

Digestibilité *in vivo* d'ensilages de maïs récoltés par différentes techniques

Myriam Rothacher, Ueli Wyss et Yves Arrigo

Agroscope, 1725 Posieux, Suisse

Renseignements: Myriam Rothacher, e-mail: myriam.rothacher@agroscope.admin.ch



Récolte de l'ensilage de maïs plante entière à Agroscope, site de Posieux; shredlage récolté avec le système breveté par CLAAS. (Photo: Yves Arrigo, Agroscope)

Introduction

Les valeurs nutritives de l'ensilage de maïs plante entière (MPE) dépendent fortement de la digestibilité de la matière organique (DMO). Elles pourraient également être améliorées par diverses techniques. Dans cet essai, du powermaïs (MPE enrichi en épi) et du MPE shredlage ont été comparés à du MPE standard conservé en silo tour (MPES) et du MPE standard conservé en balles rondes (MPEB). Le powermaïs est issu de la récolte de trois rangées de maïs plante entière et de trois rangées dont seuls les épis sont récoltés. Il est donc plus concentré en énergie. Le shredlage est une technique de récolte venue des États-Unis, brevetée par CLAAS (Harsewinkel, Allemagne): la plante de maïs est tout d'abord hachée (entre 26 et 30mm) puis des rouleaux éclateurs broient les rafles et les tiges dans le sens de la longueur et éclatent les grains. Les rouleaux éclateurs ont la particularité d'avoir un profil spécifique et des vitesses de rotations différentes, ainsi les grains sont éclatés et les

tiges et feuilles sont défibrées. Selon CLAAS (2018), le taux d'éclatement des grains est d'au minimum 70 % et les particules de plus de 19 mm représentent 25 %.

Le but de cette étude était de comparer les digestibilités *in vivo* ainsi que les valeurs nutritives d'ensilages de maïs avec des techniques de récolte et de conservation différentes et de valider les équations de prédiction de la dMO issues des Apports alimentaires recommandés pour les ruminants, aussi appelé Livre vert, (Agroscope 2016) pour le MPE shredlage.

Matériel et méthode

Animaux

La digestibilité apparente a été déterminée avec quatre béliers adultes castrés de race tête brune (type Oxford) par traitement. Les animaux ont été habitués progressivement à l'ensilage de maïs dix jours avant la phase d'adaptation en groupe. Ils ont ensuite été répartis dans les quatre traitements en fonction de leur âge ($4,2 \pm 2,2$ ans) et de leur poids vif ($82,0 \pm 15,8$ kg) (moyenne \pm écart type). Après trois semaines d'adaptation en groupes, dont les deux dernières avec une alimentation individuelle, les animaux ont été placés en détention individuelle dans des stalles contigües où ils ont été équipés d'un harnais pour la récolte des fèces. La période de bilan a eu lieu durant les deux semaines suivantes à raison de quatre jours par semaine. Les rations étaient calculées en fonction du poids des animaux ($0,38$ MJ d'énergie métabolisable/kg PV^{0,75} x 1,1). Elles étaient composées d'ensilage de maïs et de tourteaux de soja en complément afin d'atteindre au moins 110g de matière azotée/kg de matière sèche (MS). De plus, un aliment minéral complet a assuré un apport de 1,6g de sodium/jour.

Fourrage

Les différents ensilages de maïs ont été récoltés à quelques jours d'intervalle: l'ensilage de MPES a été récolté le 22.09.2016, celui de MPEB le 23.09.2016, le MPE

shredlage (conservé en balles rondes) le 26.09.2016 et le powermaïs (conservé en balles rondes) le 10.10.2016. Tous les ensilages de maïs ont été conservés sans adjonction d'agent de conservation et provenaient de la même variété (Gottardo). La longueur de coupe était de 10 mm pour les MPES, MPEB et powermaïs, et de 30 mm pour le MPE shredlage.

Équations de prédiction

Les équations de prédiction pour le maïs d'ensilage éditées dans les Apports alimentaires recommandés pour les ruminants (Agroscope 2016) ont été utilisées pour les prédictions de la dMO et pour le calcul des valeurs nutritives.

<p>Maïs plante entière</p> $\text{MOD}_{\text{ALP12}} = -1016,7 + (\text{MO} \times 1,8) + [(\text{MA} \times \text{ENA})/1000 \times 1,106] + [(\text{MA}_{\text{MO}} \times \text{HEM}_{\text{MO}})/1000 \times -3,01] + [(\text{CB}_{\text{MO}} \times \text{NDF}_{\text{MO}})/1000 \times -0,0013] + 10,3$ <p>Maïs non plante entière</p> $\text{MOD}_{\text{ALP12}} = -1016,7 + (\text{MO} \times 1,8) + [(\text{MA} \times \text{ENA})/1000 \times 1,106] + [(\text{MA}_{\text{MO}} \times \text{HEM}_{\text{MO}})/1000 \times -3,01] + [(\text{CB}_{\text{MO}} \times \text{NDF}_{\text{MO}})/1000 \times -0,0013] - 10,3$ <p>dMO = MOD/MO</p>

MO matière organique; dMO digestibilité MO; MOD MO digestible; MA matière azotée; CB cellulose brute; ENA extractif non azoté; HEM hémicellulose; NDF parois.

Fibrosité

Le séparateur de particules Schüttel-Box (Penn State Particle Separator, Nasco, USA) a été utilisé pour comparer les parts en particules de différentes longueurs des quatre ensilages. Les instructions du concepteur ont été suivies: cinq allers-retours sur 15 cm d'amplitude sur chaque face de la boîte, à deux tours complets de boîte. Ainsi, les parts des trois fractions (> 19 mm, 19–8 mm, < 8 mm) ont été quantifiées.

Résultats et discussion

Compositions chimiques des fourrages

Selon les analyses (tabl. 1), il n'y a eu que peu de différences dans la composition chimique du MPE shredlage comparativement aux deux ensilages MPE standard de l'essai. Seules les teneurs en amidon ont varié dans des proportions qui méritent d'être relevées: + 10 %. Dans l'essai de Morel *et al.* (2019), où les mêmes maïs ont été utilisés mais sur une période plus longue, la différence dans les teneurs en amidon était de 5 %. En comparant le MPE shredlage au powermaïs, les constituants pariétaux étaient plus élevés (+ 27 % de CB, + 55 % d'ADF, et + 41 % de NDF), la matière azotée également (+ 12 %) ainsi que le calcium (+ 49 %) alors que le phosphore a diminué (– 8 %). Le powermaïs était plus riche en grains et donc plus riche en amidon (+ 20 %). Les différences

Résumé

La digestibilité de la matière organique et les valeurs nutritives de maïs plante entière (MPE) récolté avec quatre techniques différentes ont été analysées et comparées. Les techniques de récolte étaient les suivantes: MPE standard en silo désilé à la fraise, MPE standard en balle, MPE shredlage et MPE enrichi en épis (powermaïs). Les analyses chimiques ont montré que les teneurs des deux MPE standard et du MPE shredlage étaient comparables. Par contre, le powermaïs se différenciait des autres techniques de récolte notamment par des teneurs en constituants pariétaux plus basses et des teneurs en amidon plus élevées. Les digestibilités de la matière organique (dMO), de la matière azotée, de la cellulose brute, de l'ADF, du NDF et de l'énergie brute n'ont montré aucune différence entre les techniques. La dMO du powermaïs était supérieure de 4,5 % (P=0,046) à celle des deux MPE standard. Ni la technique de récolte (standard vs shredlage) ni celle de la conservation (silo vs balles) n'ont influencé les digestibilités des MPE (en excluant le powermaïs). Les valeurs nutritives des différents ensilages étaient semblables. En comparaison avec la dMO obtenue *in vivo*, les équations de prédiction de la dMO des Apports alimentaires recommandés pour les ruminants ont permis une estimation précise. Concernant la fibrosité, le MPE shredlage est composé de plus de longues particules que les deux MPE standard mais, avec 21 %, le total n'a pas tout à fait atteint la valeur de 25 % annoncée par CLAAS. La technique de conservation des MPE n'a pas influencé la fibrosité des fourrages puisque les portions des différentes fractions de particules étaient similaires pour les MPE silo et balle; la fraise lors de la reprise du fourrage n'a pas altéré la longueur des particules.

entre le powermaïs et les deux ensilages MPE standard ont été nombreuses: diminution des constituants pariétaux (– 24 % de CB, – 32 % d'ADF, – 25 % de NDF), diminution également du calcium (– 27 %) et augmentation de l'amidon (+ 37 %). Ces chiffres sont en accord avec les résultats d'un essai préalable sur la digestibilité du powermaïs (Arrigo *et al.* 2016).

Coefficients de digestibilité

La figure 1 donne les principaux résultats des coefficients de digestibilité. Pour la dMO, seule celle du powermaïs s'est distinguée des MPE standards avec une augmentation de 4,5 points % en moyenne ($P=0,046$). Concernant la digestibilité de la matière azotée (dMA), celle du MPE shredlage, bien que plus élevée de 5 %, n'était pas différente des autres ensilages de l'essai ($P=0,65$). Les digestibilités de la CB, de l'ADF et du NDF ne se sont pas distinguées ($P>0,1$); même constat concernant la digestibilité de l'énergie brute ($P=0,13$). En Allemagne, Ertle obtenait en 2016 dans son essai avec les moutons des dMO, dMA et digestibilité des fibres généralement moins bonnes pour le shredlage (26 mm de longueur de coupe) que pour l'ensilage de maïs standard (7 mm de longueur de coupe), sans pour autant que cela soit significatif.

Prédiction de la digestibilité de la MO

En utilisant les équations de prédiction de la dMO (Agroscope 2016), les dMO des MPE ont été suresti-

mées entre 1,9 et 3,2 % par rapport à la dMO obtenue *in vivo* (fig. 2). La variation de la dMO du powermaïs (avec l'équation non plante entière) était de -2,6 %. Ces résultats montrent que l'utilisation de ces équations de prédiction sont utilisables pour estimer les dMO des différents ensilages de maïs récoltés selon différentes techniques.

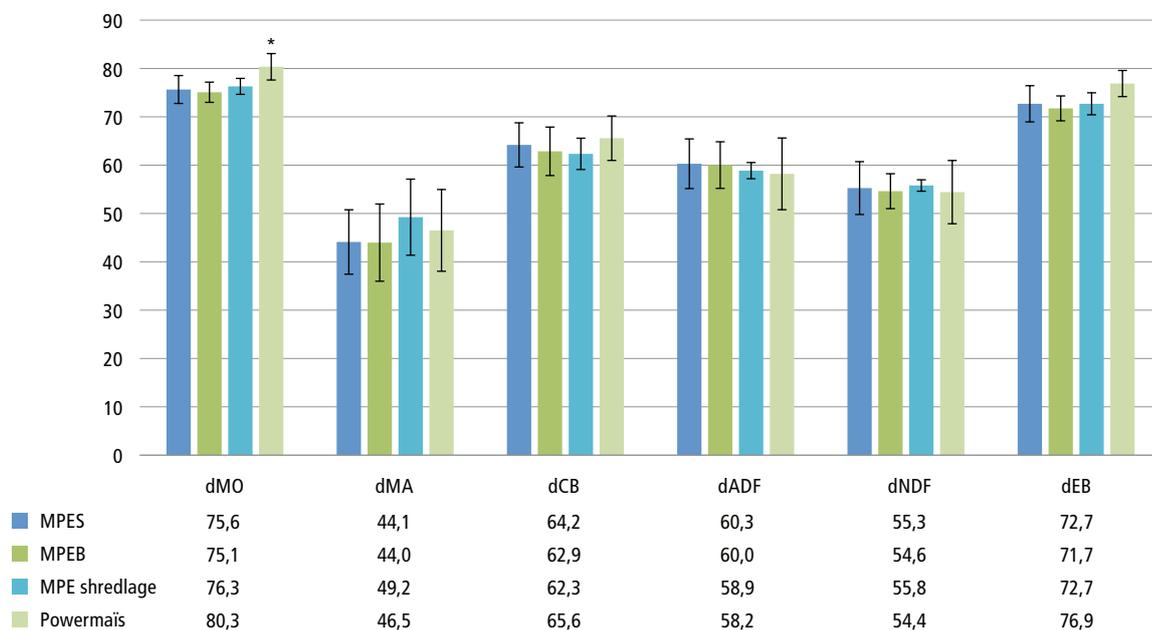
Valeurs nutritives

Les valeurs nutritives des différents ensilages de MPE, calculées avec la dMO obtenue *in vivo*, n'ont mis en évidence aucune différence (tabl. 2): l'énergie nette pour la production laitière (NEL) ainsi que celle pour la production de viande (NEV) étaient identiques. Ni la technique de récolte (MPE shredlage vs. MPES resp. MPEB) ni la conservation (MPES vs. MPEB) n'ont eu d'effet sur les valeurs nutritives. Ceci vient du fait que les digestibilités et les teneurs étaient similaires entre tous les ensilages MPE. Le powermaïs, avec ses teneurs plus élevées en amidon – et donc en énergie – a obtenu des

Tableau 1 | Composition chimique des ensilages de maïs (g/kg MS ou précisé).

	MPES standard	MPEB standard	MPE shredlage	Powermaïs
Matière sèche (%)	30,2	32,6	32,4	42,2
Matière azotée	66,6	67,6	69,1	61,6
Cellulose brute	196	180	181	142
Cendres	28,4	29,2	30,3	22,4
ADF	217	208	211	145
NDF	362	358	363	271
Calcium	1,35	1,14	1,35	0,91
Phosphore	1,96	2,04	2,00	2,18
Magnésium	1,01	0,84	0,94	0,95
Potassium	7,84	8,05	8,99	6,38
Énergie brute (MJ/kg MS)	19,1	18,9	19,0	18,8
Amidon	373	375	412	513
Graisse	24,1	33,7	31,4	34,2
Alanine	5,44	5,11	4,71	4,61
Arginine	1,19	1,16	1,16	1,18
Asparatine	3,14	3,67	4,42	4,21
Cystine	0,97	1,05	1,06	1,18
Acide glutamique	8,48	8,86	8,15	8,32
Glycine	2,65	2,59	2,65	2,45
Histidine	1,58	1,49	1,67	1,63
Isoleucine	2,39	2,40	2,42	2,16
Leucine	6,59	6,82	6,86	6,53
Lysine	1,16	1,39	1,84	1,77
Méthionine	1,04	1,12	1,07	1,10
Phénylalanine	2,96	3,01	3,04	2,76
Proline	4,82	4,90	5,06	5,11
Sérine	2,66	2,56	2,86	2,37
Thréonine	2,27	2,31	2,34	2,21
Tryptophane	0,36	0,38	0,53	0,37
Tyrosine	3,53	3,08	2,42	3,13
Valine	3,35	3,35	3,40	3,13
C18:2n-6 (acide linoléique)	13,8	17,4	14,8	23,2
C18:1 (acide oléique)	5,11	6,09	5,23	8,18

MPE maïs plante entière; MPES en silo tour; MPEB MPE en balles; MS matière sèche.

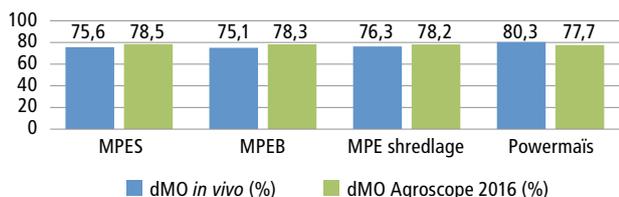


*P < 0,05; dMO digestibilité matière organique; dMA dig. matière azotée; dCB dig. cellulose brute; dADF dig. lignocellulose; dNDF dig. paille; dEB dig. énergie brute; MPE maïs plante entière; MPES MPE en silo; MPEB MPE en balles.

Figure 1 | Coefficients de digestibilité des ensilages de maïs (%).

valeurs nutritives plus élevées. En comparant les protéines absorbables dans l'intestin synthétisées à partir de l'énergie disponible (PAIE), aucune différence notable n'est apparue. Pour les PAIN (PAI synthétisées à partir de la matière azotée dégradée), le MPE shredlage ne s'est également pas distingué.

Une étude réalisée en Allemagne par Pries et Bothe (2016) a comparé du shredlage à l'ensilage de maïs standard du point de vue de la conservation et de l'affouragement (y compris pH dans la panse et rumination). Les résultats obtenus ne relevaient aucune différence significative entre les deux fourrages. Une autre étude allemande, réalisée avec 48 vaches laitières, n'a montré aucune amélioration des résultats pour le shredlage, vu que ni les performances ni l'ingestion de MS ne se sont



MPE maïs plante entière; MPES MPE en silo; MPEB MPE en balles; dMO digestibilité matière organique.

Figure 2 | Digestibilité de la matière organique des ensilages de maïs récoltés avec différentes techniques obtenues *in vivo* et par équation de prédiction (Agroscope 2016).

Tableau 2 | Valeurs nutritives des ensilages de maïs récoltés avec différentes techniques calculées à partir des digestibilités obtenues *in vivo*.

	MPES	MPEB	MPE shredlage	Powermaïs
NEL, MJ	6,7	6,7	6,8	7,3
NEV, MJ	7,0	6,9	7,1	7,8
PAIE, g	65	64	65	64
PAIN, g	42	42	43	38

MPE maïs plante entière; MPES MPE en silo; MPEB MPE en balles; NEL énergie nette pour la production laitière; NEV énergie nette pour la production de viande; PAIE protéines absorbables dans l'intestin synthétisées à partir de l'énergie disponible; PAIN PAI synthétisées à partir de la matière azotée dégradée.

révéler meilleures chez les vaches affouragées avec du shredlage par rapport à celles qui avaient reçu de l'ensilage de maïs standard (Ettle 2016).

Fibrosité

Selon les fabricants de l'enseuse, le principal atout du shredlage viendrait de sa teneur élevée en longues particules: les particules de plus de 19 mm devraient représenter 25 % (CLAAS 2018). Le résultat obtenu avec le séparateur de particules n'a pas tout à fait correspondu à ce qui était attendu, car la proportion de longues particules représentait en moyenne 21 % (n=9; écart-type ± 7), avec

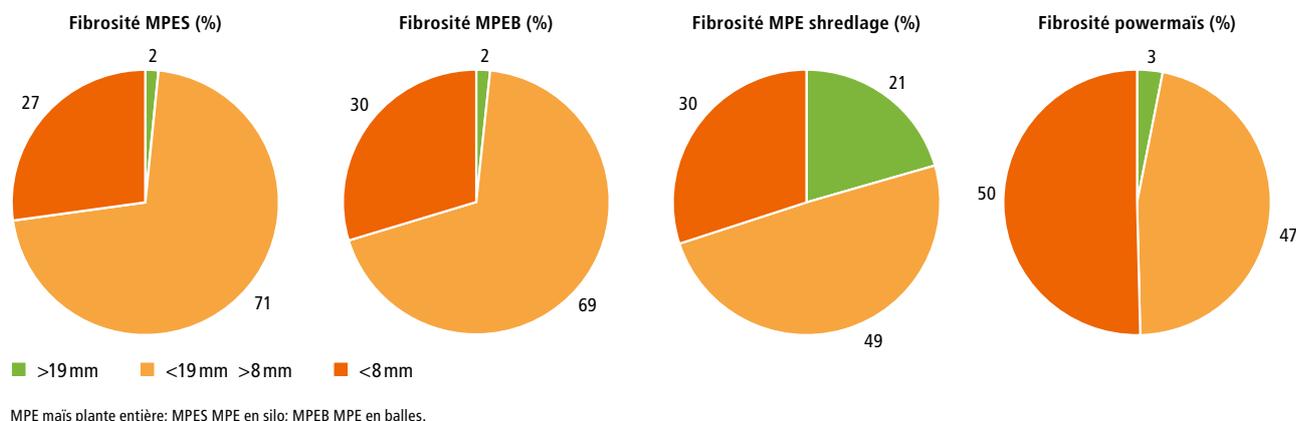


Figure 3 | Proportions des différentes fractions de particules des ensilages de l'essai obtenues avec le séparateur de particules.

des valeurs allant de 11 à 31 %. Néanmoins, en comparant la part de longues particules (> 19 mm) de tous les ensilages de maïs, c'est le MPE shredlage qui en comprenait le plus grand pourcentage (fig. 3).

Si l'on considère la part de toutes les particules supérieures à 8 mm, c'est-à-dire les particules qui favorisent l'activité de rumination, tous les ensilages MPE étaient similaires, à l'exception du powermaïs qui présentait un pourcentage inférieur.

Théoriquement, un broyage plus grossier augmente le peNDF (*physically effective Neutral Detergent Fiber*, la fraction de particules qui fait ruminer). Les résultats de ce calcul (teneurs en NDF x pef) ont été similaires pour tous les ensilages MPE – mis à part le powermaïs – de cet essai (peNDF MPES 26,4 %; peNDF MPEB 25,4 %; peNDF MPE shredlage: 25,4 %; peNDF powermaïs 13,6 %); fait logique vu que les teneurs en NDF et les totaux des fractions de particules effectives des MPE étaient similaires. Une amélioration par la technique du shredlage n'a pas été confirmée.

Conclusions

Puisque ni la dMO ni la dMA du MPE shredlage ne se sont statistiquement distinguées des digestibilités des deux MPE standard, les valeurs nutritives ont également été similaires. Comme les peNDF étaient similaires, l'avantage du MPE shredlage quant à une fibrosité plus grossière que celle des MPE standard n'a pas été confirmée. Les équations de prédiction de la dMO (Agroscope 2016) peuvent être utilisées pour prédire la dMO du MPE shredlage vu que les différences étaient inférieures à 2 % par rapport aux valeurs obtenues *in vivo*. La technique de conservation n'a montré, dans cet essai, aucun effet sur les coefficients de digestibilité des MPE puisque les MPES et MPEB ont obtenu des valeurs similaires. Actuellement, aucun paramètre ne justifie l'utilisation de la méthode shredlage lors de la récolte d'ensilage de MPE. Néanmoins, il faudrait reconsidérer cette technique s'il s'avérait que les rations standard des ruminants en production devaient être repensées en raison de changements des conditions de production. ■

Bibliographie

- Arrigo Y., Wyss U. & Morel I., 2016. Digestibilité de l'ensilage de powermaïs distribué seul ou en rations mélangées. *Recherche Agronomique Suisse* 7, (9), 384-389.
- Agroscope, 2016. Apports alimentaires recommandés pour les ruminants (Livre vert). Accès: <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/fr/home/services/soutien/aliments-pour-animaux/apports-alimentaires-recommandes-pour-les-ruminants.html> [novembre 2018]
- CLAAS, 2018. SHREDLAGE® harvest recommendations. Accès: <https://www.claasofamerica.com/product/forage-harvesters/shredlage/harvest-recommendations> [décembre 2018]
- Ettle T., 2016. Shredlage – Hype oder Fortschritt. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Morel I., Oberson J.-L., Nadan V. & Wyss U., 2019. Maïs shredlage ou maïs plante entière standard dans la ration des taurillons à l'engrais? *Recherche Agronomique Suisse* 10 (2), 60–67.
- Pries M. & Bothe B., 2016. Riswicker Ergebnisse 2/2016. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Fachbereich 71 – Tierproduktion, Bad Sassendorf, 57 p.

Riassunto**Digeribilità *in vivo* di insilati di mais raccolti con tecniche diverse**

Nell'ambito di una prova sulla digeribilità dei foraggi, sono stati analizzati la digeribilità della sostanza organica e i valori nutritivi di insilati di pianta intera di mais (PIM) raccolti con tecniche diverse. Il confronto ha interessato quattro varianti: PIM standard insilata in silo a torre munito di fresa desilatrice, PIM standard insilata in balle fasciate, PIM shredlage e PIM powermais (arricchita in spighe). Le analisi chimiche hanno mostrato che i contenuti delle due varianti PIM standard e di quella PIM shredlage sono risultati essere paragonabili. La variante PIM powermais, invece, si è distinta dalle altre tre per delle concentrazioni più basse di costituenti parietali e più elevate di amido. Tra le varianti non sono state rilevate differenze a livello di: digeribilità della sostanza organica (dSO), proteina grezza, cellulosa grezza, fibra acido-detersa (ADF), fibra neutro-detersa (NDF) e energia totale. La dSO rilevata nella variante PIM powermais è risultata essere del 4,5 % più elevata ($P=0,046$) rispetto a quella delle due varianti PIM standard. Né la tecnica di raccolta (standard rispetto a shredlage), né quella di conservazione (silo rispetto a balle fasciate) hanno influenzato la digeribilità della PIM, ad eccezione della variante PIM powermais. A livello di valori nutritivi, non sono emerse differenze tra le varianti. Confrontate con i risultati della dSO misurata *in vivo*, le corrispondenti equazioni di regressione, inserite nella pubblicazione «Raccomandazioni alimentari per ruminanti» (in tedesco e francese), hanno dimostrato la loro accuratezza. A livello strutturale, rispetto a quanto capita nelle due varianti PIM standard, nella variante PIM shredlage si trovano costituenti di lunghezza maggiore, anche se la loro percentuale raggiunge solo 21 % a fronte del 25 % dichiarato da CLAAS. La tecnica di conservazione non ha influenzato la struttura del foraggio, perché le percentuali delle differenti frazioni costituenti sono risultate essere simili per le varianti PIM silo e PIM balle. L'utilizzo della fresa desilatrice non ha modificato la lunghezza delle particelle dell'insilato.

Summary***In vivo* digestibility of maize silages harvested with different techniques**

A trial was carried out to determine the organic-matter digestibility and nutritional value of whole-plant maize silages (WPMS's) harvested in different ways. Four methods were compared: standard WPMS from the tower silo removed with a silo unloader, standard WPMS in bales, WPMS shredlage, and cob-enriched WPMS (power maize). According to the chemical analyses, the nutritional content of the two standard WPMS and WPMS shredlage were comparable. By contrast, power maize differed from the other processes owing to its lower content of cell-wall components and higher starch content. There were no differences with the WPMS in terms of digestibility of organic matter (DOM), crude protein, crude fibre, ADF, NDF and gross energy. Power maize DOM was 4.5 % higher ($P=0.046$) than that of both standard WPMS's. With the exception of power maize, neither the harvest method (standard vs. shredlage) nor conservation method (silo vs. bales) influenced WPMS digestibility. There were no differences in terms of the nutritional values of the various WPMS silages. The regression equations for predicting DOM obtained from the Feed Recommendations for Ruminants permitted a precise estimate of the DOM values in comparison to the DOM obtained *in vivo*. In terms of particle fractions, WPMS shredlage is composed of more long particles than the two standard WPMS's, but at 21 % the total failed to achieve the 25 % score announced by CLAAS. The WPMS conservation method did not influence the percentage of particles: the proportions of the different particle fractions were similar for both silo and bales. Removal with the silo unloader thus had no influence on particle lengths.

Key words: silage, maize, shredlage, powermais.