposant comme suit :

Graminées : 20,94 ha.

Légumineuses : 48,40 ha.

Maïs : 18,62 ha.

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus en dissociant le chantier de récolte du chantier de transport.

| <i>Espèce</i>           | <i>Débit récolteuse</i> |                      | <i>Surface traitée</i><br><i>ha/h</i> | <i>Transport</i>    |                      |
|-------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------------------|---------------------|----------------------|
|                         | <i>Produit vert</i>     | <i>Matière sèche</i> |                                       | <i>Produit vert</i> | <i>Matière sèche</i> |
|                         | <i>t/h</i>              | <i>t/h</i>           |                                       | <i>km/t</i>         | <i>km/t</i>          |
| Graminées ..            | 7,78                    | 1,58                 | 0,54                                  | 0,49                | 2,42                 |
| Légumineuses            | 9,38                    | 2,22                 | 0,96                                  | 0,57                | 2,42                 |
| Maïs . . . . .          | 10,56                   | 2,62                 | 0,33                                  | 0,45                | 1,82                 |
| Moyenne campagne 1970 . | 8,95                    | 2,04                 | 0,71                                  | 0,53                | 2,31                 |

En ajoutant les temps de récolte et de transport on obtient le tableau suivant :

| <i>Espèce</i>               | <i>Débit du chantier<br/>de récolte et de transport</i> |                      | <i>Surface traitée</i> |
|-----------------------------|---|----------------------|------------------------|
|                             | <i>Produit vert</i>                                     | <i>Matière sèche</i> |                        |
|                             | <i>t/h</i>  | <i>t/h</i>           | <i>ha/h</i>            |
| Graminées .....             | 5,00  | 1,01                 | 0,35                   |
| Légumineuses ...            | 5,87  | 1,39                 | 0,60                   |
| Maïs .....                  | 8,22  | 2,56                 | 0,26                   |
| Moyenne<br>campagne 1970 .. | 6,34  | 1,64                 | 0,42                   |

Le débit du chantier de récolte et de transport pour du maïs (variété I.N.R.A. 258) récolté à différents stades varie dans le même sens que le rendement en matière sèche à l'hectare, comme le montre le tableau ci-dessous.

| <i>Stade</i>       | <i>Débit du chantier<br/>de récolte et de transport</i> |                      | <i>Rendement<br/>en matière sèche</i> |
|--------------------|---|----------------------|---------------------------------------|
|                    | <i>Produit vert</i>                                     | <i>Matière sèche</i> |                                       |
|                    | <i>t/h</i>  | <i>t/h</i>           | <i>t/ha</i>                           |
| Laiteux .....      | 9,23  | 2,29                 | 8,86                                  |
| Pâteux .....       | 8,07  | 2,58                 | 10,30                                 |
| Pâteux-vitreux ... | 8,67  | 3,43                 | 12,48                                 |
| Maturité .....     | 8,28  | 4,41                 | 12,14                                 |

#### 4) Production de l'installation et destination des produits :

L'atelier de déshydratation de Boigneville est essentiellement expérimental. Les tonnages annuels fabriqués jusqu'à ce jour ne sont donc pas représentatifs des possibilités de production d'une usine de même type implantée dans un milieu agricole.

Les chiffres indiqués correspondent au produit sec (humidité comprise entre 8 et 14 %) sauf pour l'année 1970 où les tonnages indiqués sont en M.S.).

Année 1967 :

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| Ray-grass d'Italie .....       | 8 tonnes   |
| Fétuque élevée .....           | 12 tonnes  |
| Luzerne .....                  | 80 tonnes  |
| Maïs I.N.R.A. 258 et 260 ..... | 40 tonnes  |
|                                | <hr/>      |
| au total .....                 | 140 tonnes |

Année 1968 :

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| Fétuque élevée .....           | 27 tonnes  |
| Luzerne .....                  | 220 tonnes |
| Maïs I.N.R.A. 258 et 260 ..... | 33 tonnes  |
|                                | <hr/>      |
| au total .....                 | 280 tonnes |

Année 1969 :

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| Ray-grass d'Italie ..... | 72 tonnes  |
| Fétuque élevée .....     | 20 tonnes  |
| Luzerne .....            | 114 tonnes |
| Maïs I.N.R.A. 258 .....  | 69 tonnes  |
| Tournesol .....          | 10 tonnes  |
|                          | <hr/>      |
| au total .....           | 285 tonnes |

Année 1970 :

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| Ray-grass d'Italie ..... | 24 tonnes  |
| Fétuque élevée .....     | 37 tonnes  |
| Luzerne .....            | 100 tonnes |
| Trèfle violet .....      | 14 tonnes  |
| Maïs I.N.R.A. 258 .....  | 180 tonnes |
|                          | <hr/>      |

au total ..... 355 tonnes de matière sèche  
ou environ ..... 390 tonnes de produit sec à 10 % 109

Les différents lots fabriqués chaque année ont une destination différente. En fonction des objectifs choisis il s'agit :

- soit de lots technologiques : essais de presses, de filières, de finesse de broyage ;
- soit de lots destinés à être testés sur animaux par différents organismes :
  - C.N.R.Z. La Minière,
  - C.R.Z.V. Theix,
  - Service Utilisation de l'I.T.C.F.

Le tableau ci-dessus indique les différentes répartitions en tonnes.

| <i>Année</i> | <i>C.N.R.Z.<br/>La Minière</i> | <i>C.R.Z.V.<br/>Theix</i> | <i>Service Utilisation<br/>de l'I.T.C.F.</i> | <i>Essais<br/>technologiques</i> |
|--------------|--------------------------------|---------------------------|--|----------------------------------|
| 1967 .....   | 17                             | 23                        | 75   | 25                               |
| 1968 .....   | 11                             | 112                       | 57   | 100                              |
| 1969 .....   | 10                             | 63                        | 148  | 64                               |
| 1970 .....   | —                              | 126                       | 140  | 134                              |
| Total .....  | 38                             | 324                       | 420  | 323                              |

## 2) Le traitement.

Les opérations effectuées à ce niveau concernent le phénomène de séchage en lui-même. Les principaux contrôles portent sur l'enregistrement des 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.

Sauf pour quelques séquences particulières, il n'est pas possible de donner des chiffres précis concernant le séchage en lui-même. En effet, les

données recueillies au point de vue bilan n'intéressent que l'ensemble de l'installation, y compris l'action séchante du broyage de l'agglomération et du refroidissement.

La part de chacun des trois derniers postes n'a pu être déterminée. La mise en place en 1971 d'appareillages supplémentaires (mesure plus précise de débit de fuel, de débit et caractéristiques de l'air usé, d'humidité du produit à différents niveaux...) permettra une nouvelle approche de ce problème.

Des constatations générales ont permis d'année en année d'affiner les problèmes posés pour la bonne marche de la machine.

En général, on observe une diminution de la capacité évaporatoire au cours du déroulement de la campagne. Ceci est lié à l'humidité du produit initial. En début de campagne avec des produits très humides (80 à 85 % M.H.) et jeunes, la puissance évaporatoire nominale est atteinte sans difficulté. Mais on constate alors une mauvaise régulation due au fait que même très bien haché le produit reste en paquets dans le tambour (produits jeunes et riches). Ces produits ont également un poids spécifique élevé qui augmente la charge du tambour. Corrélativement à l'augmentation de l'humidité du produit vert, le débit en produit sec diminue, toutes autres choses restant égales par ailleurs.

Il est bon de retenir qu'il n'est pas indiqué de sécher des produits d'une humidité supérieure à 85 % M.H. pour les raisons citées précédemment.

Au fur et à mesure de l'avancement de la campagne, l'humidité du produit vert diminue ; si l'on veut maintenir une puissance évaporatoire normale il faudra augmenter le débit de produit à l'entrée mais on atteint alors des limites dues à l'installation elle-même (épaisseur de la couche de fourrage sur le tablier, débit de la vis d'amenée, saturation des presses). Cela est surtout sensible avec les graminées (plus particulièrement fétuque) en raison de leur faible poids spécifique et avec le maïs à un stade avancé (humidité initiale faible).

Lorsque l'humidité initiale diminue la température du four doit également être diminuée. Elle doit être maintenue assez basse (900 à 950°) afin d'éviter des combustions de particules à l'endroit du mélange air chaud-fourrage et une diminution de la valeur azotée du produit d'origine.

Le tableau ci-dessous résume quelques observations effectuées en 1969.

| <i>Produit traité</i>   | <i>Température au four</i> | <i>Humidité initiale</i> | <i>Azote total (en g pour 100 g de M.S.)</i> |                         |
|---|----------------------------|--------------------------|--|-------------------------|
|   | °C                         | % M.H.                   | <i>Produit vert</i>                          | <i>Produit pressé</i>   |
| Ray-grass italien .....<br>(1 <sup>er</sup> cycle, 3 à 4 jours avant<br>épiaison) | 830                        | 83,03                    | 10,67<br>10,07<br>10,47                      | 10,96<br>10,86<br>10,37 |
| Ray-grass italien .....<br>(1 <sup>er</sup> cycle, début épiaison)                | 920                        | 79,89                    | 8,41<br>8,12<br>8,28                         | 8,62<br>9,64<br>8,84    |
| Fétuque élevée .....<br>(2 <sup>e</sup> cycle, stade feuillu)                     | 650                        | 75,02                    | 13,69  | 14,15                   |
| Tournesol .....<br>(début à mi-floraison)   | 1.020                      | 84,59                    | 12,68<br>10,86<br>10,03                      | 12,50<br>11,91<br>13,05 |
| Luzerne .....<br>(1 <sup>er</sup> cycle, bourgeonnement)                          | 900                        | 77,40                    | 15,90<br>14,45<br>17,65                      | 16,40<br>15,55<br>15,90 |
| Maïs .....<br>(stade laiteux)   | 720                        | 72,78                    | 9,45<br>10,50<br>9,25                        | 9,30<br>9,60<br>9,25    |
| Maïs .....<br>(stade pâteux à vitreux)  | 830                        | 66,64                    | 8,10<br>8,70<br>8,90                         | 9,30<br>9,10<br>9,35    |
| Maïs .....<br>(stade vitreux)   | 755                        | 63,56                    | 9,40   | 8,80                    |

Pratiquement on n'observe aucune diminution de la teneur en azote total avec les températures utilisées qui d'ailleurs varient avec l'humidité initiale du fourrage.

Dans le cas du maïs plante entière, le produit vert est un mélange haché de tiges, spathes, rafles, grains... L'hétérogénéité d'humidité et de forme de ces différentes parties est importante et plus accentuée pour les stades tardifs. Pour tous les fourrages à traiter, la présentation du produit vert joue un rôle primordial dans la régularité de la marche de l'installation ; il doit tou-

jours être très divisé. La « perte » de temps pour l'affûtage journalier des couteaux de la machine de récolte est largement compensé par l'absence d'ennuis dans la marche de l'usine.

Le tableau ci-dessous montre un exemple de performances de notre installation.

| <i>Culture</i>                              | <i>Luzerne<br/>1<sup>er</sup> cycle</i> | <i>Maïs<br/>stade laitieux</i> | <i>Maïs<br/>stade pâteux</i> |
|---|---|--------------------------------|------------------------------|
| Humidité initiale (% M.H.) ..               | 80                                      | 73                             | 63                           |
| Humidité finale (% M.H.) ..                 | 11                                      | 11                             | 9                            |
| Température du four (°C) ..                 | 900                                     | 720                            | 750                          |
| Débit évaporatoire (kg/h) ..                | 2.075                                   | 1.514                          | 1.245                        |
| Débit en produit sec (kg/h) ..              | 600                                     | 660                            | 855                          |
| Consommation spécifique de<br>fuel :        |   |                                |                              |
| — en kg par tonne d'eau<br>évaporée .....   | 85                                      | 95                             | 110                          |
| — en kg par tonne de pro-<br>duit sec ..... | 285                                     | 245                            | 180                          |

La dernière ligne indique l'intérêt économique du traitement dans le cas de produit vert à faible teneur en humidité.

Chaque séquence de déshydratation a donné lieu au calcul de ces différentes valeurs qui ne seront pas reproduites ici. A titre d'exemple, sont indiqués quelques chiffres caractérisant l'ensemble de la campagne 1969 :

- humidité moyenne du produit vert : 75,5 % M.H.,
- produit vert traité : 1.060 tonnes environ,
- produit sec (granulés) : 600 kg/heure en moyenne,
- puissance évaporatoire : 1.700 kg d'eau/heure en moyenne,
- consommation spécifique : 95 l de fuel par tonne d'eau évaporée.

La campagne s'est étalée sur 177 jours. Le nombre de journées de travail effectif de l'usine représente 38 à 40 % de la période de récolte en tenant compte des samedis et dimanches. Les séquences de travail ont varié de 10 à 35 heures consécutives selon les lots fabriqués. Une vingtaine de 113

pannes ont eu lieu au cours de la campagne. Leur durée représente 2,5 % du total des heures de marche.

De nombreux arrêts ont été dus au réseau électrique (installation en bout de ligne). Quelques bourrages ont eu lieu au niveau de la vis d'amenée du produit vert (vitesse de rotation trop lente). Elles ont disparu après changement des planétaires du réducteur. Une mauvaise régulation a été constatée dans plusieurs cas à cause d'une forte humidité (83 à 85 % M.H.) et d'une mauvaise qualité du produit (forte proportion de tiges, surtout dans la luzerne).

### 3) Le conditionnement des produits déshydratés.

Ce terme englobe trois opérations différentes : le broyage, l'agglomération et le refroidissement. Les deux premiers phénomènes sont étroitement liés ; le broyage influe directement sur l'agglomération.

#### 1) *Broyage - Agglomération :*

Les opérations de contrôle effectuées à ce niveau portent sur le choix de la finesse de broyage et des presses et filières ; sur les caractéristiques physiques des produits agglomérés, leur humidité, le débit des presses.

Les performances des presses sont directement liées aux caractéristiques du produit initial (espèce, stade), à l'humidité du produit à la sortie du sécheur, à son débit et au broyage.

L'agglomération des produits broyés dans les presses à filière fixe horizontale et à galets tournants ne pose plus de problèmes importants. Les fourrages jeunes s'agglomèrent bien sans broyage préalable.

Certaines difficultés apparaissent pour les graminées et le maïs à des stades tardifs. On y remédie généralement en effectuant un broyage grossier ou en augmentant l'épaisseur des filières. Notons qu'en agglomération directe les rouleaux effectuent à l'intérieur de la filière un travail de broyage non négligeable. L'écartement entre rouleaux et filières joue sur ce phénomène. Le débit des presses est très variable et en corrélation avec divers facteurs : espèce fourragère, débit du sécheur, finesse de broyage... Les débits vont en général en augmentant lorsque l'on passe des graminées aux légumineuses et

au maïs. Ils varient pour un même produit dans le même sens que la finesse de broyage.

Les divers produits finis peuvent être caractérisés et classés d'après leurs propriétés physiques. Les contrôles effectués à ce niveau portent sur l'étude :

- du taux d'agglomération et de la friabilité,
- de la dureté-cohésion,
- de la densité,
- de l'humidité,
- de la texture de graminées (granulométrie).

*Taux d'agglomération et friabilité :*

Le taux d'agglomération se mesure à la proportion de bouchons recueillis à la sortie du refroidisseur après tamisage sur un tamis d'ouverture de mailles de 8 mm.

Ce taux d'agglomération est fonction de l'espèce végétale et de son stade de développement. Les résultats suivants montrent nettement cette influence.

| <i>Conditionnement</i> |                                       | <i>Taux d'agglomération</i> |
|------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| sans broyage           | ray-grass d'Italie :                  |                             |
|                        | — tout début épiaison . . . . .       | 96 %                        |
|                        | — pleine épiaison . . . . .           | 91 %                        |
| sans broyage           | luzerne : début bourgeonnement ..     | 95 %                        |
| sans broyage           | fétuque : pleine épiaison . . . . .   | 80 %                        |
| sans broyage           | maïs : stade de maturité laiteux ..   | 91 %                        |
|                        | maïs : stade pâteux-vitreux . . . . . | 87 %                        |

*Remarque :* L'agglomération est faite à l'aide de presses à rouleaux d'épaisseur de matrice 60 mm, les diamètres de bouchons sont de 12 mm.

Le maïs doit être pénalisé du fait qu'il a bénéficié d'un taux de compression plus élevé.

Le broyage améliore le taux d'agglomération, comme le montre le tableau suivant.

|                        | <i>Sans broyage</i> | <i>Avec broyage</i>              |
|------------------------|---------------------|----------------------------------|
| Ray-grass d'Italie ... | 90 %                | 97,5 % (broyé à la grille 5 mm)  |
| Luzerne .....          | 95 %                | 99,5 % (broyé à la grille 10 mm) |
| Maïs .....             | 82 %                | 99 % (broyé à la grille 5 mm)    |

La friabilité s'estime à la proportion de fines qu'on trouve dans l'auge de l'animal après les opérations de stockage, de transport et de distribution.

Il y a une corrélation étroite entre le taux d'agglomération et la friabilité.  
Exemple :

|                          | <i>Taux d'agglomération</i> | <i>Friabilité</i> |
|--------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Ray-grass d'Italie ..... | 96 %                        | 11 %              |
| Luzerne .....            | 90 %                        | 27 %              |
| Maïs .....               | 91 %                        | 22 %              |
| Fétuque .....            | 98 %                        | 5 %               |

En gros, le taux de fines retrouvées après la mesure de friabilité vaut deux à trois fois celui trouvé après la mesure du taux d'agglomération.

On voit donc qu'il y a intérêt à prendre soin du taux d'agglomération pour éviter les pertes après la fabrication.

*Dureté-cohésion* : La dureté-cohésion est repérée grâce à une échelle conventionnelle comprenant sept classes :

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| 1 <sup>re</sup> classe ..... | 0 à 10  |
| 2 <sup>e</sup> classe .....  | 10 à 20 |
| 3 <sup>e</sup> classe .....  | 20 à 30 |
| 4 <sup>e</sup> classe .....  | 30 à 40 |
| 5 <sup>e</sup> classe .....  | 40 à 50 |
| 6 <sup>e</sup> classe .....  | 50 à 60 |
| 7 <sup>e</sup> classe .....  | > 60    |

Les produits compactés (sans broyage préalable) entrent presque exclusivement dans les deux premières classes.

Les produits condensés entrent dans les 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> classes.

Les luzernes industrielles font partie des 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> classes.

On observe une assez bonne corrélation entre la dureté-cohésion et la friabilité :

- une dureté de 10-20 correspond grossièrement à une friabilité comprise entre 5 et 10 % ;
- une dureté de 20-30 correspond à une friabilité inférieure à 5 % ;
- la dureté de 30-40 a été observée très rarement.

Le maïs, surtout au stade pâteux-vitreux, traduit ses mauvaises dispositions avec des friabilités supérieures à 20 %, malgré des duretés assez conséquentes : 20-30 et même 30-40.

*Densité* : la densité représente le poids de produit qu'on peut loger dans l'unité de volume. Elle s'exprime en kg par m<sup>3</sup>.

La densité est également fortement corrélée avec le taux d'agglomération et la friabilité.

Une densité supérieure à 550 kg/m<sup>3</sup> correspond grossièrement à une friabilité comprise entre 0 et 5 %. Pour le maïs, on descend plus bas : 500 kg/m<sup>3</sup> pour une friabilité identique à la précédente.

Les densités inférieures à 500 kg/m<sup>3</sup> s'accompagnent de friabilité supérieure à 10 %.

Enfin, les densités comprises entre 500 et 550 kg/m<sup>3</sup> valent une friabilité comprise entre 5 et 10 %.

*Humidité du produit fabriqué* : l'humidité du produit fabriqué conditionne la bonne réussite de l'agglomération.

Les écarts instantanés d'humidité ne doivent pas, en général, dépasser 2 à 3 points d'humidité sous peine de compromettre la réussite de l'agglomération.

Il existe une humidité moyenne du produit en équilibre avec le niveau fixé aux paramètres du conditionnement (broyage, pressage).

Cette humidité d'équilibre paraît se situer légèrement plus bas pour les graminées que pour la luzerne, par exemple :

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| — graminées .....                   | 8 à 11 %  |
| — luzerne .....                     | 11 à 13 % |
| — tournesol .....                   | 14 à 20 % |
| — maïs (stade laiteux) .....        | 9 à 12 %  |
| — maïs (stade pâteux-vitreux) ..... | 9 à 10 %  |

Ces humidités d'équilibre paraissent compatibles avec une bonne conservation du produit, sauf peut-être dans le cas du tournesol.

*Texture des granulés - granulométrie* : Elle se caractérise assez bien au moyen de deux paramètres :

- la valeur moyenne de la distribution qui correspond en gros à l'ouverture des mailles du tamis qui laisse passer 50 % de particules de fourrage à travers son réseau de mailles ;
- l'étendue du spectre granulométrique : conventionnellement cette étendue du spectre correspondra au nombre de tamis qui retiennent 95 % des particules.

A titre d'illustration, un maïs au stade laiteux donnera :

|  |                  |                      |
|--|------------------|----------------------|
| — valeur moyenne de la distribution .....  | 0,4 à 0,5 mm     | (produit broyé 5 mm) |
|  | 1,0 mm           | (produit non broyé)  |
| — étendue du spectre granulométrique ..... | 12 tamis         | (produit broyé 5 mm) |
|  | plus de 16 tamis | (produit non broyé)  |

La première distribution (produit broyé 5 mm) correspond à un spectre de particules plus fines et plus homogènes que la deuxième distribution.

Les paramètres caractéristiques des spectres granulométriques se déduisent aisément des courbes cumulatives représentées sur graphiques.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs des paramètres caractéristiques pour quelques espèces végétales.

| <i>Désignation</i>   | <i>Valeur moyenne de la distribution</i> | <i>Etendue du spectre</i> | <i>Désignation</i> | <i>Valeur moyenne de la distribution</i> | <i>Etendue du spectre</i> |
|----------------------|--|---------------------------|--------------------|--|---------------------------|
| Maïs stade laiteux : |  |                           | Ray-grass :        |  |                           |
| B 5 - P 12 ...       | 0,4-0,5                                  | 12                        | B 5 - P 12 ...     | 0,315                                    | 11                        |
| B.S.G. - P 12 ...    | 0,8                                      | 16                        | N.B. - P 12 ...    | 0,80                                     | 13-14                     |
| N.B. - P 12 ...      | 1,0                                      | > 16                      | Fétuque élevée :   |  |                           |
| Maïs stade pâteux :  |  |                           | B 5 - P 12 ...     | 0,25                                     | 9-10                      |
| B 5 - P 12 ...       | 0,5                                      | 12                        | B 10 - P 12 ...    | 0,315                                    | 10-11                     |
| B.S.G. - P 12 ...    | 0,8                                      | 16                        | N.B. - P 12 ...    | 0,40                                     | 11-12                     |
| Luzerne :            |  |                           |                    |  |                           |
| B 5 - P 12 ...       | 0,315                                    | 10                        |                    |  |                           |
| B 10 - P 12 ...      | 0,4                                      | 11                        |                    |  |                           |
| N.B. - P 12 ...      | 0,8                                      | 15                        |                    |  |                           |

Ce tableau montre l'influence du broyage sur la valeur moyenne de la distribution et sur l'étendue du spectre. Les distributions contenant le plus de particules grossières sont également celles qui sont les plus hétérogènes. La fétuque élevée contient dans l'ensemble moins de particules grossières que le ray-grass d'Italie et la luzerne. Le maïs a une position privilégiée du fait que le calibre des particules arrivant à la presse est bien plus important que celui d'une graminée fourragère.

A partir des nombreux échantillons testés par les différentes mesures physiques on a cherché à classer les produits par zone dans une représentation à trois dimensions (figure 1), en tenant compte des corrélations entre la friabilité, la dureté et le spectre granulométrique des bouchons.

En général, chaque zone correspond à un type de produit, mais il peut y avoir des interférences si l'on tient compte d'autres facteurs : stade végétatif, épaisseur et diamètre de la filière et diamètre de la grille du broyeur.

La zone 1 caractérisée par : dureté inférieure à 30 ; texture inférieure à 0,40 ; friabilité inférieure à 10 correspond aux produits condensés et aux graminées compactées à un stade jeune.



La zone 2 caractérisée par : dureté inférieure à 30 ; texture inférieure à 0,80 ; friabilité comprise entre 10 et 25 correspond aux produits compactés ou condensés broyés avec des grilles de grand diamètre.

La zone 3 caractérisée par : dureté inférieure à 30 ; texture inférieure à 0,80 ; friabilité supérieure à 25 correspond à des produits comprimés ou par exemple à des maïs compactés avec des diamètres de trous de filière de 25 mm.

Dans la zone 1' : dureté supérieure à 30, texture inférieure à 0,50 ; friabilité inférieure à 10, on trouve des maïs compactés, diamètre de bouchons 25 mm ; épaisseur de filière 145 mm.

*En résumé*, les études montrent que :

- le broyage favorise en général une bonne agglomération ;
- il faut régler scrupuleusement la distance entre filière et galets ;
- un taux de compression élevé améliore l'agglomération, par contre, il augmente la dureté ;
- le taux de compression est en corrélation avec le rapport :  
épaisseur de filière/diamètre des bouchons ;
- avec de faibles taux de compression on est en général obligé d'augmenter l'humidité du produit arrivant aux presses ;
- les presses à fort taux de compression supportent mieux les écarts d'humidité du produit ;
- le broyage augmente la proportion de particules fines ;
- les diamètres des trous de filière n'ont pas une influence bien marquée sur la répartition des particules ;
- il y a un certain antagonisme entre les exigences d'une bonne agglomération et celles d'une granulométrie à forte proportion d'éléments grossiers. Les presses à filières horizontales fixes et à galets tournants sont les mieux adaptées à l'agglomération sans broyage préalable. Il est recommandé d'équiper ce type de presses de deux filières d'épaisseur 121

différente (60 et 80 mm par exemple) : la plus épaisse sera utilisée pour les graminées et le maïs à des stades tardifs, la moins épaisse pour les légumineuses et les stades précoces (plus forte proportion d'éléments « collants »).

L'adjonction d'un broyeur avec vannes by-pass dans le circuit sera bénéfique pour l'agglomération de produits récoltés à un stade tardif et pour le maïs. Ce broyage sera d'ailleurs très grossier : trous de grille de 30 mm ou utilisation sans grille.

Au cours de nos expérimentations, il est apparu que le diamètre des trous de la filière n'a pas d'influence sur la texture des agglomérés. Il est donc possible de se limiter à des diamètres de bouchons de 10 à 16 mm (le plus utilisé étant 12 mm) tout en conservant une forte proportion de particules grossières.

Le réglage de l'espace entre les galets et la filière a une importance primordiale sur les malaxages du produit dans la presse, donc sur la dimension des particules constitutives des bouchons : le conducteur de la machine devra particulièrement y faire attention. Cela est également capital pour l'usure des galets.

Les premiers essais (en 1970) sur une presse à pistons ont montré qu'il est difficile d'agglomérer correctement avec de faibles taux de compression. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec une humidité de l'ordre de 17 à 18 % donnant un produit comprimé de conservation douteuse. Le refroidissement et la manutention de ce type de produit sans délitage posent d'ailleurs un certain nombre de problèmes.

## 2) *Le refroidissement et la conservation.*

Peu de contrôles ont été effectués à ce niveau. Les principales constatations sont les suivantes :

- le refroidissement doit être très énergique surtout pour les granulés de gros diamètre (20 mm par exemple) et pour la période de récolte de maïs : les débits de l'installation sont alors très importants et le produit fini ne séjourne pas assez longtemps dans l'appareil pour être refroidi correctement ;

ANALYSES CHIMIQUES 1969  
(Résultats en g pour 100 g de M.S.)

(1) Produit vert.

(2) Produit déshydraté pressé.

| Date    | Espèce, cycle, stade   | Sucres solubles |       | Cendres |       | Cellulose |       | Azote total |       |
|---------|--|-----------------|-------|---------|-------|-----------|-------|-------------|-------|
|         |  | 1               | 2     | 1       | 2     | 1         | 2     | 1           | 2     |
| 8-5-69  | Ray-grass italien .....<br>1 <sup>er</sup> cycle, 3 à 4 jours avant épiaison | 24,59           | 23,94 | 9,62    | 10,14 | 19,62     | 19,92 | 10,07       | 10,86 |
| 12-5-69 | Ray-grass italien .....<br>1 <sup>er</sup> cycle, début épiaison             | 24,93           | 23,19 | 8,83    | 10,05 | 22,14     | 19,66 | 8,12        | 9,64  |
| 19-5-69 | Ray-grass italien .....<br>1 <sup>er</sup> cycle, fin épiaison               | 25,22           | 26,91 | 8,75    | 8,74  | 25,56     | 22,83 | 8,12        | 7,58  |
| 21-5-69 | Luzerne .....<br>1 <sup>er</sup> cycle, bourgeonnement (début)               | 11,65           | 10,65 | 9,49    | 9,12  | 24,11     | 26,75 | 16,80       | 17,45 |
| 27-5-69 | Luzerne .....<br>1 <sup>er</sup> cycle, bourgeonnement                       | 9,75            | 9,70  | 9,13    | 8,85  | 29,30     | 29,55 | 18,60       | 17,90 |
| 15-7-69 | Tournesol .....<br>début floraison   | 19,18           | 22,02 | 11,24   | 12,88 | 20,23     | 19,90 | 10,86       | 11,91 |
| 25-8-69 | Maïs I.N.R.A. 258 .....<br>laiteux   | 24,25           | 21,35 | 5,50    | 5,15  | 16,30     | 17,95 | 10,50       | 9,60  |
| 10-9-69 | Maïs I.N.R.A. 258 .....<br>pâteux à vitreux                                  | 12,20           | 11,00 | 3,99    | 3,95  | 17,55     | 14,70 | 8,70        | 9,10  |
| 16-9-69 | Maïs I.N.R.A. 258 .....<br>vitreux   | 6,65            | 9,50  | 4,03    | 3,84  | 14,54     | 14,60 | 9,40        | 8,80  |

- la conservation : il semble qu'une humidité supérieure à 12 % peut créer des difficultés de conservation quels que soient le produit et ses conditions de fabrication, dans le cas d'un stockage en cellules.

#### 4) Les analyses chimiques.

Les modifications de la composition chimique que subit un fourrage au cours de la chaîne de déshydratation ont lieu à quatre stades : à la coupe, entre la coupe et le passage au séchoir (attente sur le carreau de l'usine), dans le séchoir et lors de la conservation après le traitement. Seule l'étude des modifications intervenant dans le séchoir a été abordée.

Les résultats des prélèvements effectués sur le produit vert et le produit déshydraté et pressé sont plutôt en corrélation avec le stade végétatif qu'avec l'effet du traitement en lui-même. Avec des séries de douze échantillons, il ressort qu'aucune différence n'est significative au seuil de 5 % (entre le produit vert et le produit pressé).

Pour rendre les valeurs significatives, il faudrait opérer sur une centaine d'échantillons (au lieu de douze).

Les analyses de l'année 1970 n'étant pas toutes effectuées, quelques résultats obtenus en 1969 ont été rassemblés dans un tableau.

Nous ne possédons pas d'informations sur les modifications de la composition chimique durant le stockage. Des dégâts peuvent se produire pour plusieurs raisons : mauvais refroidissement, humidité finale trop élevée, stockage dans de mauvaises conditions. On constate alors l'apparition de moisissures due à une fermentation.

### CONCLUSIONS

Cette expérimentation a permis d'étudier certains aspects de la technique de déshydratation. Nous avons pu éclaircir quelques interactions des nombreux paramètres qui interviennent et faire des choix d'axes de recherche pour l'avenir. C'est ainsi que la campagne 1971 sera axée sur :

- la préparation de lots de fourrages récoltés à différents stades de végétation pour le Service Utilisation de l'I.T.C.F. (240 animaux à Boigneville), l'I.N.R.A. et le Centre de Theix en vue d'études sur moutons en chambres respiratoires ;
- l'étude des réactions de la déshydrateuse à des variations rapides de la teneur en eau du fourrage ou des températures utilisées en vue de l'amélioration de la régulation de ce type de machine ;
- l'étude de l'adjonction de liants, d'urée, de condiments minéraux et vitaminés et ultérieurement de céréales avant agglomération et ses répercussions sur les propriétés physiques des produits finis ;
- l'étude de la conservation des produits en cellule.

Il convient de ne pas oublier qu'une telle étude est loin d'être achevée : la partie la plus importante du matériel expérimental, celle qui permettra de trancher définitivement, c'est-à-dire l'animal, ne permet pas, de par son développement et ses réactions relativement lents, d'obtenir des résultats concrets immédiats. Une certaine prudence vis-à-vis d'une interprétation des premiers résultats est donc souhaitable, et si le travail précédemment entrepris peut déjà permettre d'aider et de conseiller utilement les adeptes de cette technique de conservation, le problème est loin d'être résolu pour autant.

G. MONTAGU.