

## PRINCIPES DE BASE DE L'ENSILAGE

### A. — QU'EST-CE QUE L'ENSILAGE ?

**L'**ENSILAGE A POUR OBJECTIF PRINCIPAL LA CONSERVATION DES FOURRAGES VERTS A L'ÉTAT HUMIDE, AVEC LE MINIMUM DE PERTES DE MATIÈRE SÈCHE ET D'ÉLÉMENTS nutritifs et sans formation de produits toxiques pour l'animal. Dans ce but, il est impératif :

- 1) de réaliser et de maintenir des conditions d'anaérobiose (absence d'oxygène) de façon à limiter les activités oxydatives des enzymes de la plante et de la flore aérobie (flore qui a besoin d'oxygène pour se développer) car elles entraînent des pertes considérables. L'utilisation de films plastiques permet facilement d'y parvenir ;
- 2) d'empêcher le développement de la flore butyrique qui est putréfiante et décompose les acides aminés en gaz carbonique, en ammoniac et en composés azotés, tels que les amines qui peuvent être toxiques. Cette flore ne résistant pas à un pH faible (*i-e* à un milieu acide), la façon la plus naturelle de l'inhiber est de favoriser le développement de la flore lactique parce que celle-ci abaisse rapidement le pH de l'ensilage.

Nous allons examiner les différentes phases qui se déroulent dès que la plante est mise dans le silo, pour mieux comprendre ces principes de base d'une bonne conservation.

### 1) Première phase : Action des enzymes de la plante.

#### *Respiration :*

Quand la plante est mise dans le silo, elle est encore vivante et respire activement tant que l'air emprisonné dans le silo contient de l'oxygène :

Sucre + oxygène → gaz carbonique + eau + chaleur

La respiration est l'équivalent d'une combustion avec dégagement de chaleur. Elle entraîne une perte de matière sèche très digestible et surtout diminue la quantité de sucre, sucre qui est nécessaire au développement ultérieur de la flore bénéfique de l'ensilage (flore lactique). Il convient donc de limiter la respiration et, pour cela, il faut remplir et fermer le plus rapidement possible les silos. En effet, en silos hermétiques, l'air emprisonné dans le silo est totalement épuisé de son oxygène en cinq ou six heures si le silo est refermé dès la fin du remplissage, en soixante-douze heures seulement si la fermeture est retardée de quarante-huit heures (LANGSTON et coll., 1958).

En silos classiques, il importe de savoir que le tassement a pour but, non pas tant de chasser l'air emprisonné dans le silo que d'empêcher son renouvellement. L'air emprisonné dans un silo rempli ne représente que la moitié environ du volume occupé par le fourrage et sa combustion ne permet d'augmenter la température de la masse de fourrage que de 1 à 2 °C au maximum (DEVUYST et VANBELLE, 1964). Quand un silo chauffe, c'est donc qu'il y a des entrées d'air frais dans la masse. Il convient certes de tasser, notamment quand les fourrages sont riches en matière sèche, mais surtout de remplir très vite et d'assurer l'étanchéité du silo (parois intérieures et dessus de l'ensilage) par un film de plastique. Le tassement sera d'ailleurs d'autant plus rapide et efficace que le fourrage aura été plus finement haché.

### *Hydrolyse des glucides et protéolyse des protéines :*

Les glucides solubles, qui représentent 4 à 30 % de la matière sèche des plantes fourragères, sont très rapidement hydrolysés après la fauche en glucose et en fructose qui seront les principales sources d'énergie des micro-organismes. En effet, l'amidon des céréales n'est pas ou très peu utilisé par la flore lactique à moins qu'il n'ait été hydrolysé en maltose par l'addition de malt. Les glucides membranaires jouent de même un rôle très réduit comme sources d'énergie pour les micro-organismes bien qu'une partie des hémicelluloses puissent être hydrolysées en pentose par les hémicelluloses de la plante.

Les protéines qui représentent généralement 70 à 80 % de l'azote total de la plante sont dégradées jusqu'au stade acides aminés par les enzymes de la plante. Cette protéolyse ne s'arrête que lorsque le pH est descendu en dessous de 4,0. Cela explique que, même dans le cas d'ensilage très bien réussi, la teneur en azote soluble arrive à doubler et à représenter 40 à 60 % de l'azote total.

### **2) Deuxième phase : Action des micro-organismes.**

L'herbe verte porte à sa surface plusieurs millions de micro-organismes par gramme de fourrage vert (LANGSTON et coll., 1962 ; GOUET et CHEVALIER, 1966). Ceux-ci se développent dans le silo en employant comme matière nutritive le contenu (suc cellulaire) des cellules végétales qui est libéré par plasmolyse dès que les cellules meurent par manque d'oxygène. Cette plasmolyse est d'autant plus rapide que les fourrages ont été mieux lacérés ou hachés plus finement.

Au départ, la grande majorité des micro-organismes est représentée par des bactéries aérobies strictes qui ne contribuent pas à la conservation de l'ensilage. Après un bref développement, elles disparaissent par suite du manque d'oxygène. Les bactéries anaérobies, peu nombreuses au départ (quelques dizaines de milliers), vont alors se multiplier très rapidement ; la phase de multiplication active ne dure que trois ou quatre jours si les conditions sont favorables. Le nombre de bactéries atteint alors plusieurs milliards par gramme d'ensilage frais et reste ensuite constant ou diminue très progressivement. Parmi ces bactéries, les plus nombreuses au départ et les premières

à se développer sont les bactéries coliformes parce qu'elles sont anaérobies facultatives. Elles transforment les sucres essentiellement en acide acétique et en gaz carbonique. Elles contribuent donc à un début d'acidification de l'ensilage mais avec un très mauvais rendement. Elles ne sont pas intéressantes, d'autant qu'elles dégradent aussi les acides aminés en ammoniac et en amines. Leur action étant stoppée dès que le pH descend en dessous de 4,5, elle est généralement de courte durée par suite de l'acidification rapide entraînée par la flore lactique dont certaines espèces (les lactobacilles) sont très résistantes à l'acidité (pH limite pour la croissance de 3,2 à 3,8 ; BECK, 1969), l'acidification inhibant tout autre développement bactérien.

Les bactéries lactiques sont des micro-organismes non sporulés, strictement anaérobies. Leur nombre est parfois inférieur à 100 par gramme de fourrage vert (soit 0,01 % de la flore initiale ; SEDERSEN et coll., 1973). La multiplication des bactéries lactiques est cependant très rapide dans le silo quand elles y trouvent des conditions favorables à leur croissance, à savoir : 1) une absence totale ou presque totale d'oxygène ; 2) la présence de sucres en quantité suffisante et libérés à temps. Si ces conditions sont réalisées, le nombre des bactéries lactiques atteint ou dépasse le milliard par gramme d'ensilage frais en moins de huit jours, les bactéries lactiques représentant alors la quasi-totalité de la flore de l'ensilage. Elles transforment les sucres en acide lactique, mais avec un rendement différent suivant qu'elles sont :

— homofermentaires :

1 glucose ou 1 fructose → 2 acide lactique

— hétérofermentaires :

1 glucose → 1 acide lactique + 1 alcool + 1 gaz carbonique

3 fructose → 1 acide lactique + 1 acide acétique + 1 mannitol

L'efficacité de la transformation est donc inférieure avec les hétérofermentaires et, pour ces derniers, varie aussi suivant la proportion respective de fructose et de glucose. Cela explique qu'il est difficile de prévoir la teneur en glucides solubles nécessaire (il suffit parfois de 6 à 8 % mais souvent plus de 12 % sur la base de la matière sèche) pour assurer une fermentation lactique suffisante pour abaisser le pH à 4,0, et cela d'autant plus que la quantité d'acide lactique nécessaire pour abaisser le pH à 4,0

dépend de la plante (pouvoir tampon variable suivant les plantes). Elle est élevée pour les légumineuses qui sont en outre pauvres en glucides solubles, donc s'ensilent difficilement. Elle est au contraire faible pour la plante de maïs.

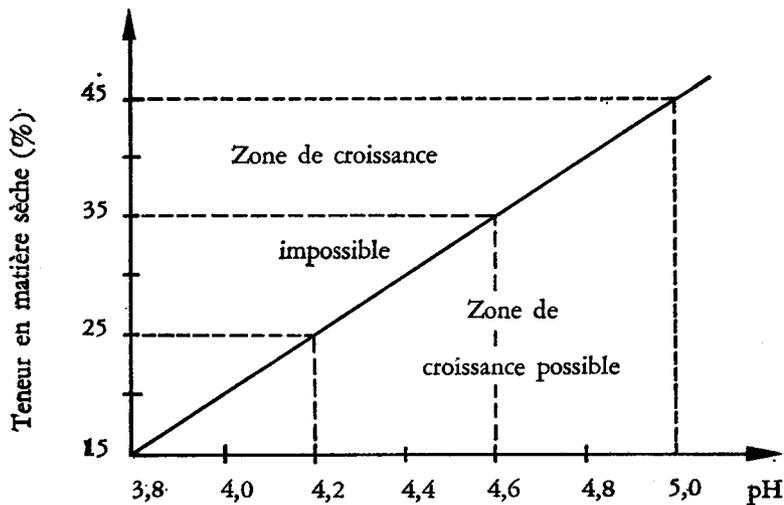
Si les bactéries lactiques ont suffisamment de sucres à leur disposition, le pH va descendre rapidement à 4,0 ou un peu en dessous, ce qui entraîne une inhibition complète de tout développement et de toute activité microbienne y compris de la flore lactique. De même, l'action des enzymes protéolytiques de la plante qui transforment les protéines en acides aminés s'arrête. On a donc atteint un état stable permettant une conservation presque indéfinie, du moins en l'absence d'oxygène.

En revanche, si le pH ne descend pas suffisamment rapidement ou s'il ne descend pas suffisamment bas, les bactéries butyriques (clostridies) vont se développer et proliférer. Ces bactéries, strictement anaérobies comme les bactéries lactiques, sont apportées sous forme de spores essentiellement par la terre (d'où l'intérêt essentiel de souiller le moins possible les fourrages de terre lors de la récolte ou du remplissage du silo). Ces spores se développent toujours avec quelque temps de retard sur les bactéries lactiques car elles ont besoin de germer avant de rentrer en activité. Les espèces saccharolytiques s'attaquent aux sucres résiduels et à l'acide lactique déjà formé et les transforment en acides butyrique et acétique, en gaz carbonique et en hydrogène (deux acides lactiques donnent seulement un acide butyrique). Il y a donc remontée du pH et la réaction s'accélère. Les espèces protéolytiques s'attaquent aux acides aminés pour les transformer soit en ammoniac, acides gras volatils et gaz carbonique, soit en amines (histamine, cadaverine, putrescine...) dont certaines sont toxiques. Il s'agit alors à proprement parler d'une putréfaction, l'ensilage est instable et se dégrade de plus en plus. Signalons que certaines bactéries lactiques peuvent aussi décomposer la serine et l'arginine (BRADY, 1965) en ammoniac et en acides gras volatils de sorte que l'on trouve toujours de l'ammoniac dans les ensilages même très bien réussis. Cependant, il représente alors moins de 5 % de l'azote total.

Les ferments butyriques sont non seulement sensibles à l'abaissement du pH mais aussi à l'élévation de la pression osmotique. Aussi le pH qui inhibe leur développement est-il d'autant plus élevé que la teneur en matière sèche est elle-même plus élevée. C'est ce que montre le graphique 1 emprunté à WIERINGA (1969).

### GRAPHIQUE 1

INFLUENCE DE LA TENEUR EN MATIÈRE SÈCHE DE L'ENSILAGE  
SUR LE pH INHIBANT LA CROISSANCE  
DE BACTÉRIES BUTYRIQUES



Cette influence de la teneur en matière sèche explique l'intérêt et le but du préfanage. Il faut cependant savoir qu'en pratique il faut attendre une teneur en matière sèche de 35 % environ pour inhiber totalement la fermentation butyrique.

En définitive, pour réussir un ensilage de qualité, il faut employer un silo très étanche ou le rendre tel par un film plastique, le remplir très rapidement (si possible dans la journée ou en trois ou quatre jours au maximum) d'un fourrage non souillé de terre et le fermer de suite. Le film plastique doit être étroitement plaqué à l'ensilage car, s'il y avait le moindre trou, l'air pourrait circuler sur tout le dessus de l'ensilage. Il faut donc le charger d'une couche de terre, sciure, paille, etc. Mettre quelques vieux pneus sur le film pour l'empêcher de s'envoler est insuffisant, sauf si on est sûr que le

film n'est pas troué et ne le sera pas. Un hachage très fin du fourrage est aussi primordial, car les fourrages hachés se tassent plus rapidement et libèrent plus facilement leurs sucs cellulaires. Toutes ces conditions sont cependant parfois insuffisantes, notamment si les fourrages sont trop riches en eau ou (et) trop pauvres en glucides solubles, ce qui est souvent le cas des graminées bien fertilisées et des légumineuses récoltées à un stade jeune. Il faut alors recourir au préfanage ou aux conservateurs pour être assuré de la réussite.

## LE PRÉFANAGE ET LES CONSERVATEURS

Le préfanage améliore considérablement la qualité de conservation des fourrages pauvres en sucres car il diminue la quantité d'acide lactique nécessaire pour inhiber la fermentation butyrique. Il ralentit d'ailleurs toutes les fermentations et permet par là souvent une augmentation des quantités ingérées par comparaison aux ensilages directs sans conservateur. Il supprime en outre les pertes sous forme de jus. Cependant, il entraîne une opération supplémentaire et, comme il n'est efficace que si la teneur en matière sèche est amenée à 35 % environ, il est malheureusement impossible à réaliser si les conditions climatiques sont mauvaises ou, pour le moins, complique beaucoup la réalisation et l'organisation du chantier d'ensilage. En pratique, les agriculteurs ramassent le fourrage après douze ou vingt-quatre heures de préfanage sans se préoccuper de la teneur en matière sèche, d'où la variation énorme de qualité des ensilages dits « préfanés » qui, en réalité, ne le sont souvent pas ou trop peu. Cela explique l'intérêt porté dans de nombreux pays aux conservateurs. On peut les classer en trois grands types :

— Les produits sucrés servant de substrat à la fermentation lactique. Ils favorisent la production d'acide lactique et l'abaissement du pH. On emploie le plus souvent de la mélasse (qui contient 50 % de sucres) à la dose de 2 % pour les graminées et de 4 % pour les légumineuses. Mais on peut aussi utiliser des céréales moulues additionnées de malt (les ferments lactiques ne peuvent pas utiliser directement l'amidon) ou de la pulpe sèche (qui contient 10 % de sucres). Les céréales et surtout la pulpe sèche ont l'avantage, en absorbant les jus (rétention respective d'environ 0,8 et 3 g d'eau par gramme de matière sèche pour les céréales moulues et les pulpes), de diminuer ou de supprimer les pertes sous forme de jus.

— Les produits bactériostatiques : ils ont pour but d'inhiber sélectivement la fermentation butyrique ou de restreindre l'ensemble des fermentations. Il existe de nombreux produits dans le commerce le plus souvent inefficaces, du moins aux doses recommandées. Actuellement, seul le formol semble intéressant. A la dose de 7 litres (à 35 %) par tonne, il donne des ensilages à pH élevé mais avec très peu d'ammoniac et d'acide butyrique. Les ensilages sont cependant instables à l'ouverture du silo et à cette dose, le formol a, dans nos essais, diminué la digestibilité de la matière organique et les quantités d'ensilage ingérées. Il semble beaucoup plus intéressant de l'employer à des doses plus faibles en association avec des acides, l'acide formique notamment.

— Les acides : en ajoutant un acide fort au fourrage, on abaisse artificiellement le pH, supprimant ainsi toute fermentation butyrique. C'est le principe de la méthode A.I.V. La solution A.I.V. est un mélange d'acide chlorhydrique (7 l) et d'acide sulfurique (1 l). Elle a une acidité de 14 N/l. Les doses recommandées au départ étaient de 7 litres de solution 2 N (soit 1 litre de mélange + 6 litres d'eau) par 100 kg d'herbe. Le pH descend très bas (vers 3,5), la dégradation ammoniacale est très réduite (inférieure à 5 % de l'azote total), la fermentation butyrique est totalement inhibée et la fermentation lactique est elle-même considérablement réduite. La conservation est presque parfaite. Malheureusement, ces ensilages sont assez mal consommés par le ruminant parce que trop acides et, les acides minéraux ne pouvant être catabolisés par l'animal, les ensilages A.I.V. sont déminéralisants. Avec les fourrages lacérés ou hachés, JARL (1948), SAUE et BREIREM (1969) ont d'ailleurs montré qu'on pouvait employer une dose deux fois moindre (soit 7 équivalent-acide) tout en obtenant d'excellents résultats. Cela constituait déjà une amélioration, mais la solution A.I.V. a été entièrement remplacée dans les pays nordiques par l'acide formique, d'un emploi plus facile. L'acide formique étant un acide organique a en outre l'avantage d'être catabolisé par le ruminant.

On emploie l'acide formique du commerce (à 85 %) à la dose de 7 équivalent-acide par 100 kg pour les graminées (soit 3,5 l/tonne) et de 10 équivalent-acide pour les légumineuses (5 l/tonne). Cette quantité peut être mise sous forme d'acide concentré si on dispose d'un appareil incorporateur monté sur la machine de récolte ou après dilution dans 30 l d'eau si elle est mise par aspersion au moment du remplissage du silo. L'acide for-

mique agit par son acidité, mais semble exercer en outre une action inhibitrice spécifique sur la respiration et sur la flore butyrique (SAUE et BREIREM, 1969). L'acide formique étant un acide moins puissant que la solution A.I.V., le pH de l'ensilage est généralement de l'ordre de 4,0, mais l'ammonogénèse demeure très réduite (entre 5 et 10 % de l'azote total) et la fermentation butyrique est inhibée. Quant à la formation d'acide lactique, elle est soit augmentée (par suite de l'effet d'épargne des sucres dans le cas des fourrages qui en sont pauvres), soit diminuée dans le cas des fourrages riches en sucres, le pH stoppant la fermentation lactique étant atteint plus rapidement. Dans tous les cas, la quantité d'acide acétique trouvée dans les ensilages est fortement diminuée. Au total, les quantités d'acides gras volatils (acétique, propionique, butyrique) et d'ammoniac sont donc diminuées comme dans les ensilages préfanés, ce qui explique que les ensilages réalisés à l'acide formique soient aussi bien consommés que les ensilages préfanés. L'acide formique peut donc être considéré comme un des meilleurs conservateurs actuellement sur le marché. Dans le but de diminuer la teneur en azote soluble des ensilages, (le pH ne diminue en effet pas aussi brutalement qu'avec la solution A.I.V., ce qui laisse subsister une certaine protéolyse) et le prix de revient du traitement, l'acide formique a été associé par les chercheurs finlandais à du formol (5 l d'un mélange à 22 % de formol et 26 % d'acide formique par tonne de fourrage, POUTIAINEN et HUIDA, 1970) qui insolubilise les protéines et limite leur protéolyse. Des essais sont actuellement en cours à Theix pour étudier si cela constitue vraiment une amélioration.

### LA STABILITÉ DES ENSILAGES SOUS DES CONDITIONS AÉROBIQUES

Nous avons vu que les ensilages correctement réussis étaient stables tant qu'ils étaient à l'abri de l'oxygène. Cependant, dès l'ouverture du silo, une dégradation aérobie ou « post-fermentation » (WOOLFORD, 1972) peut se produire. Cette dégradation peut être particulièrement importante et rapide dans les ensilages peu fermentés ayant conservé une teneur élevée en sucres : c'est le cas des ensilages conservés avec des produits bactériostatiques (formol), des ensilages très préfanés ou des maïs récoltés trop tardivement.

*d e l'ensilage* Les agents de cette dégradation sont les moisissures et les levures. On ne peut pas agir sur ces micro-organismes par l'intermédiaire du pH car ce 23

sont les micro-organismes de l'ensilage qui sont les plus résistants à l'acidité : ils survivent encore à des pH de 2,0.

Les moisissures sont des organismes strictement aérobies. La présence de parties moisies à l'ouverture d'un silo indique donc toujours un manque d'étanchéité de celui-ci. En présence d'air, les moisissures métabolisent tous les sucres ou acides organiques, laissant un résidu inconsommable.

Les levures sont des organismes à la fois aérobies et anaérobies. En milieu anaérobie, elles fabriquent essentiellement de l'alcool à partir des sucres. Elles sont souvent abondantes dans les ensilages de maïs, ce qui explique que ces ensilages contiennent 1 à 3 % de leur matière sèche sous forme d'alcool (nous en avons trouvé jusqu'à 5 à 6 % dans des ensilages de maïs gelés). D'après BECK (1963), elles sont les principaux agents de dégradation de l'ensilage après l'ouverture du silo ; les ensilages qui en contiennent plus de 100.000 par gramme seraient très instables après l'ouverture. En effet, en conditions aérobies, le nombre de levures peut atteindre 1.000 milliards par gramme en deux ou trois jours seulement. L'ensilage devient peu appétent ou est même totalement rejeté par les animaux et son ingestion entraîne des diarrhées.

GORDON et al. (1965) ont montré que certains fongicides employés pour le traitement des sols peuvent diminuer considérablement la dégradation aérobie, mais ils ignorent si ces produits sont toxiques et s'ils passent dans le lait. GROSS et BECK (1970) montrent que l'addition de 0,4 % d'acide propionique à l'ensilage de maïs après sa sortie du silo diminue considérablement les reprises en fermentations. L'acide propionique pourrait d'ailleurs être ainsi ajouté au moment de la mise en silo, mais cela revient bien sûr très cher.

On est donc relativement désarmé devant ce type de fermentation. La meilleure solution est sans conteste de ne pas faire de silos trop grands et restant ouverts trop longtemps, notamment si l'ensilage doit être utilisé l'été. Il conviendrait aussi de calculer la section du silo en fonction de la taille du troupeau pour avoir une vitesse d'avancement suffisante (20 à 25 cm par jour au minimum), mais cela est difficilement réalisable en libre-service.

## CONCLUSION

De réussite longtemps très aléatoire, l'ensilage des fourrages verts a souvent été considéré comme un mal nécessaire. Il est en réalité une méthode très valable de conservation des fourrages (la seule avec la déshydratation à permettre d'exploiter au stade optimal de récolte) à condition de bien en respecter les principes. Pour cela, il faut d'abord les connaître et les comprendre. Actuellement, la mise à la disposition de l'agriculteur de machines à coupe fine, de films de plastique de bonne qualité et de conservateurs efficaces (l'acide formique notamment) permet de réussir à coup sûr des ensilages bien conservés (et aussi bien consommés, cf. articles suivants), même dans le cas des ensilages directs de légumineuses. Les pertes de matière sèche restent faibles et inférieures à 10-15 % (les pertes d'énergie sont encore plus faibles car les acides préformés apportés par l'ensilage sont utilisés sans perte par l'animal) sauf dans le cas des ensilages très humides (teneur en matière sèche inférieure à 17 et surtout 15 %) par suite des pertes importantes sous forme de jus. Il faut, dans ce cas, soit subir les pertes, soit, si on veut les supprimer ou les réduire considérablement, ajouter un produit absorbant (pulpes sèches qui servent en même temps de conservateur) ou recourir à un léger préfanage amenant la teneur en matière sèche au-dessus de 22-24 %. Certes, cela constitue une opération supplémentaire et ne dispense pas de l'emploi d'un conservateur, le préfanage ne pouvant être considéré comme technique de conservation que dans la mesure où il amène la teneur en matière sèche du fourrage aux environs de 35 % de matière sèche.

C. DEMARQUILLY,

*Laboratoire des Aliments, I.N.R.A., Theix.*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- BECK T. (1963) : *Bayer landw. Jb*, 40, 477.
- BECK T. (1969) : *Proc. 3rd Gen. Meet. Europ. Grassland Fed.*, p. 207.
- BRADY C.-J. (1966) : *Aust. J. Biol. Sci.*, 19, 123.
- DEVUYST A., VANBELLE M. (1964) : *Agricultura*, 12, 125.
- GORDON C.-H., DERBYSHIRE J.-C., HUMPHREY J.-L. (1965) : *Annual meeting of the American Dairy Science Association*, Lexington, June 1965, p. 102.
- GOUET Ph., CHEVALIER R. (1966) : *Proc. 10th Intern. Grassland Congr.*, p. 533.
- GROSS F., BECK T. (1970) : *Wirtschaftseigene Futter*, 16, 1.
- LANGSTON C.-W., IRVIN H., GORDON C.-H., BOUMA C., WISEMAN H.-G., MELIN C.G., MOORE L.-A., McCALMONT J.-R. (1958) : *U.S.D.A., Tech. Bull.*, 1187
- LANGSTON C.-W., BOUMA C., CONNER R.-M. (1962) : *J. Dairy Sci.*, 45, 618.
- McDONALD P., WATSON S.-J., WHITTENBURY R. (1966) : *Edinburgh School of Agriculture. Miscellaneous Publication n° 357.*
- PEDERSEN T.-A., OLSEN R.-A., GUTTORMSEN D.-M. (1973) : *Acta Agric. Scand.*, 23, 109.
- PONTIAINEN E., HUIDA L. (1970) : *Keotoininta ja Kaytäntö*, 27, 2.
- SAUE O., BREIREM K. (1969) : *Proc. 3rd Gen. Meet. Europ. Grassland Fed.*, p. 161.
- 26 WIERINGA G.-W. (1969) : *Proc. 3rd Gen. Meet. Europ. Grassland Fed.*, p. 133.