

2. Les fourrages

Ces aliments, souvent riches en glucides pariétaux, appartiennent à des familles botaniques diverses : poacées (graminées), fabacées (légumineuses), brassicacées (crucifères). Ils sont constitués par l'appareil aérien des plantes fourragères spontanées ou cultivées, c'est-à-dire par les tiges, les feuilles et l'appareil reproducteur de ces végétaux. Les plantes récoltées après la floraison comportent une certaine proportion de graines ou de grains immatures ou à maturité. Cette proportion est très faible dans les plantes strictement fourragères, mais elle devient élevée dans les céréales telles que le maïs, qui sont récoltées à proximité de la maturité.

Parmi les poacées (graminées) nous trouvons notamment le ray-grass, la fétuque des prés, la fléole des prés et le dactyle. La famille des fabacées (légumineuses) comporte entre autres la luzerne, le lotier, le trèfle blanc, le trèfle violet, etc. On reconnaît ces espèces par la présence de feuilles trifoliées. Elles sont riches en matières azotées et calcium.

On distingue selon le mode de conservation et la teneur en matière sèche :

- les fourrages verts contenant 10 à 30% de matière sèche ;
- les ensilages contenant 15 à 40% de matière sèche ;
- les fourrages secs (foins et fourrages déshydratés) contenant 85 à 95% de matière sèche.

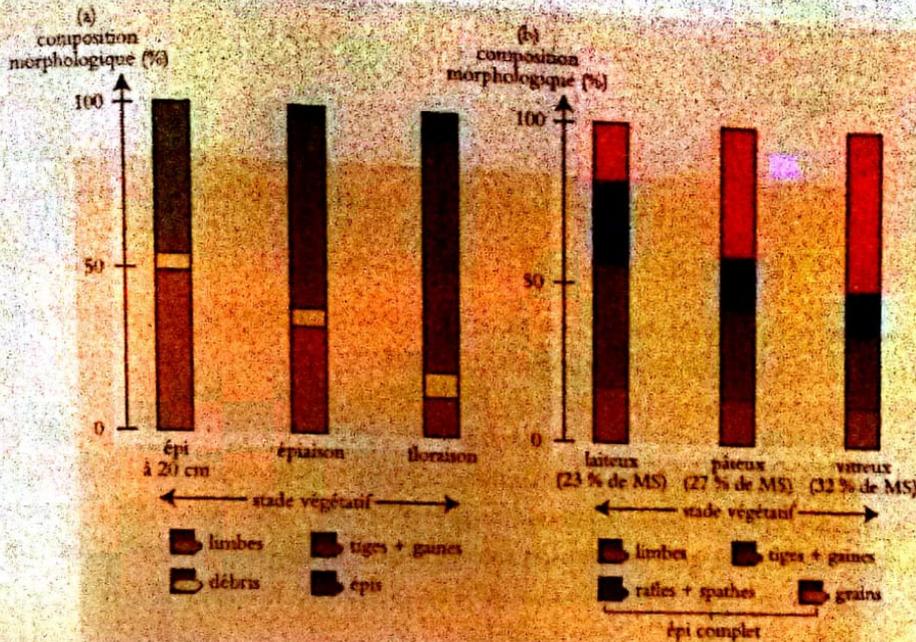
En France, les fourrages constituent la base de l'alimentation des herbivores.

2.1. La composition des fourrages verts

2.1.1. La composition morphologique

Les différentes parties constitutives d'un fourrage ne présentent pas les mêmes caractéristiques. C'est la raison pour laquelle il est important de connaître la contribution des feuilles et des tiges à la production de matière sèche (cf. fig. 2.2).

Figure 2.2. Évolution de la composition morphologique du ray-grass d'Italie (a) et du maïs (b) selon le stade végétatif



Chez les poacées (graminées), au cours du premier cycle de végétation, la proportion de limbes décroît très vite, alors que la part des tiges, des gaines et des épis s'accroît. Au cours des cycles suivants, les repousses sont essentiellement feuillues si les épis ont été supprimés par la première exploitation : le rapport limbes/gaines est environ de 4 chez les espèces non remontantes. Le ray-grass d'Italie, remontant, épie à chaque cycle où il présente une évolution identique à celle du premier cycle, avec cependant une part plus importante occupée par les limbes.

Chez les fabacées (légumineuses), au cours d'un cycle donné, la proportion de feuilles diminue moins vite que chez les poacées. Au cours des cycles successifs, la part des feuilles s'accroît. Les inflorescences ont une importance moindre, comparativement aux poacées.

Dans le cas du maïs fourrage, l'épi occupe une place très importante en fin de végétation et le grain représente alors la moitié de la matière sèche produite par la plante entière.

- Les fourrages verts ont différentes origines qui jouent des rôles complémentaires dans l'alimentation des troupeaux :
- les surfaces toujours en herbe (prairies semées depuis six à dix ans, prairies naturelles ou semées depuis plus de dix ans et surfaces peu productives comme les landes ou les alpages) ;
 - les prairies temporaires (mélanges de poacées et associations de poacées-fabacées) ;
 - les prairies artificielles (prairies de moins de cinq ans) qui comprennent essentiellement la luzerne et le trèfle ;
 - les fourrages annuels (maïs fourrage principalement).

2.1.2. La composition histologique

Une plante est constituée par différents tissus possédant des valeurs alimentaires différentes.

LES PARENCHYMES sont des tissus peu différenciés dont les cellules présentent une paroi primaire mince. Le cytoplasme renferme des éléments facilement utilisables. Ce type de tissu est présent en grande quantité dans les feuilles.

LES TISSUS DE SOUTIEN, OU SCLÉRENCHYMES, sont des tissus spécialisés constitués de cellules à parois épaisses : ils assurent le maintien du végétal. Lors du vieillissement de la plante, les parois cellulaires s'épaissent et s'imprègnent de lignine, le contenu cellulaire disparaît peu à peu, les parois occupent alors de plus en plus d'importance, surtout dans les tiges, et sont responsables de la diminution de la digestibilité de la matière organique.

LES TISSUS CONDUCTEURS possèdent des parois épaisses imprégnées de lignine. Comparativement à la feuille, la tige comprend une forte proportion de tissus de soutien et de vaisseaux conducteurs, et elle contient peu de parenchyme.

LES TISSUS DE PROTECTION sont présents à la surface de la plante où ils forment un revêtement imperméable et résistant : la cuticule. Elle recouvre et protège l'épiderme.

En conclusion, la feuille est la partie la plus intéressante du fourrage. Elle contient en grande quantité des constituants intracellulaires très digestibles, possédant une excellente valeur nutritionnelle, assez constante dans le temps. Les jeunes tiges présentent également une bonne valeur nutritionnelle, mais leur vieillissement s'accompagne d'une lignification responsable de la dégradation de leur digestibilité. Un fourrage présente un intérêt alimentaire d'autant plus grand qu'il est plus jeune et plus feuillu.

2.2. Les modes de conservation des fourrages

Quel que soit le mode de conservation, la valeur alimentaire du fourrage conservé est inférieure ou égale à celle du fourrage vert.

2.2.1. La conservation par voie sèche

Une humidité maximale de 16% est souhaitable pour assurer la stabilité d'une masse d'aliments stockés.

► Le fanage

Les pertes hydriques de l'herbe coupée sont réalisées traditionnellement grâce à l'action des facteurs naturels de dessiccation : la chaleur, l'ensoleillement et le vent. La qualité du foin est soumise à différents facteurs de variation :

- la qualité de la plante coupée ;
- les conditions météorologiques et les techniques de fenaison, qui entraînent des pertes de matière organique variables mais généralement importantes.

Fanage mécanisé



Malgré les améliorations introduites dans les techniques de fenaison, la récolte des foin demande la succession de plusieurs jours favorables. Cette contrainte ne permet pas toujours de réaliser des objectifs d'intensification fourragère, comme la nécessité de récolter très tôt le maximum de fourrages.

Les pertes interviennent :

- au cours du préfanage, la plante coupée continue à respirer et gaspille ainsi ses constituants glucidiques solubles jusqu'à sa mort, qui intervient à une humidité proche de 30 à 35% ;
- au cours du fanage. Les feuilles sont séparées des tiges lors des manipulations de fanage et de récolte. Les fabacées (légumineuses) perdent leurs feuilles plus facilement que les poacées (graminées) ;
- au sol. Les composants cytoplasmiques solubles peuvent être lessivés, sous l'action de la pluie, sur un fourrage déjà mort ;
- au cours du stockage. Les agents fermentaires utilisent les composants solubles, notamment les glucides, et appauvrissent donc l'aliment. Des moisissures peuvent se développer.

Afin de limiter ces pertes, on essaie d'accélérer la dessiccation en lacérant les tiges ou les gaines à l'aide de conditionneurs ; on peut également engranger un fourrage préfané à 50-55% de matière sèche, à condition de compléter la dessiccation par une ventilation en grange d'un air à température ambiante ou d'un air réchauffé.

L'injection de substances antifongiques, acide propionique ou ammoniac, dans la masse d'un fourrage insuffisamment sec, permet de stabiliser la récolte.

► La déshydratation

Cette technique est appliquée à d'excellents fourrages, en particulier la luzerne, et à des aliments très aqueux comme les pulpes de betteraves.

Le fourrage vert est haché puis desséché rapidement en le soumettant à de fortes températures (près de 100 °C), pendant un temps variant de trente secondes à trois minutes. Après la déshydratation, le produit est soumis à la granulation. Ce conditionnement permet de limiter les pertes et facilite la manutention et le stockage.

Compte tenu de la dépense énergétique, cette technique est coûteuse mais elle est séduisante, car elle permet de s'affranchir des conditions météorologiques. Elle s'applique très bien aux fabacées, car elle permet de conserver la qualité originelle du fourrage vert, notamment en conservant la majorité des feuilles.

La déshydratation correctement réalisée n'affecte pas la composition chimique du produit et limite les pertes qui interviennent entre le champ et l'animal. Le chauffage entraîne une réduction de la digestibilité de la matière organique et notamment des protéines.

Le broyage provoque :

- une meilleure accessibilité des matières organiques aux enzymes digestives et bactériennes ;
- une réduction du temps de mastication, de l'insalivation et une augmentation de la vitesse de transit des matières dans le tube digestif, surtout chez le ruminant ;
- une réduction du temps d'action des enzymes digestives, donc une baisse de la digestibilité des matières organiques ;
- une hausse parfois importante du niveau d'ingestion des fourrages déshydratés.

2.2.2. La conservation par voie humide

► Les fermentations

L'ensilage et l'enrubannage sont des méthodes de conservation qui mettent en œuvre la fermentation des glucides solubles par des bactéries anaérobies, notamment les bactéries lactiques.

L'acide lactique élaboré fait baisser le pH, ce qui inhibe tout autre développement bactérien et assure ainsi la stabilisation de l'aliment ; la bonne conservation est assurée lorsque le pH ultime prend une valeur inférieure ou égale à 4.

Après la réalisation du tas, l'oxygène résiduel dans la masse entretient la respiration des plantes ; l'oxydation des glucides solubles libère du gaz carbonique, de l'eau et de la chaleur. Parallèlement, les protéases dégradent les protéines en acides aminés qui peuvent ensuite être dégradés en ammoniac. Des bactéries coliformes aérobies transforment les glucides solubles en acide acétique. Pendant cette première phase aérobie, on assiste donc à des pertes de matière organique.

L'épuisement progressif en oxygène permet l'installation de la flore anaérobie. Les bactéries lactiques apportées par les plantes transforment les glucides solubles en acide lactique et provoquent la chute du pH. Si la production d'acide lactique est insuffisante, ou si l'humidité des plantes est excessive, une population sporulée se développe, dégrade l'acide lactique en acide butyrique et provoque une protéolyse importante ainsi qu'une remontée du pH, compromettant ainsi la conservation.



Chantier d'ensilage d'herbe

► La réalisation de l'ensilage

La réalisation d'un excellent ensilage est subordonnée à l'installation précoce, rapide et intense de l'acidité lactique. Cela se déroule spontanément lorsque les conditions suivantes sont réunies.

UNE BONNE ANAÉROBIOSE doit s'instaurer le plus rapidement possible. Pour cela :

- le fort tassement de l'aliment dans le silo limite la phase aérobie. Ce tassement est facilité par le hachage du fourrage ;
- l'étanchéité des parois et de la couverture du silo s'opposent à la pénétration d'air dans l'ensilage.

LE PH DE LA MASSE ENSILÉE doit être abaissé le plus vite possible. Pour cela :

- l'aliment doit contenir une quantité suffisante de sucres solubles, utilisables par la flore lactique. La matière sèche de la plante doit contenir au moins 12% de sucres pour alimenter correctement les fermentations. Le hachage accélère d'ailleurs la dégradation des constituants solubles par la flore lactique ;
- les végétaux ensilés doivent permettre une baisse rapide du pH ; ils ne doivent donc pas présenter de fort pouvoir tampon. Le pouvoir tampon est dû à certains sels minéraux et aux protéines. Ces substances s'opposent aux variations brutales d'acidité. De telles substances existent en plus grande quantité dans les fabacées (légumineuses) que dans les poacées (graminées) fourragères ; le maïs en renferme peu.

L'ENSILAGE ne doit pas être contaminé par des spores de *clostridia* présentes dans la terre. La souillure du silo par la terre est responsable du développement de la flore butyrique putréfiante.

Des opérations complémentaires permettent d'installer rapidement une forte acidité et de limiter les fermentations butyriques :

- le préfanage des fourrages verts et le surpressage des pulpes limitent les pertes par jus et s'opposent au développement de la flore butyrique. Le tassement du silo est rendu plus difficile lorsque le fourrage est très asséché ;
- l'addition de pulpes, de céréales broyées, de mélasse apporte des sucres à des aliments insuffisamment pourvus ;
- l'incorporation de ferments lactiques complète l'opération précédente ;
- l'addition d'acides organiques, d'acide formique en particulier, instaure une acidification immédiate.

► La qualité des ensilages

Malgré les précautions prises lors des différentes opérations des pertes interviennent, d'une part pendant la phase aérobie au cours de laquelle des sucres et des protéines disparaissent, d'autre part pendant la phase anaérobie au cours de laquelle des gaz et des liquides s'échappent : CO_2 , H_2 , NH_3 et jus chargés de substances solubles. Des pertes interviennent également dans les zones périphériques du silo où l'étanchéité est imparfaite.

Pour apprécier la qualité de conservation des ensilages, on utilise un barème proposé par le laboratoire des aliments de l'INRA, fondé sur l'importance des produits indésirables élaborés, acide acétique, acide butyrique, ammoniac et azote soluble (cf. tab. 2.4).

Tableau 2.4. Barème d'appréciation de la qualité des ensilages

Classe	Acide acétique	Acide butyrique	N-NH ₃ (% N Total)			N soluble (% N total)
	(g/kg MS)		Maïs	Lucerne	Autres plantes	
Excellent	< 20	0	< 5	< 8	< 7	< 50
Bon	20-40	< 5	5-10	8-12	7-10	50-60
Médiocre	40-55	> 5	10-15	12-15	10-15	60-70
Mauvais	55-75	> 5	15-20	16-20	15-20	> 65
Très mauvais	> 75	> 5	> 20	> 20	> 20	> 75

(d'après Prévion de la valeur nutritive des aliments des ruminants, Demarquilly C., INRA, 1984)

Le pH n'est pas retenu dans ce barème, car la valeur du pH dit de stabilité varie selon la teneur en matière sèche de l'ensilage. Ce pH de stabilité augmente avec la teneur en matière sèche, ses principales valeurs sont les suivantes.

MS (%)	pH
15-20	< 4
20-25	< 4,2
25-30	< 4,4
30-35	< 4,6
35-40	< 4,8

Ainsi, un ensilage dont la teneur en matière sèche est de 21% et le pH de 4,1 peut être qualifié de stable; un ensilage à 16% de matière sèche dont le pH est de 4,1 est instable: il présente des risques de reprise de fermentations aérobies néfastes à une bonne qualité de l'aliment.

► L'enrubannage

Cette technique consiste à conserver de l'herbe sous forme de balles rondes dans un film plastique étanche. Cette herbe est fauchée, fanée et pressée en balles rondes. Chaque balle ronde est entourée de plusieurs couches de film plastique étiré. L'herbe subit alors des fermentations. Ce fourrage est produit à partir de fabacées et/ou de poacées.

La qualité du fourrage dépend :

- de la teneur en matière sèche (l'idéal se situant entre 56 et 60%);
- des conditions climatiques (éviter le temps pluvieux après la coupe pour que le fourrage sèche convenablement);
- des espèces végétales (une fétuque sèche plus vite qu'un ray-grass).

Une fois la balle ouverte, le fourrage doit être consommé dans les deux à quatre jours (deux jours en été, trois à quatre en hiver).

En bref...

Les fourrages sont constitués par l'appareil aérien des plantes fourragères; en France, ils constituent la base de l'alimentation des herbivores. On distingue, selon le mode de conservation et la teneur en matière sèche :

- les fourrages verts, feuilles et tiges de poacées (graminées) et fabacées (légumineuses), contenant 15 à 30% de matière sèche;
- les ensilages issus d'une conservation par voie humide mettant en œuvre des fermentations; leur teneur en matière sèche varie de 15 à 40% selon l'importance de la déshydratation partielle due au préfanage, qui est de 25 à 30% pour l'ensilage de maïs plante entière;
- les foin, résultant d'une déshydratation naturelle et éventuellement favorisée par la ventilation en grange; leur teneur en matière sèche est de 85 à 90%;
- les fourrages déshydratés artificiellement (90 à 95% de matière sèche) à haute température; ce sont principalement la luzerne et les pulpes de betteraves.

La qualité d'un fourrage dépend de l'importance de ses constituants intéressants (feuilles et grains) et du degré de lignification des tissus. L'âge ou le stade végétatif sont les principaux facteurs de variation de la valeur alimentaire de la plante. D'autres facteurs sont importants à considérer: les conditions de récolte et de conservation, le conditionnement du fourrage peuvent également en modifier la valeur.

3. Les racines et tubercules et leurs coproduits

Les racines et tubercules résultent de l'accumulation de réserves glucidiques dans les parties souterraines des végétaux : racines de betterave, de carotte, de navet, de rutabaga et de manioc, tubercules de pomme de terre et de topinambour.

Les racines et les tubercules sont caractérisés par leur richesse en eau : 75% pour la pomme de terre, de 80 à 88% pour les betteraves fourragères.

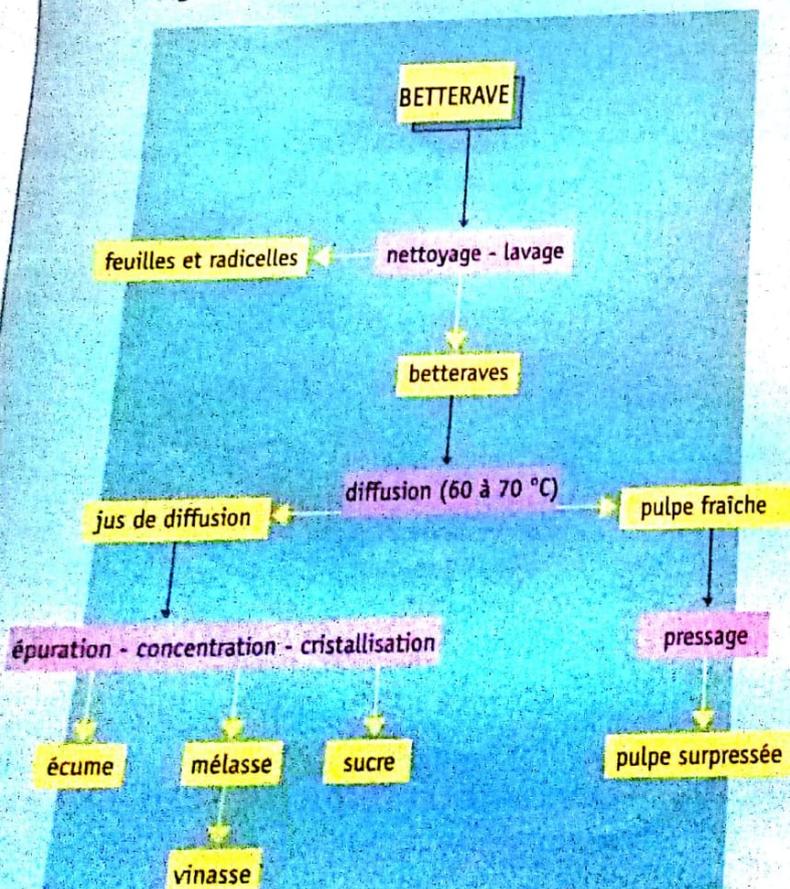
Les cellules renferment des réserves glucidiques et possèdent des parois peu ou pas lignifiées. Le manioc et la pomme de terre contiennent de l'amidon, qui constitue de deux tiers à trois quarts de leur matière sèche. Les navets, les rutabagas, les topinambours, les betteraves fourragères ou demi-sucrières contiennent des glucides solubles, qui constituent de la moitié aux trois quarts de leur matière sèche. Les rutabagas et les navets contiennent des substances volatiles qui communiquent un goût au lait lorsqu'ils sont distribués à l'approche de la traite.

Les racines et les tubercules sont pauvres en matières azotées et celles-ci contiennent peu de protéines. Ces aliments aqueux très ingestibles et très digestibles sont intéressants pour leur apport énergétique.

Les principaux coproduits possèdent les mêmes caractéristiques générales que les matières premières ; les feuilles et parties aériennes sont plus riches en matières azotées et en parois cellulaires que les racines ou tubercules correspondants.

La betterave sucrière laisse deux coproduits : la pulpe et la mélasse (cf. fig. 2.3)

Figure 2.3. Schéma général de la fabrication du sucre



Malgré leur faible teneur en glucides solubles (7 % de la matière sèche), les pulpes possèdent une bonne valeur énergétique car les parois (cellulose et hémicelluloses) de leurs cellules sont très digestibles. Elles sont également riches en acides aminés indispensables, en particulier en lysine et en thréonine.

La pulpe surpressée, obtenue après extraction du sucre par diffusion, est conservée en silo sous forme d'ensilage, en milieu anaérobie. À la différence du maïs, l'ensilage est réalisé à température élevée (45 à 50 °C); ceci facilite les fermentations des sucres solubles par les micro-organismes. L'ajout de sel permet d'améliorer la conservation.

Cette pulpe surpressée (cf. tab. 2.5) peut aussi être déshydratée en pulpe sèche (88 à 90 % de matière sèche) et distribuée sous forme de granulés.

Tableau 2.5. Valeur nutritionnelle de la pulpe sèche de betterave (par kilo)

UFL	UFV	PDIR	PDIN	PDIE
0,89	0,87	37	59	97

(Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage, Saubant D. et al., INRA, 2004)

La mélasse est un produit sirupeux dont la matière sèche contient encore 60 % de sucres, ce qui lui confère une bonne valeur énergétique (cf. tab. 2.6). Elle est extraite des sucreries utilisant la betterave ou la canne à sucre comme matière première.

Tableau 2.6. Valeur nutritionnelle de la mélasse (par kilo brut)

	UFL	UFV	PDIR	PDIN	PDIE	UFC
Betterave	0,75	0,75	0	63	54	0,89
Canne	0,63	0,62	0	23	46	0,88

(ibid., INRA, 2004)

Après fermentation de mélasse en vue d'obtenir des produits nobles (levure de boulangerie, acides citrique et glutamique, alcool éthylique, lysine, etc.) on obtient de la vinasse de mélasse. Elle est très riche en matière azotée et peut être incorporée directement dans les pulpes surpressées à la sucrerie ou à la distillerie, à la dose de 3 à 4% du produit brut. Ceci favorise le démarrage des fermentations lactiques.

4. Les aliments concentrés

Base de l'alimentation des monogastriques, les aliments concentrés sont caractérisés par une teneur élevée de leur matière sèche en énergie utilisable par l'animal, et pour certains, comme les graines protéagineuses et les tourteaux, par leur richesse en matières azotées. On distingue :

- des aliments concentrés simples tels que les grains des céréales, les graines oléagineuses ou protéagineuses ;
- des aliments concentrés composés. Leur fabrication se réalise après mouture puis mélange d'aliments simples. Ils peuvent parfois contenir des fourrages broyés. Ils sont présentés sous des formes diverses : poudre, granulés ou miettes.

4.1. Les céréales et leurs coproduits

Elles représentent la principale matière première des aliments composés et, par conséquent, l'aliment principal des monogastriques. Elles constituent un complément énergétique pour les ruminants.

4.1.1. La morphologie des céréales

Le grain des céréales est un caryopse nu ou vêtu de ses glumelles. Le blé, le maïs, le sorgho, le seigle et le triticale appartiennent au premier groupe ; l'orge et l'avoine font partie du second. L'albumen est le constituant principal du grain des céréales.

Les grains nus possèdent les meilleures valeurs énergétiques, ils ont une proportion faible d'enveloppes et possèdent une forte proportion d'albumen.

4.1.2. Les constituants chimiques

Les grains des céréales sont récoltés à une teneur élevée en matière sèche, sauf dans certains cas particuliers de récolte et de conservation de grains humides, maïs par exemple.

4.1.4. Les coproduits de la filière céréales

Ils proviennent essentiellement de la transformation du blé de meunerie, du maïs d'amidonnerie et de l'orge de brasserie.

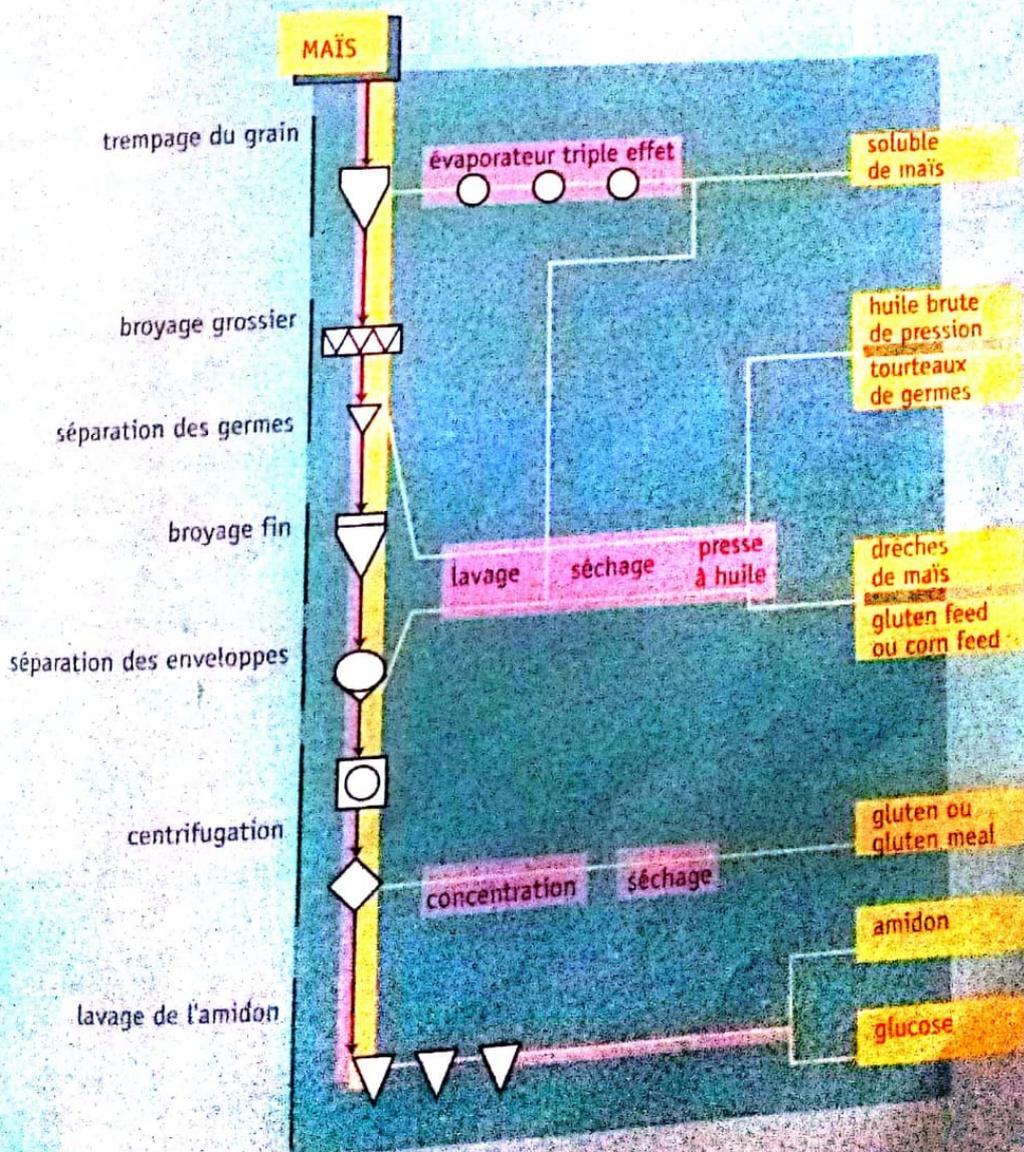
Les issues de blé

Les farines de blé panifiables sont obtenues après broyage puis tamisages successifs, c'est-à-dire séparation des enveloppes de l'albumen des grains. Les différents sous-produits représentent 20 à 25% de la masse traitée, selon la pureté de la farine; ils peuvent être classés en fonction de leur teneur croissante en parois cellulaires, ou de leur teneur décroissante en amidon, en farines basses, remoulages blancs et bis, sons fins et gros. Les résidus pris dans cet ordre présentent des particules de plus en plus grossières. L'assise protéique du grain reste adhérente aux enveloppes, ce qui explique la valeur azotée correcte des issues de meunerie.

Les coproduits du maïs

La mouture sèche du grain aboutit à la production de deux résidus : le germe et les enveloppes (cf. fig. 2.4).

Figure 2.4. Schéma général de l'amidonnerie du maïs par voie humide



- En amidonnerie, la mouture du grain préalablement trempé fournit d'autres résidus :
- les eaux de trempage se chargent de substances solubles et fournissent, après déshydratation, les **solubles de maïs**;
 - les germes, susceptibles de produire des tourteaux;
 - le **gluten feed** est un mélange en proportions variables de solubles, de drèches et éventuellement de tourteaux de germes;
 - le **gluten**, ou **gluten meal** est une protéine insoluble extraite après séparation de l'assise protéique de l'albumen.

Les différents sous-produits du maïs sont généralement riches en matières azotées, dont la qualité limitée des protéines incite à les distribuer plutôt aux ruminants.

Les coproduits de malterie et de brasserie

L'orge germée, ou malt, est la céréale la plus utilisée pour la fabrication de la bière en brasserie. Les drèches et les radicelles sont les résidus de ces industries.

Les drèches fraîches sont riches en eau et ont une bonne teneur en matières azotées due à la présence des enveloppes et à un enrichissement par des levures ayant proliféré à partir du malt. Les drèches sont commercialisées fraîches (stockage limité à sept jours) ou déshydratées.

4.2. Les graines protéagineuses et oléagineuses

4.2.1. Les protéagineux

Les graines protéagineuses sont produites par des fabacées (légumineuses) : féverole, pois, lupin, vesce, haricot. Leur utilisation est due à leur richesse en protéines bien pourvues en lysine et déficitaires en acides aminés sulfurés. Ces graines contiennent également en proportions variables des matières grasses, de l'amidon et des glucides pariétaux généralement bien digérés. Leur valeur énergétique est bonne. Leur incorporation dans les régimes est limitée pour des raisons physiques (difficulté de granulation) ou nutritionnelles (présence d'alcaloïdes).

4.2.2. Les oléagineux

Les graines de soja, colza et tournesol sont des graines oléagineuses caractérisées par leur richesse en matières grasses, située entre 20 et 45% du produit brut. Elles allient une forte valeur énergétique à une bonne valeur protéique, d'où leur appellation d'oléoprotéagineux.

Leur utilisation est freinée par l'importance de la coque entourant la graine ou par l'existence de substances nocives. Des traitements technologiques permettent de réduire ces handicaps. Le dépelliculage permet de séparer les enveloppes. Les traitements hydrothermiques ont un double effet : ils détruisent les substances nocives d'une part et ils améliorent la qualité de la fraction protéique d'autre part. Les protéines des graines traitées sont moins dégradables par la flore microbienne et mieux digérées sous l'action des enzymes digestives.

4.3. Les tourteaux

Les tourteaux sont des coproduits d'huilerie, issus de l'extraction de l'huile des graines ou des fruits oléoprotéagineux, caractérisés par leur richesse en énergie et en matières azotées.

La teneur des tourteaux en protéines est comprise entre 30 et 50% du produit brut. La composition de ces protéines diffère selon l'origine des tourteaux. On trouve notamment des tourteaux d'arachide, de colza, de lin, de soja, de tournesol et de germes de maïs.

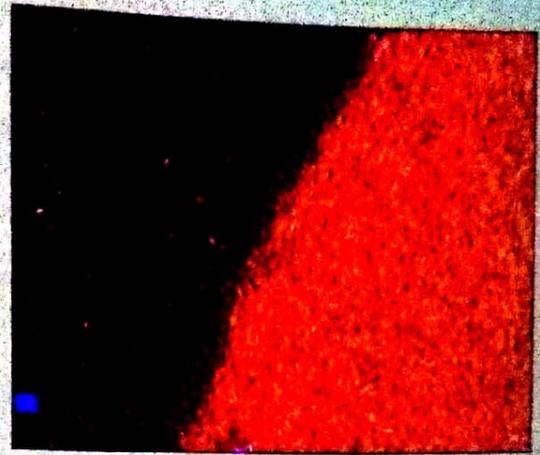
Par exemple, les tourteaux de soja sont riches en lysine alors que ceux de colza sont plus riches en méthionine.

L'extraction de l'huile est réalisée selon deux procédés différents.

UNE PRESSION CONTINUE À CHAUD DANS UNE PRESSE À FILIÈRE. Le résidu obtenu est le tourteau *expeller*; il contient encore 5 à 10% de matières grasses, ce qui induit une bonne valeur énergétique.

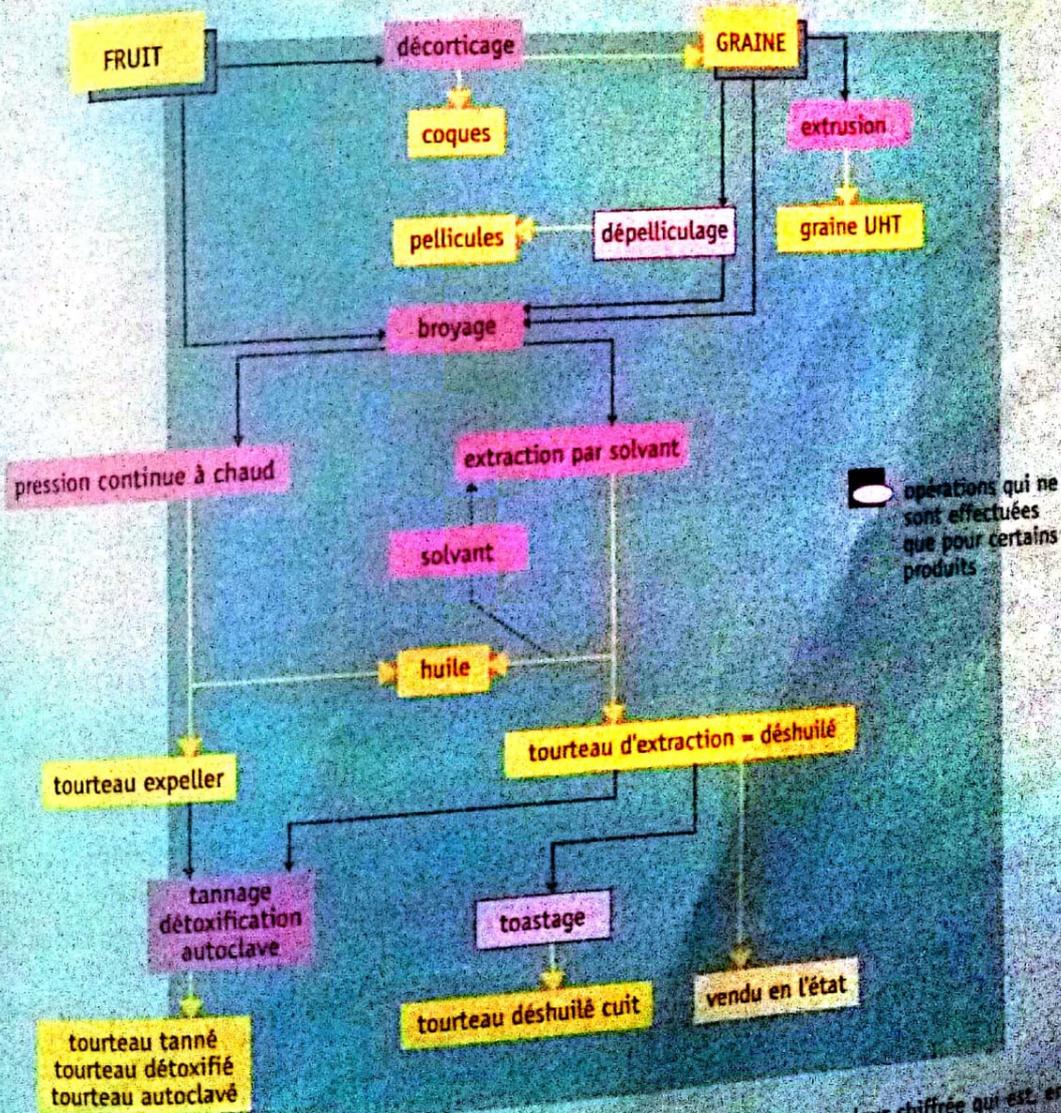
UNE EXTRACTION CHIMIQUE DES MATIÈRES GRASSES PAR UN SOLVANT. Le tourteau obtenu est dit *déshuillé*; il contient moins de 4% de matières grasses. Il est moins énergétique, mais plus riche en matières azotées que le tourteau *expeller*.

- Certaines opérations permettent d'améliorer encore la valeur alimentaire des tourteaux (cf. fig. 2.5) :
- le décortiquage et le dépelliculage des graines séparent respectivement la coque et les enveloppes riches en glucides pariétaux ;
 - l'addition de substances chimiques, comme le formol, obéit à deux préoccupations :
 - inactiver des substances toxiques, comme l'aflatoxine élaborée par des champignons qui se développent au sein des tourteaux, notamment celui d'arachide,
 - tanner, c'est-à-dire protéger les protéines de la dégradation microbienne qui intervient dans la panse des ruminants. Ce traitement chimique s'applique préférentiellement aux tourteaux « nobles », bien pourvus en protéines d'excellente qualité, notamment les tourteaux de colza et de soja ;
 - la cuisson par la vapeur d'eau sous pression permet également d'accroître la résistance des protéines à la dégradation microbienne ; elle supprime également des composés antitrypsiques contenus dans la graine crue du soja.



Colza dépelliculé

Figure 2.5. Schéma général des technologies appliquées aux tourteaux



Un tourteau est caractérisé par la technologie qui lui est appliquée et/ou par une valeur chiffrée qui est, en général, la somme de sa teneur en matières azotées totales et en matières grasses. Les différentes valeurs rencontrées pour un même type de produit résultent d'une incorporation plus ou moins importante des enveloppes des graines. Cette incorporation est pratiquée pour le tourteau de soja, car la graine comporte des enveloppes peu lignifiées et facilement digérées.

4.4. Les aliments d'origine animale

4.4.1. Les farines animales

Depuis novembre 2000, et suite aux crises de l'ESB en France, les farines animales ont été interdites dans l'alimentation des monogastriques et des ruminants (cf. chap. 1). Les seules farines d'origine animale autorisées à ce jour, en 2004, sont les farines de poisson, incorporées en faible quantité dans des aliments destinés aux poissons d'élevage.

Les matières premières de ces farines sont issues principalement de la pêche industrielle. Les poissons marins tels que le capelan et la sardine sont pêchés spécifiquement pour l'obtention de farine et d'hydrolysats de poisson.

Ces farines, comme tous les aliments d'origine animale, sont très riches en protéines bien équilibrées en acides aminés et sont bien pourvues en minéraux.

Ces différentes matières premières de poisson sont très fragiles, leur stabilisation est obligatoire.

Elle est réalisée par une cuisson des poissons à 100 °C pendant trente minutes puis une dessiccation à haute température, mais le chauffage peut altérer les protéines. Au cours du traitement des farines, un pressage élimine une partie de l'eau et surtout des matières grasses. La délipidation améliore la conservation du produit sec, mais les graisses résiduelles font cependant l'objet d'une protection par des antioxydants afin de limiter leur rancissement. La fraction protéique est alors séchée, broyée puis tamisée pour obtenir la farine.

L'hydrolysats de poisson est riche en phosphore et en calcium. Il est obtenu par l'hydrolyse, à l'aide de protéases végétales, de poissons invendus ou de déchets de pêche.

4.4.2. Les coproduits de la filière lait

Les produits et coproduits laitiers, liquides et très riches en eau, sont instables. Ils sont également commercialisés sous forme préconcentrée ou sèche. Obtenus après prélèvement des matières grasses du lait et de la crème, le lait écrémé et le babeurre sont riches en matières azotées.

Composition moyenne type du babeurre

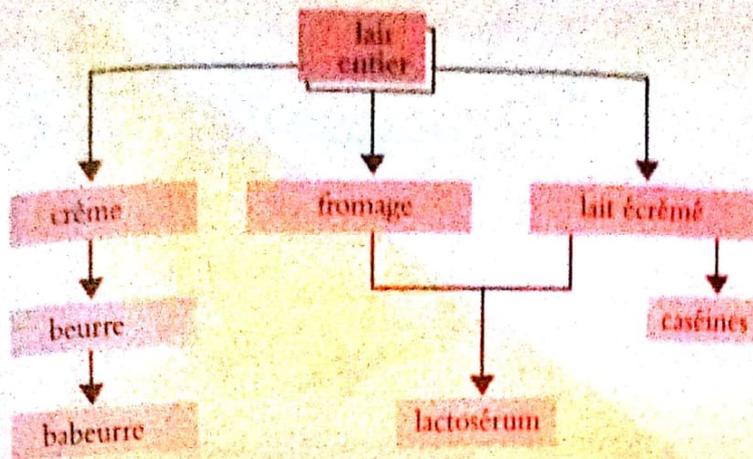
matière sèche totale	72,5 g/l
matières grasses	7 g/l
matières azotées	24,5 g/l
lactose	35 g/l
minéraux	6 g/l

Les lactosérums sont les résidus de la coagulation des protéines du lait lors de la fabrication fromagère. C'est ce que l'on nomme également le petit-lait. Ces lactosérums sont riches en albumines (contenant des acides aminés indispensables) solubles. Ces protéines franchissent la caillette sans coaguler, ce qui rend les acides aminés rapidement disponibles.

Le lactosérum et le babeurre sont souvent commercialisés sous forme de poudre obtenue après séchage. Ce dernier s'effectue en deux étapes (cf. fig. 2.6) :

- la concentration par voie thermique, jusqu'à 55-60% de matière sèche ;
- le séchage sur tour d'atomisation.

Figure 2.6. Fabrication des lactosérums



Il existe plusieurs types de lactosérum :

- le lactosérum doux de fromagerie issu de la fabrication des pâtes pressées et des pâtes molles (où le caillage est facilité par l'emprésurage) ;
- le lactosérum acide de fromagerie (fromages frais) et de caséinerie.

Ce sont des produits énergétiques, qui contiennent une quantité variable de lactose, une quantité faible de matières grasses et de matières azotées non coagulées par la technologie fromagère (cf. tab. 2.7). Les produits secs sont très hygroscopiques ; leur introduction dans un aliment composé granulé est un facteur de dureté des granulés.

Ils peuvent aussi être consommés :

- en buvée dans un bac ou dans l'abreuvoir ;
- par aspersion de fourrage, ce qui permet d'augmenter les niveaux d'ingestion de ce fourrage. Dans les ensilages, ils apportent de l'énergie et améliorent la conservation.

Tableau 2.7. Caractéristiques analytiques du lait et du lactosérum (en g/kg)

	Matière sèche	Matières grasses «hydrolysée»	Lactose	Protéines brutes	Lysine	Méthionine + cystine	Tryptophane	Threonine	Cendres brutes
Lait écrémé sec	947	1,6	478	341	26,8	12,4	4,4	14,9	82
Lactosérum écrémé doux	964	21	729	126	9,4	4,2	1,6	7,2	87

(ibid., INRA, 2004)

4.5. Les matières grasses

L'incorporation de matières grasses dans les aliments destinés aux animaux permet d'élever la concentration énergétique du régime et d'apporter des acides gras, dont certains ne sont pas synthétisés par l'organisme : ce sont les acides gras essentiels.

L'adjonction de matières grasses est couramment effectuée dans les aliments d'allaitement, dans les aliments pour volailles, et parfois dans les aliments destinés aux femelles en lactation.

Les matières grasses ont des propriétés lubrifiantes recherchées sur le plan technique pour la fabrication des aliments composés. Elles permettent notamment de réduire le coût énergétique et l'usure du matériel (car elles améliorent le rendement des presses lors de l'agglomération des aliments).

On utilise des matières grasses d'origine animale ou végétale. L'origine importe moins que le degré de saturation des acides gras constitutifs. Les matières grasses riches en acides gras insaturés ont un point de fusion faible; elles présentent un aspect mou et risquent de s'oxyder, donc de rancir. Elles doivent être protégées par enrobage ou par des substances antioxydantes.

Les matières grasses riches en acides gras saturés, comme le suif, doivent être chauffées pour être fluidifiées et incorporées dans les aliments d'une façon homogène.

Les graisses animales sont généralement moins insaturées que les huiles végétales. Les ruminants produisent des graisses saturées, car il y a hydrogénation des acides gras insaturés dans le rumen, sauf lorsque ceux-ci sont protégés. Les matières grasses insaturées sont généralement mieux digérées que les graisses saturées.

L'interdiction d'utilisation de la majorité des graisses animales dans l'alimentation de toutes les espèces animales et leur remplacement par des huiles végétales, le plus souvent insaturées, posent des problèmes technologiques – plus grande friabilité des granulés – et peut se traduire par des défauts de présentation des carcasses et une moins bonne conservation des produits animaux, plus sensibles à l'oxydation.

4.6. Les organismes unicellulaires et les algues

Les organismes unicellulaires et les algues se caractérisent par leur richesse en matières azotées comportant des protéines de bonne qualité. Parmi les organismes unicellulaires, on rencontre :

- les levures de récupération, issues des brasseries et distilleries, qui présentent une composition hétérogène car elles contiennent divers résidus;
- les levures et les bactéries, cultivées en fermenteurs sur divers substrats, qui présentent une composition très régulière.

Les algues ont une diversité de composition encore plus grande que celle des levures et des bactéries; elles sont riches en pigments et en constituants pariétaux.

4.7. Les traitements physiques particuliers appliqués aux aliments concentrés

Les différents traitements physiques visent deux objectifs principaux :

- rendre le contenu intracellulaire plus accessible aux enzymes; cet aspect est important pour les animaux à digestion rapide comme les volailles;
- améliorer la qualité hygiénique de l'aliment en détruisant des substances nocives et thermolabiles, et en assainissant la matière première.

Ils combinent les actions de l'eau et de la chaleur, appliquées pendant des durées variables.

La chaleur sèche

LA MICRONISATION

La matière première est soumise pendant une minute environ à un rayonnement infrarouge émis par des tuiles ou des carreaux de céramiques chauffés. La température s'élève rapidement à 180-220 °C et la pression s'élève à l'intérieur des aliments.

LA MICRO-ONDISATION

La cuisson s'opère dans un four à micro-ondes. La matière première est soumise pendant une minute environ à un champ électrique alternatif à fréquence élevée. Les changements successifs d'orientation des molécules provoquent l'échauffement du produit.

LA TORRÉFACTION

Les aliments entiers sont grillés pendant vingt secondes à une température de 110 à 120 °C.

La chaleur humide

LE TOASTAGE

Le produit est chauffé à 110-130 °C et il reçoit une injection de vapeur d'eau. Le traitement peut durer trente minutes.

LA GRANULATION

Après injection de vapeur d'eau, le produit est pressé à travers une filière. Il ressort sous forme de granulés ou de bouchons. Sous l'effet de la pression, la température

peut s'élever jusqu'à 100 °C. Selon la nature des matières premières incorporées, le conditionnement est plus ou moins durable. Un granulé délité donne naissance aux miettes.

LE FLOCCONNAGE DES CÉRÉALES

Les grains entiers reçoivent une injection de vapeur d'eau, qui porte leur température à 90 °C. L'aplatissage entre deux rouleaux désorganise la structure de la graine et gélatinise l'amidon. Les flocons sont ensuite séchés et refroidis.

L'expansion

Le produit gonfle sous l'action de l'élévation de la température et des variations brusques de pression.

L'extrusion

Un traitement mécanique, alliant la compression et le cisaillement dans une presse à filières, est associé à une élévation de la température à 150 °C pendant un temps inférieur à trente secondes. L'extrusion peut être réalisée à sec, ou bien avec hydratation.

L'extrusion des graines oléoprotéagineuses améliore la disponibilité des lipides et des protéines.

LE JET SPODER

Le produit est chauffé jusqu'à 150-180 °C par injection d'air sec. Les tissus gonflent et les cellules éclatent.

En bref...

Les aliments concentrés sont caractérisés par une teneur élevée de leur matière sèche en énergie et pour certains en matières azotées.

Les céréales et leurs coproduits représentent la principale composante des aliments composés. Ils sont riches en amidon, polysaccharide de réserve très digestible. Les matières azotées, qui ne représentent que 10% de la matière sèche, sont pauvres en acides aminés, notamment en lysine.

Les graines de protéagineux (féverole, pois, lupin) sont riches en protéines, alors que celles des oléagineux (soja, colza, tournesol) sont à la fois riches en matières grasses et en matières azotées, d'où leur appellation d'oléoprotéagineux.

Les tourteaux sont des coproduits provenant de l'extraction des huiles des graines ou fruits oléoprotéagineux.

Les farines de poisson, seules farines d'origine animale autorisées, sont des produits coûteux mais très riches en protéines bien pourvues en acides aminés. Elles sont utilisées en faible quantité dans les aliments destinés aux poissons.

5. Les autres coproduits

On désigne par coproduits toutes les matières premières issues de cultures végétales (pailles, etc.) ou de transformations agroalimentaires, qui sont susceptibles, de par leurs qualités alimentaires et hygiéniques dûment prouvées et reconnues, d'être valorisées en alimentation animale.

5.1. Les coproduits de cultures végétales

5.1.1. Les pailles

Les pailles, sous-produits de la récolte des grains des céréales, sont constituées essentiellement par des gaines, et en faible proportion par des limbes et des rachis.

La récolte intervenant à un stade où la dessiccation de la plante et la lignification des tissus de soutien sont importantes, les pailles sont caractérisées par leur forte teneur en parois lignifiées et leur faible teneur en matières azotées et en sucres.

Ce sont des fourrages pauvres et leur utilisation nécessite une complémentation énergétique, azotée, minérale et vitaminique. Pour améliorer la valeur du produit, on peut injecter de l'ammônac dans la masse d'une

meule de paille. Parfois utilisées comme appoint lors des pénuries fourragères, les pailles peuvent cependant constituer la base de l'alimentation d'animaux à besoins limités, ou apporter la fraction fibreuse de la ration d'animaux nourris avec des céréales, par exemple des taurillons recevant du blé aplati à volonté.

La valeur énergétique des pailles est très variable et dépend notamment de l'espèce des céréales (cf. tab. 2.8).

Tableau 2.8. Valeurs nutritives des pailles

	UFL /kg de MS	UFV /kg de MS	PDIA g/kg de MS	PDIN g/kg de MS	PDIE g/kg de MS	UFC /kg de MS	UEB /kg de MS
Blé	0,43	0,33	11	23	44	0,26	1,8
Avoine	0,50	0,39	10	20	48	0,36	1,7
Orge	0,44	0,33	12	24	46	0,40	1,8
Pailles traitées à l'ammoniac anhydre							
Blé	0,58	0,47	11	43	54	-	1,3
Orge	0,58	0,48	12	44	56	-	1,3

(Alimentation des bovins, ovins, caprins, Jarrige R., INRA, 1988
et Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage, Sauvant D. et al., INRA, 2004)

Le traitement à l'ammoniac anhydre (agent alcalin) :

- ne modifie pas la composition minérale de la paille (qui reste un aliment fortement carencé);
- diminue la proportion de parois totales grâce à une diminution de la teneur en hémicelluloses (il hydrolyse les liaisons chimiques lignine-hémicellulose et les liaisons au sein même des hémicelluloses), et augmente ainsi la digestibilité;
- augmente la teneur en matières azotées totales;
- augmente la valeur énergétique de 0,10 à 0,15 UFL;
- augmente l'ingestibilité en moyenne de 15 g/kg $P^{0,75}$ (soit environ 40% chez les ovins et bovins).

Le PDIN passe en moyenne de 22 à 43 et le PDIE de 45 à 55 g/kg de matière sèche.

L'efficacité du traitement varie en fonction de la dose employée, de l'humidité de la paille (l'humidité favorise les réactions), de la température (la chaleur augmente la vitesse de réaction) et de la durée du traitement. Celui-ci est réalisé en été, dès la récolte. On incorpore 30 à 50 kg d'ammoniac par tonne de paille.

Il faut cependant veiller au risque d'intoxication ammoniacale due à l'ingestion de paille trop riche en azote.

5.1.2. Les écarts de triage de fruits et légumes

Les fruits et légumes ne satisfaisant pas le cahier des charges de la commercialisation en alimentation humaine sont utilisés en frais ou après stockage. Citons :

- les pommes de retrait, lorsque la récolte est excédentaire;
- les coproduits de haricots verts de conserverie (les écarts de nettoyage et de triage tels que les feuilles, tiges, légumes non conformes et les déchets d'éboutage);
- les coproduits de petits pois de conserverie, constitués principalement des déchets de préparation (feuilles, tiges, gousses) et des écarts de triage (légumes non conformes);
- les racines d'endives après forçage.

5.2. Les coproduits issus des industries agroalimentaires

Outre les coproduits issus de la meunerie, de l'huilerie, des industries laitières et sucrières (cf. précédemment), on peut citer les coproduits issus de la conserverie des fruits et légumes :

- le marc de pomme provenant de la fabrication de jus de pomme ou de cidre;
- les pulpes d'agrumes, issues des industries transformatrices d'agrumes;

- la pulpe de tomate, résidu de tomates pressées dont on a extrait le jus ;
- le marc de raisin, résidu de la fabrication du vin, dont on a extrait le jus ;
- ou par lessivage (marc diffusion) ;
- les pépins secs de raisin, intéressants pour leur richesse en acides gras longs insaturés ;
- la pulpe de raisin, obtenue par épépinage du marc de raisin désalcoolisé. Elle est formée des peaux de raisin et de débris de pépins et de pédoncules ;
- les coproduits de l'industrie de la pomme de terre.

Les coproduits de l'industrie de la pomme de terre sont divisés en trois catégories (cf. tab. 2.9) :

- les écarts de triage (tubercules déformés ou sous-calibrés) ;
- les coproduits crus dont :
 - * la pulpe de féculerie récupérée après éplerrage, lavage et râpage des pommes de terre, consommée fraîche ou ensilée,
 - * les screenings (fausses coupes irrégulières ou tachées) obtenues lors du parage,
 - * l'amidon cru obtenu par centrifugation des eaux ;
- les coproduits cuits dont :
 - * la pelure vapeur issue du pelage à la vapeur des tubercules sous pression (8 à 21 bars),
 - * la purée-pelure, riche en amidon, récupérée en fin de chaîne de déshydratation (pour l'industrie des flocons pour purées).

Tableau 2.9. Valeur nutritionnelle moyenne des coproduits de la pomme de terre (par kilo brut)

	UFJ	UFV	PDIA	PDIN	PDIE
Pulpe de féculerie	0,65	0,58	13	30	52
Purée-pelure	0,18	0,17	8	15	20

(ibid., INRA, 2002)

Les pelures, les germes, les tubercules verdis et leur eau de cuisson contiennent un alcaloïde, la solanine, qui provoque des gastroentérites chez les animaux. La cuisson lessive la solanine et améliore l'utilisation digestive des constituants organiques. Les ruminants peuvent utiliser des tubercules crus. Les pommes de terre doivent être distribuées cuites aux monogastriques.

En bref...

Les pailles sont des aliments pauvres et leur utilisation nécessite une complémentation. Le traitement à l'ammoniac anhydre est fréquent.

Les coproduits issus des industries agroalimentaires sont très diversifiés et trouvent une valorisation dans l'alimentation animale. Leurs caractéristiques sont très hétérogènes et dépendent de la matière première d'origine et du traitement technologique qu'ils ont subi. Ils sont souvent déséquilibrés et ne rentrent dans la ration que comme compléments.