

# Le machinisme et les fourrages : efficacité, qualité et sécurité

F. Gaillard

**Les progrès apportés par l'équipement et les matériels agricoles ont permis aux éleveurs d'accompagner les mutations considérables traversées par le monde de l'élevage ces 50 dernières années. Le matériel de la chaîne de récolte des fourrages a notamment connu des évolutions importantes.**

## RÉSUMÉ

*La réduction de la main d'œuvre et l'agrandissement des exploitations ont nécessité pour les éleveurs d'accroître leur capacité de récolte et de conservation des fourrages, tout en améliorant la qualité du fourrage. Les innovations technologiques de la chaîne de récolte et conservation sont rappelées, les plus importantes étant les faucheuses à lamiers rotatifs (et l'accroissement de leur largeur de coupe grâce aux équipements hydrauliques), les ensileuses, les presses à balles rondes, l'enrubannage (et la mise au point de films plastiques appropriés) et les remorques mélangeuses. La mise au point des équipements, qui a parfois été l'objet de travaux de recherche conjoints, a également permis d'accroître la sécurité des utilisateurs tout en réduisant la pénibilité du travail.*

## MOTS CLÉS

Chantier de récolte, enrubannage, ensilage, évolution, fourrage, machinisme agricole.

## KEY-WORDS

Agricultural machinery, change in time, forage, harvesting operations, silage, wrapping.

## AUTEURS

Ingénieur CEMAGREF à la retraite ; gaillard.bordeaux@free.fr

Le monde agricole a subi de profondes mutations durant ces 60 dernières années. En effet, si l'on voit toujours autant d'animaux dans les prés, la présence humaine se fait pour sa part de moins en moins visible. Quelles sont les causes de cette évolution ? Le regroupement des exploitations avec du personnel réduit et l'accroissement de la taille des troupeaux pour des raisons économiques contribuent à l'augmentation des quantités de fourrage à récolter par chaque entité. L'éleveur veut aussi améliorer la qualité du fourrage produit. Pour cela, il doit récolter un fourrage jeune, donc tôt en saison pour la première coupe, avec des risques d'aléas climatiques élevés. De plus, il doit éviter les pertes à tous les stades de la chaîne fourragère. Quelles sont les réponses apportées par les industriels des agroéquipements au cours de cette période, non seulement pour permettre une efficacité supérieure mais aussi pour préserver et même améliorer la qualité globale du fourrage produit annuellement sur l'exploitation ? Quels ont été les acteurs et les moyens mis en œuvre pour l'étude et la diffusion des nouvelles techniques ?

La première partie de cet article rappelle l'évolution des contextes humains et industriels et souligne certains aspects de la diffusion des nouvelles techniques de récolte des fourrages en France. La seconde partie passe en revue un certain nombre de machines qui ont eu un rôle important dans l'évolution des techniques. Pour chacune d'elles, les points forts tant au niveau de l'efficacité qu'au niveau de l'impact sur la qualité fourragère sont abordés.

## 1. Répondre à de profondes mutations...

### ■ Le contexte humain

Le contexte économique des années 1960 à 1980 provoque plusieurs révolutions dans les fermes. Les jeunes qui constituent une main d'œuvre importante partent travailler en ville, attirés par un salaire supérieur et par des conditions de vie qui leur semblent meilleures. L'épouse trouve un travail à l'extérieur et ne peut plus aider, même ponctuellement, à la récolte des fourrages. Cette **réduction de main d'œuvre, alors que la taille des exploitations augmente, implique la mécanisation** du chargement, de la manutention et du stockage des petites balles par de multiples moyens, puis accélère l'introduction des presses à balles rondes. Les parents retraités sont de moins en moins disponibles sur les exploitations. Si leur aide était ponctuelle pour la récolte des fourrages, elle était primordiale dans l'étable entravée. Leur départ de la ferme va accélérer le passage des étables entravées aux stabulations libres, beaucoup moins gourmandes en main d'œuvre.

### ■ Le contexte industriel

L'utilisation de techniques industrielles modernes de fabrication, la maîtrise de l'hydraulique, de la qualité de l'acier et des différents métaux ont permis de **réaliser des agroéquipements fiables et de plus en plus performants**. L'augmentation fulgurante

des puissances motrices de ces 50 dernières années et les nouveaux équipements comme le relevage hydraulique, la prise de force et les circuits hydrauliques font le succès des **tracteurs**. Ils deviennent **source de puissance en plus de leur rôle premier de traction**. De nombreux constructeurs se lancent dans la mécanisation de la fenaison et sont un formidable foyer de réflexion.

**La transmission hydraulique** procure un rendement inférieur à la transmission mécanique. Cependant, la simplification de fabrication et la sécurité qu'elle fournit tant au niveau de la machine qu'au niveau humain la font préférer. Le pliage et le dépliage de machines de plus en plus larges pour un passage de la position route (2,5 m) à la position travail (10 m pour certaines et parfois plus), et inversement, deviennent de simples opérations sans risque d'accident car sans contact direct avec l'opérateur. Ainsi, **risques et pénibilité sont réduits**. Par ailleurs, l'étroitesse de certains chemins et la difficulté d'accès aux parcelles sont des contraintes de moins en moins fréquentes.

Le volet de la sécurité est largement pris en compte par les industriels dans les machines modernes. L'hydraulique y joue un rôle important en permettant un pilotage à distance. Les agriculteurs étaient le corps de métier avec le plus d'amputés (doigts, mains, bras...).

**Les plastiques** interviennent dans la construction de différents organes ou pièces. Ils jouent aussi un rôle essentiel pour les fourrages. Deux molécules plastiques sont largement utilisées : le polypropylène pour le liage des balles par ficelles ou filets, et le polyéthylène pour les bâches d'ensilage ou de stockage et les films étirables pour l'enrubannage (GAILLARD, 1992). Les industriels français mettent au point les films grâce à la contribution du CPA (Comité des Plastiques en Agriculture), du LNE (Laboratoire National d'Essais), du BNPP (Bureau de Normalisation Plastiques Plasturgie) et du Cemagref. Ce dernier a développé une "balle témoin" pour tester l'aptitude à l'usage des films étirables en place. Ces organismes ont aussi largement participé à la rédaction de normes de qualité et d'aptitudes à l'usage.

## ■ La diffusion de nouvelles technologies

La diffusion de nouvelles technologies peut se heurter à différents freins : freins techniques, freins économiques mais aussi freins liés à l'inertie des mentalités.

**En 1974 et 1976**, le BCMA (Bureau de Coordination du Machinisme Agricole), appuyé par les conseillers du machinisme et du Cemagref, organise à Balan dans l'Ain les premières **démonstrations importantes de presses à balles rondes (BR)** au milieu de presses moyenne densité à petites balles (MD). Si la récolte paraît performante, l'utilisation hivernale du fourrage ne semble pas évidente. Pour répondre à cette interrogation, des ingénieurs du BCMA, de l'ITCF et du Cemagref visitent des exploitations utilisatrices de balles rondes dans le centre de la France durant l'hiver 1976-1977. Le groupe constate une efficacité de la

distribution au moins égale à l'utilisation des petites balles MD. Sa conclusion est unanime : les éleveurs adopteront sans tarder cette technique. Ces visites sont le point départ des études de ces organismes sur les presses à balles rondes.

Simultanément, le Cemagref étudie **l'ensilage en balles rondes en sacs individuels ou en meules** (GAILLARD, 1981 et 1982) afin de répondre à la demande : comment réaliser son ensilage seul devant les difficultés rencontrées avec la récolte de l'herbe en ensilage ? En effet, il n'était pas rare de rencontrer des éleveurs qui n'avaient pas encore réalisé leur ensilage alors que le voisin faisait les foins !

**Au cours des années 80**, le Cemagref est contacté pour essayer et évaluer une nouvelle technique : **l'enrubannage** (GAILLARD, 1989). Dans l'esprit du concepteur, cet outil est accroché à l'arrière de la presse à balles rondes pour enrubanner les balles juste après le pressage. Un étirage insuffisant lié à la qualité d'étirabilité du film engendre une consommation de 2 kg de film par balle (même poids qu'un sac individuel). Si ces essais posent les grandes lignes de l'enrubannage, les études sont suspendues en attente d'une réduction sensible des quantités de film par balle. La nouvelle génération d'enrubanneuses apparaît au SIMA de 1987. Elles ne consomment plus que 800 g de film par balle. Un groupe d'éleveurs de moutons de Confolens (Charente) en visite au Cemagref à Montoldre trouve en cette technique la réponse à ses attentes. Devant l'intérêt marqué et afin de réunir les différents partenaires scientifiques et techniques, le Cemagref organise avec l'aide du BCMA une manifestation nationale à Montoldre (Allier) en 1989 combinant conférences et démonstrations. Elle est le point de départ d'**une recherche commune de plusieurs années** entre l'Institut National de la Recherche Agronomique, l'ITCF, l'Institut de l'Élevage et le Cemagref qui débouche en 1993 sur la rédaction d'un document "*Entre le foin et l'ensilage : l'enrubannage*" (Institut de l'Élevage et al., 1993). Les études engagées apportent des réponses agronomiques et techniques au niveau des réglages, de l'utilisation, de la qualité des films. En particulier, le Cemagref met au point une méthode normalisée pour l'étude, le contrôle et la mise au point des films étirables. Une méthode de compactage des films usagés est développée pour répondre aux aspects environnementaux. **La collaboration étroite entre les différents organismes permet d'apporter des réponses aux éleveurs tout en aidant les industriels à mettre au point cette technique** pour valoriser au mieux les fourrages.

Les Cooperatives d'Utilisation des Machines Agricoles (CUMA) et les Entreprises des Travaux Agricoles (ETA) ont une place importante dans l'utilisation du machinisme. En quelques années, les chantiers d'ensilage se sont totalement modifiés avec l'arrivée des automotrices d'une largeur de 6 rangs de maïs. La capacité des remorques individuelles devenait insuffisante pour les débits atteints. Ainsi, les chantiers prenant en charge la totalité de la chaîne d'ensilage ("clefs en main rendu silo"), réalisés par les entreprises, se sont multipliés. Par ailleurs, l'arrivée des remorques mélangeuses automotrices offre de nouvelles possibilités d'utilisation collective d'un matériel qui libère l'éleveur de tâches répétitives.

## 2. Rapide rappel des principales innovations techniques, de la récolte à la distribution du fourrage

Cette partie complète et prolonge le travail de C. BÉRANGER présenté dans *Fourrages*, en 1998, en y apportant un regard plus orienté sur le machinisme.

### ■ Le pâturage

L'utilisation directe de l'herbe par les animaux a bénéficié de travaux qui visent à réduire les contraintes des clôtures. Citons d'une part la réalisation d'un robot de gardiennage pour le pâturage rationné qui assure aussi le rassemblement des animaux le soir pour la traite par exemple, et d'autre part la mise au point par le Cemagref d'une clôture sans piquet étudiée pour les grands espaces et commercialisée maintenant par les industriels français des clôtures électriques.

### ■ La fauche

Dès les années 70, les **faucheuses à lamiers rotatifs**, qui sectionnent le fourrage par lacération ou choc, remplacent les faucheuses à doigts et sections qui coupent par cisaillement. Si la puissance demandée est nettement supérieure, la vitesse d'avancement n'est plus limitée par l'outil. Les bourrages sont supprimés et le remplacement des couteaux est beaucoup plus rapide que l'aiguisage des lames. Mais ces faucheuses demandent une technicité de fabrication (usinage, qualité des matériaux...) nettement supérieure que les industriels ont su acquérir (GAILLARD, 1984).

Dans un premier temps, l'élargissement du lamier répond à l'objectif de réaliser des chantiers de plus en plus performants. La limite est de 3 à 4 m car toute la puissance passe par la première assiette du lamier. De plus, ces grands lamiers ne peuvent pas épouser correctement la forme d'un sol non parfaitement plan. Dans un second temps, l'arrivée des faucheuses frontales vient compléter la faucheuse arrière. Sur les tracteurs puissants, il est possible de monter 3 faucheuses réglables individuellement, une frontale et deux à l'arrière (GAILLARD, 1998). Certaines faucheuses automotrices reçoivent 5 lamiers indépendants. Elles combinent grande largeur et suivi optimal du terrain. En parallèle, les constructeurs travaillent sur des suspensions de plus en plus performantes pour un suivi parfait du sol, même à vitesse élevée. Dans la mesure où elles réduisent le temps de chantier, ces faucheuses performantes augmentent la période d'exposition au soleil le jour de la fauche et ainsi contribuent à une dessiccation plus rapide.

Le conditionnement a pour but de réduire la durée de dessiccation afin de limiter les risques climatiques. Si les rouleaux conditionneurs montés sur une faucheuse à lamier à doigts et sections forment un assemblage homogène, les rouleaux mis sur les lamiers rotatifs ne peuvent absorber les nouveaux débits. Les industriels mettent au point **un nouvel organe conditionneur : les**

**doigts rotatifs adaptés aux nouveaux débits.** Au conditionnement ciblé sur les tiges avec les rouleaux succède un conditionnement aveugle qu'il faut maîtriser notamment sur légumineuse pure. Le conditionnement possède un autre intérêt : celui de foisonner le fourrage et de faciliter les travaux ultérieurs. L'action du conditionnement sur la vitesse de dessiccation est considérablement réduite avec des productions élevées (supérieures à 5 tonnes de MS par hectare). Dans ces conditions, il faut veiller à un éparpillement le plus complet possible afin d'occuper le maximum de surface au sol.

## ■ Le fanage

Les faneuses modernes font appel à **la modularité pour épouser au mieux le terrain** : chaque module de petite taille repose au moins sur une roue qui maintient une distance régulière entre les dents de la faneuse et le sol.

La qualité du travail doit être particulièrement soignée en cas de conservation du fourrage par voie humide pour limiter l'incorporation de cailloux et de terre qui sont sources d'ensemencement de spores butyriques ainsi que pour éviter de créer des paquets qui resteront trop humides et serviront de point de départ aux fermentations butyriques. Le pliage hydraulique apporte des gains de temps appréciables lors du passage de la position "travail" à la position "route" et inversement

## ■ L'andainage

Cette opération contribue à la qualité du pressage. Elle doit permettre une alimentation régulière et adaptée à chaque récolteuse. De plus, l'andaineur ne doit pas laisser à l'écart du fourrage qui deviendra résidu aux coupes suivantes avec tous les aspects sanitaires que cela implique. Là aussi, la modularité intervient. Chaque module repose sur plusieurs roues afin de réaliser un travail optimal avec des vitesses d'avancement élevées.

## ■ L'ensilage en coupe fine

Il est réalisé avec des **récolteuses hacheuses chargeuses de plus en plus puissantes et de plus en plus adaptées à la récolte du maïs ensilage** (et de moins en moins à l'herbe) car les équipements spécifiques à l'herbe ont moins vite évolué. Les éclateurs de grains ajoutés pour une meilleure digestion du maïs touchent aussi toutes les tiges. Cela implique un léger allongement du tronçonnement pour éviter les phénomènes d'acidose. Cet équipement doit être enlevé pour l'herbe. Le tassement correct du silo devient difficile avec le passage de 6 rangs à 8 rangs récoltés simultanément. La réalisation simultanée de deux silos est une des solutions. Par ailleurs, les chantiers de récolte de l'herbe occasionnent beaucoup plus d'usure et de casse que pour le maïs car les risques d'incorporation de terre et de corps étrangers sont supérieurs. Ainsi, certains utilisateurs n'utilisent jamais leurs nouvelles machines pour l'herbe la première campagne, même avec les détecteurs de métaux. La présence de

capteurs de suivi des rangs facilite la conduite pour les becs en ligne. Les becs récents, indépendants du sens de semis et de l'écartement entre rangs, améliorent les conditions de récolte, particulièrement dans les zones versées.

## ■ La ventilation des fourrages

La ventilation permet de palier une dessiccation insuffisante au sol ou d'optimiser la qualité du produit récolté par une diminution des pertes mécaniques et des pertes liées à une exposition prolongée au soleil et aux aléas climatiques. La conduite technique d'une telle installation doit être rigoureuse (ITCF *et al.*, 1986). Cette technique se développe dans les zones où l'ensilage est interdit et **là où le surcoût peut être rentabilisé par une forte valeur ajoutée de la production**. La récolte peut être **réalisée en vrac ou en grosses balles** et implique des investissements importants qui sont difficilement modifiables. La récolte en vrac est mécanisée depuis longtemps. Dans les systèmes les plus aboutis, la griffe de chargement sert à alimenter l'auge en période hivernale. La ventilation des grosses balles est possible mais demande beaucoup de manutention. Les séchoirs sont de faible capacité. Le développement des doubles toitures comme capteurs solaires permet de réduire le coût énergétique du séchage.

## ■ Le pressage en petites balles moyenne densité

Cette technique répond pleinement au déficit de main d'œuvre, à un certain moment. La **forte sensibilité des balles** moyenne densité (MD) **à la pluie** est liée à leur forme (parallélépipédique). Cette contrainte majeure n'a jamais été solutionnée. Ainsi, toute balle mouillée peut être considérée comme perdue. La production d'une parcelle peut dépasser les 300 balles/ha et les industriels se sont ingéniés à développer une multitude d'appareils qui amélioreraient une partie de cette chaîne. Cette technique a permis d'utiliser les bâtiments de stockage et les étables sans modification sensible. L'augmentation de la densité des balles entraîne l'affaissement de certains bâtiments et des incendies liés à des densités trop fortes pour le niveau de dessiccation (trop faible) atteint.

## ■ Le pressage en balles rondes

Si la faucheuse rotative est une révolution silencieuse, l'arrivée des balles rondes (BR) durant la seconde partie des années 1970 est **la première grande révolution visible pour la récolte des fourrages secs**. En effet, l'éleveur peut enfin récolter ses foin seul car il peut sans crainte laisser dehors ses balles, insensibles à la pluie (CASAGRANDE, 1988). Les balles seront stockées ultérieurement. Compte tenu de leur densité, il est même fortement recommandé de les laisser dehors quelques temps afin qu'elles fassent leur "coup de chaud" et ne mettent pas le feu dans les bâtiments.

Contrairement à une presse MD, la presse BR est tirée dans l'axe du tracteur. Son déplacement est ainsi beaucoup plus aisé et

beaucoup moins sensible aux irrégularités du terrain. La presse à BR implique un andainage adapté afin de réaliser une balle parfaitement cylindrique qui facilitera le ficelage, la manutention et, dans certains cas, la distribution (INRA, 1987). Le débit des premières générations de presses est bridé par le ficelage à l'arrêt qui peut prendre autant de temps que le pressage. Par la suite, l'arrivée de technologies plus performantes (double liage, liage filet, programmation du liage...) réduit le temps de liage à quelques secondes. Ces avancées ont considérablement réduit l'intérêt des presses (BR) en continu : les quelques secondes ainsi gagnées ne justifient pas une complexité nettement supérieure (et un coût en conséquence).

## ■ Le pressage en grosses balles parallélépipédiques

Cette technique apparaît peu de temps après les presses à balles rondes. Ces presses travaillent aussi en ligne mais ont un débit supérieur car elles travaillent en continu. La sensibilité des balles à la pluie nécessite un ramassage sans tarder. La densité élevée des balles nécessite une dessiccation poussée du fourrage. En revanche, l'efficacité du chantier est particulièrement élevée avec l'utilisation d'automoteurs de manutention. **Cette chaîne répond aux soucis d'efficacité mais n'apporte pas d'amélioration sur la qualité des fourrages.** Elle **concerne en priorité la paille** et sa commercialisation. Elle peut intéresser des élevages importants qui ont de la main d'œuvre.

## ■ L'enrubannage

Il s'agit de réaliser une enveloppe étanche à l'oxygène à partir d'une bande de film plastique étirable et collant, fermement appliquée sur des balles qui ne sont pas suffisamment sèches pour se conserver sans moisir (GAILLARD et ZWAENEPOEL, 1987 ; GAILLARD, 1990). La teneur minimale en matière sèche conseillée est de 45% mais des lots plus humides peuvent être réalisés avec succès (PAILLAT, 1995). Il n'y a pas de limite supérieure. Deux évolutions améliorent sensiblement la conservation car les pertes visibles non liées à des trous disparaissent :

- l'utilisation de film large de 75 cm au lieu des 50 cm initiaux ; le vrillage plus important du film améliore son placage ;
- le mode de recouvrement de 50% au lieu des 75% initiaux déforme moins la balle à l'enrubannage et augmente considérablement les distances à parcourir par l'air entre l'intérieur et l'extérieur de l'enveloppe.

L'efficacité s'est considérablement améliorée avec l'automatisation de l'enrubannage, l'utilisation de films larges, l'utilisation de deux bobines en simultané et l'utilisation de presses enrubanneuses. Les presses enrubanneuses apportent une solution pour réaliser son enrubannage seul. Les enrubanneuses existent pour tous types de balles. Les enrubanneuses en continu améliorent les débits pour atteindre 80 à 100 balles à l'heure, réduisent les quantités de film

consommées mais augmentent les surfaces de stockage. Elles permettent le libre service.

**L'enrubannage permet d'améliorer la qualité de la totalité du fourrage produit sur les exploitations qui ne sont pas soumises à l'interdiction d'ensilage.** En effet, il permet de prendre des risques tôt en saison. Il est aussi complémentaire d'un ensilage coupe fine de qualité. Ainsi, une parcelle éloignée qui n'est pas forcément au même stade que les parcelles destinées à la coupe fine sera récoltée en balles et enrubannée. La souplesse d'utilisation des balles est aussi un point important. L'enrubannage **intervient aussi dans la gestion des parcelles à pâturer** et permet d'optimiser ainsi le parcours des animaux. La traçabilité des balles enrubannées est un avantage majeur qui permet aux éleveurs de devenir de parfaits nutritionnistes. Comme tous les lots sont individualisés, cela favorise la meilleure adéquation entre d'une part qualité et type de fourrage et d'autre part besoins des différents animaux afin d'éviter de rationner ou de devoir compléter. Le coût du plastique est largement compensé par les gains de qualité. **La luzerne enrubannée se conserve parfaitement** et le coût du plastique semble peu de chose par rapport à l'absence de bâtiments, de mise aux normes. Le Cemagref a mis au point la densification en balles rondes des films agricoles usagés, étirables ou non, en vue d'un recyclage ultérieur.

## ■ Les outils de manutention

L'arrivée des grosses balles implique la mise au point d'outils performants de manutention pour gerber des balles pouvant atteindre 500 kg sur plusieurs niveaux. Dans un premier temps, les fourches pour équiper les tracteurs se sont nettement perfectionnées avec l'utilisation de l'hydraulique et la mise au point du démontage rapide des outils. Dans un second temps, on a vu apparaître sur le marché des automoteurs spécifiques de manutention, pour effectuer chargements et déchargements. Depuis quelques années, ces outils peuvent recevoir des outils comme des godets désileurs mélangeurs...

## ■ La distribution et les mélanges

Les remorques mélangeuses, automotrices ou non, sont de plus en plus complexes et intègrent de nombreux équipements pour aider l'opérateur : pesage, programmation des différentes rations. Ces machines ont des contraintes importantes liées à l'accessibilité aux différents lieux de stockage et de distribution ainsi que de longs parcours pour certaines. L'utilisation de vis verticales à couteaux permet de résoudre les difficultés liées à la longueur des brins des balles rondes par exemple.

## Conclusion et perspectives

La mécanisation répond parfaitement à la déficience de la main d'œuvre et à l'accroissement de la taille des unités. En même temps, elle a permis de libérer une part importante de main d'œuvre pour

d'autres secteurs. Elle a réussi à augmenter les largeurs de travail et les vitesses d'avancement tout en respectant la qualité du travail et en améliorant la sécurité des opérateurs. L'enrubannage va plus loin car il permet une traçabilité du fourrage. En plus de sa capacité à réaliser des stocks, il est une sécurité qui permet d'optimiser la qualité sur l'ensemble de la production annuelle. Son interdiction pour certaines productions fromagères est sa limite. En parallèle à ces évolutions des matériels, il faut garder présent à l'esprit que la structure superficielle du sol reste un facteur limitant et que toute amélioration de sa portance et de sa régularité permettra un gain en termes de débit de chantier et de qualité des fourrages récoltés.

Diverses évolutions sont envisageables. L'électronique avec ses capteurs et ses mémoires devrait se développer et pourrait rapidement piloter automatiquement la goulotte de la récolteuse hacheuse chargeuse. Cela permettrait de mieux charger les remorques tout en libérant le chauffeur de la remorque d'une tâche pénible : celle de suivre rigoureusement le positionnement de la goulotte sur la remorque située derrière son tracteur. L'augmentation de la vitesse de récolte pourrait même être envisagée dans les parcelles à rendements limités. Une autre évolution pourrait porter sur le diagnostic instantané du tronçonnement afin d'agir en continu sur les réglages du tronçonnement. Le même système pourrait être monté sur les remorques mélangeuses afin d'optimiser la qualité physique du mélange en adéquation avec les animaux alimentés.

Contribution sollicitée pour les 50 ans  
de la revue *Fourrages* et de l'A.F.P.F.,  
le 10 décembre 2009.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BÉRANGER C. (1998) : "Récolter et conserver l'herbe. Un bref historique", *Fourrages*, 155, 275-285.
- CASAGRANDE J.R. (1988) : *Maîtrise de l'énergie dans la chaîne de récolte des foins en grosses balles rondes*, thèse ingénieur agronome, INAPG, 50 p.
- GAILLARD F. (1981) : "Les nouvelles techniques d'ensilage", *Revue Génie Rural*, 3, 16-22.
- GAILLARD F. (1982) : "L'ensilage en balles rondes", *Fourrages*, 91, 37-55.
- GAILLARD F. (1984) : "Le matériel de récolte des fourrages par voie humide en Grande Bretagne", *Bulletin Interne du Cemagref*, 322, 23-33.
- GAILLARD F. (1989) : "L'ensilage en balles rondes sous film étirable", *Proc. XV<sup>th</sup> Int. Grassl. Congr.*, Nice, AFFF, 979-980.
- GAILLARD F. (1990) : "L'ensilage en balles rondes sous film étirable", *Fourrages*, 123, 289-304.
- GAILLARD F. (1992) : "Stockage et conservation de l'alimentation animale", *Les plastiques en agriculture*, CPA et revue Horticole, 471-492.
- GAILLARD F. (1998) : "De la fauche à la distribution des fourrages. Les innovations récentes du machinisme", *Fourrages*, 155, 319-330.
- GAILLARD F., ZWAENEPOEL P. (1987) : "Ensilage de balles rondes sous film étirable", *BTMEA*, 6, 37-46.
- INRA (1987) : *Les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation*, C. Demarquilly coord., éd. INRA, Paris, 689 p.

Institut de l'Élevage, Cemagref, INRA, ITCF (1993) : *Entre foin et ensilage : l'enrubannage*, éd. Institut de l'Élevage, 42 p.

ITCF, BCMA, EDE 74 (1986) : *Le foin séché par ventilation*, Technipel, 149, rue de Bercy, 75012 Paris.

PAILLAT J.M. (1995) : *Étude de l'ensilage en balles enrubannées sous climat tropical d'altitude. Cas de fourrages tempérés et tropicaux récoltés à l'île de la Réunion*, thèse INAPG, 200 p.

## SUMMARY

### **Agricultural machinery and forages : efficiency, quality, safety**

Progress achieved in the equipment and the agricultural machinery have been a great help to the farmers who had to live through the considerable changes undergone by animal husbandry during the past fifty years. Important improvements took place, especially in the equipment involved in forage harvesting. Reduced labour and increased farm sizes made it necessary for farmers to enlarge their capacity of forage harvesting and conservation, while the forage quality had to be maintained. The technical improvements in the harvesting and conservation methods are recalled, among which the following are the most important : rotating blades (with their increased cutting width made possible by hydraulic equipment), silo fillers, round balers, wrapping machines (with their adapted plastic films), and mixing trailers. The adjustments of the machinery, sometimes resulting from joint studies, did also increase the safety of the users and at the same time ease their work.