

## Aptitude des films d'enrubannage pour l'ensilage des balles

### Faibles différences dans la qualité des films étirables; large gamme de couleurs

Rainer Frick, Agroscope FAT Tänikon, Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles, CH-8356 Ettenhausen

Un essai a comparé quinze films d'enrubannage afin d'étudier leurs propriétés pour la conservation de l'ensilage en balles. L'étude a porté sur la qualité des films (propriétés physiques et mécaniques, résistance à l'usure), l'échauffement des films, la qualité de fermentation et l'intégration de différentes couleurs de films dans le paysage pour le stockage des balles à l'extérieur.

Tous les films étirables étudiés remplissaient les exigences de la norme en ce qui concerne les principales propriétés mécaniques et physiques (tension, résistance à la traction et élongation au point de rupture, résistance à l'impact, adhésivité et perméabilité aux gaz). À l'exception des films étirables vert clair, tous les films résistent très bien à l'usure. Les films noirs et de couleur sombre s'échauffent nettement plus vite au soleil que

les films blancs et vert clair, ce qui augmente temporairement leur perméabilité au gaz. Cet inconvénient ne semble cependant avoir aucune influence sur la qualité de la fermentation. Comme le confirme une enquête, les films stretch de couleur sombre s'intègrent nettement mieux dans le paysage que les films blancs. C'est pourquoi il est recommandé d'utiliser de préférence des films stretch de couleur sombre pour le stockage des balles d'ensilage à l'extérieur. La qualité de ce type de films est équivalente à celle des films d'enrubannage blancs. Les films stretch de couleur noire, qui ne sont pratiquement plus utilisés en Suisse, restent néanmoins ceux qui affichent les meilleurs résultats en terme de qualité (très bonne résistance, stabilité aux rayons ultraviolets et adhésivité). Par ailleurs, ils ne contiennent

aucun colorant pigmentaire nocif pour l'environnement. Pour ne rien perdre de la qualité de l'ensilage, outre le choix des films et de la couleur appropriés, il est important de stocker correctement les balles sur un site adapté. Enfin, l'élimination des quantités croissantes de film chaque année via les centres d'incinération des ordures ménagères ne constitue pas une solution satisfaisante pour l'avenir.



Fig. 1: Quinze films différents ont été testés dans le but d'étudier leur qualité, leur résistance à l'usure, leur échauffement, la qualité de l'ensilage et l'intégration dans le paysage.

Sommaire	Page
Problématique	2
Organisation de l'essai	2
Normes de test des films étirables	3
Résultats	
Dimension et poids des rouleaux	4
Propriétés mécaniques et physiques	5
Résistance à l'usure	7
État des films à la fin du stockage	9
Échauffement des films	9
Qualité de fermentation de l'ensilage	12
Couleurs des films et intégration dans le paysage	12
Polluants dans les films stretch	13
Élimination des films d'enrubannage	14
Conclusions	14
Recommandations	15
Bibliographie	16

## Problématique

Si l'on en croit les estimations, le nombre de balles rondes et rectangulaires enrubannées au cours des dernières années en Suisse s'élève à près de 1,6 millions. Les avantages de la technique des balles par rapport aux autres procédés d'ensilage (notamment silo-tour et silo-couloir) sont connus: souplesse élevée, faibles investissements dans les bâtiments, les locaux de stockage et les machines, faible degré de mécanisation nécessaire et temps de travail réduit pour l'exploitation.

Pour enrubanner les balles d'ensilage d'herbe, on utilise aujourd'hui principalement des films blancs. Leur nombre augmentant chaque année, les balles blanches enrubannées de film blanc sont de plus en plus mal perçues par la population, qui les considère comme mal intégrées dans le paysage. Depuis quelques années, il existe également sur le marché des films de couleurs moins réfléchissantes. D'autre part, les balles d'ensilage posent un autre pro-

blème, celui de la qualité insuffisante du fourrage lorsque les balles sont stockées longtemps à l'extérieur. Outre les différentes explications possibles que sont le type de fourrage, le degré de préfanage, les souillures du fourrage, la densité de pressage, la technique d'enrubannage, la lésion du film et le stockage des balles, la qualité des films est elle aussi mise en cause. Un essai mis en place à la FAT a pour but de répondre aux questions suivantes: les films utilisés dans la pratique répondent-ils aux exigences de qualité? Existes-ils des différences de qualité entre les différents films d'enrubannage? Quels sont les avantages des films de couleur par rapport aux films blancs et aux films noirs? Comment les différentes couleurs de film s'intègrent-elles dans le paysage en cas de stockage des balles à l'extérieur? Les résultats de l'essai servent à établir des recommandations pour le choix des films et la conservation optimale de l'ensilage.

25 micro-m (= 25 mm/1000) et une largeur de 500 mm. Les films étudiés sont ce qu'on appelle des films stretch à base de polyéthylène linéaire à basse densité (PE-LLD). Ils sont toutes fabriquées selon le même principe (procédé d'extrusion) et se composent de trois couches: la couche centrale comprend la structure de base et confère au film la stabilité et l'extensibilité nécessaires. La couche interne est enduite de colle, ce qui garantit que les couches de films adhèrent les unes aux autres. Enfin, la couche externe contient le stabilisateur contre les rayons ultraviolets qui agit contre la détérioration des films. La couche externe des films blancs et de couleur contient en outre un colorant pigmentaire.

En ce qui concerne les couleurs, la gamme est variée de nos jours. En Suisse, les films blancs continuent à dominer. Les films de couleur sont certes de plus en plus utilisés, mais encore avec beaucoup de réserve. Parmi les couleurs, c'est le vert clair ou le vert pâle qui sont les plus utilisés. Les films vert foncé, verts, beiges ou gris sont plutôt rares. Quant aux films noirs, on ne les rencontre plus que dans des cas isolés.

Dans l'essai, on a utilisé cinq films blancs, quatre vert clair, un vert, trois vert foncé et deux noirs (fig. 1). Avec les films de couleur – notamment avec le vert clair – il existe des nuances plus ou moins nettes d'un fabricant à l'autre, bien que la désignation de la couleur soit la même. Le film vert clair d'Agriflex est nettement plus foncé que celui des autres fabricants; c'est pourquoi dans le présent rapport, nous l'avons considéré comme «vert». Les films vert foncé de Teno-spin et d'Agristretch sont vert olive, tandis que

## Organisation de l'essai

### Installation d'essai

Un essai a été organisé avec quinze films d'enrubannage différents. Les couleurs de films choisies étaient les suivantes: blanc, noir, vert clair et vert foncé. Deux balles rondes ont été réalisées avec chaque film. Les 30 balles rondes au total ont servi à conserver la première coupe d'une prairie temporaire fauchée fin mai (mélange standard 330). Le peuplement végétal au stade de récolte 4 contenait 85 % de graminées avec un rendement d'environ 40 dt MS/ha. Le fourrage a été préfané (conditionner, retourner deux fois) et affichait une teneur moyenne en MS de 38 % lors du pressage. La presse à balles rondes utilisée était une Welger RP 200 avec chambre de pressage constante et dispositif de coupe. Le tassement s'élevait en moyenne à 197 kg MS par m<sup>3</sup>. Les balles ont été enrubannées de six couches de film directement sur la parcelle. Le pré-étirage était de 60 % pour tous les films (sauf pour Teno-spin: 70 %). Les balles rondes ont ensuite été entreposées à l'aide d'une fourche pince-balles, posées sur la face arrondie les unes à

côtés des autres sur une aire gravillonnée, pendant dix mois.

### Films d'enrubannage utilisés

Les quinze films étudiés au total provenaient de cinq fabricants différents (tab. 1). Ils ont été sélectionnés pour l'essai en fonction de leur diffusion dans l'agriculture suisse. Les films utilisés présentaient une épaisseur normalisée de

Tab. 1: Films utilisés durant l'essai (largeur 500 mm, épaisseur 25 mikro-m)

Produit	Fabricant	Disponible chez	Couleur	Etirement nécessaire %
<b>Silotite</b>	Bonar Phormium Packaging B-9240 Zele Belgique	Baltensberger Farmtechnik AG 8311 Brütten	Blanc Vert clair Vert brun Noir	55-70
<b>Teno-spin</b>	Trioplast AB S-33323 Smalandsstenar Suède	Aemisegger Bruno Haufen 51 9426 Lutzenberg	Blanc Vert clair Vert olive Noir	65-80
<b>Aspla</b>	Aspla Plasticos Espanoles SA E-39300 Torrel Avega Espagne	Gebr. Herzog Langacker 5075 Hornussen	Blanc Vert clair	55-70
<b>Agriflex / Manuli</b>	Pentacast Manuli I-86077 Pozzilli Italie	Kuert Rudolf Seil- und Hebetchnik 4900 Langenthal	Blanc Vert	50-65
<b>Agristretch</b>	W. Hamburger Unterland A-6330 Kufstein Autriche	W. Hamburger Unterland A-6330 Kufstein Autriche	Blanc Vert clair Vert olive	jusqu'à 70

**Tab. 2: Critères de test et exigences par rapport aux films d'enrubannage**  
(Norme DLG pour les films PE de faible épaisseur, état 2001)

Propriétés	Exigences
<b>1. Dimensions</b> 1.1 Epaisseur du film  1.2 Largeur du film 1.3 Poids du rouleau	Epaisseur nominale minimale 0,025 mm (moyenne); variation autorisée des valeurs par rapport à la moyenne +/- 15 % Largeur nominale min. 500 resp. 750 mm 20,7 kg (500 mm) <sup>1)</sup> 25,9 kg (750 mm) <sup>2)</sup>
<b>2. Propriétés mécaniques</b> 2.1 Tension avec étirement à 80 % 2.2 Résistance à la traction en longueur et en largeur 2.3 Élongation au point de rupture en longueur et en largeur 2.4 Résistance à la déchirure en longueur 2.5 Relaxation (déclin de la force après 6 min. d'étirement à 80 %) 2.6 Résistance à l'impact avec étirement à 80 % 2.7 Adhésivité	> 10 N/mm <sup>2</sup> > 10 N/mm <sup>2</sup> > 400 % > 1,8 N < 40 % > 10 N > 0,05 N
<b>3. Usure</b> Résistance en cas d'exposition en plein air (rayonnement total env. 2000 MJ/m <sup>2</sup> ) 3.1 Élongation au point de rupture en longueur	> 350 % et < 30 % de réduction par rap. à l'état neuf
<b>4. Propriétés physiques</b> 4.1 Perméabilité à O <sub>2</sub> à 23 °C et 0,2 bar, 1 couche, non étirée	< 1800 cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> en 24 h

<sup>1)</sup> Pour une longueur nominale de 1800 m, une largeur nominale de 500 mm et une épaisseur nominale de 0,025 mm

<sup>2)</sup> Pour une longueur nominale de 1500 m, une largeur nominale de 750 mm et une épaisseur nominale de 0,025 mm

celui de Silotite est plutôt brun. Par contre, le blanc et le noir des films sont identiques chez tous les fabricants.

### Quels ont été les points étudiés?

● **Qualité des films:** propriétés mécaniques et physiques des films à l'état neuf et à l'état usagé. Les paramètres étudiés sont présentés au tableau 2. Pour réduire l'ampleur des mesures, les films usagés n'ont été soumis qu'à un programme de mesures réduit (résistance à la traction, élongation au point de rupture, résistance à la déchirure, résistance à l'impact et perméabilité aux gaz). Pour des questions de méthode, il n'a pas été possible de déterminer l'adhésivité des films à l'état usagé (trop faible adhésion entre les couches de films). À titre d'échantillons des films usagés, on a prélevé les deux couches de films les plus externes de chaque balle. Toutes les mesures relatives à la qualité des films ont été effectuées au LFEM de St-Gall, département emballage et plastiques.

● **État optique des films abîmés:** évaluation visuelle de la stabilité aux

rayons UV, de l'adhésivité et du changement de couleur au bout de dix mois de stockage des balles en plein air. Évaluation et notation par trois spécialistes.

● **Échauffement des films:** développement et évolution de la température

pendant 40 jours après l'enrubannage, directement sous le film, ainsi qu'à une profondeur de 5 et 15 cm sous le film. Mesures effectuées en continu à 30 minutes d'intervalle à l'aide de thermomètres électroniques.

- **Qualité de l'ensilage:** analyse des teneurs (cellulose brute, protéines brutes, cendres brutes) et des paramètres de fermentation (pH, acides, alcool, ammoniac) de l'ensilage après dix mois de stockage. Prélèvement du fourrage à l'aide d'une sonde à deux profondeurs (0-10 cm et 10-60 cm). Analyse des échantillons par la RAP à Posieux.
- **Qualité interne des films stretch:** contrôle de la teneur de quelques métaux lourds sélectionnés (Cd, Cl, Cr, Pb, Zn, Hg).
- **Estimation de l'intégration des différentes couleurs de film dans le paysage** par un large panel de la population: réalisation d'une enquête à l'occasion de la journée portes ouvertes de la FAT en juin 1999. Environ 200 personnes des milieux agricoles et non agricoles ont participé à ce sondage.

### Normes de test des films étirables

La qualité des films d'enrubannage doit satisfaire des **exigences élevées**. Les propriétés mécaniques (résistance à la traction, élongation au point de rupture) ne sont pas les seules à être importantes. Les films doivent également avoir une bonne adhésivité et être résistants aux

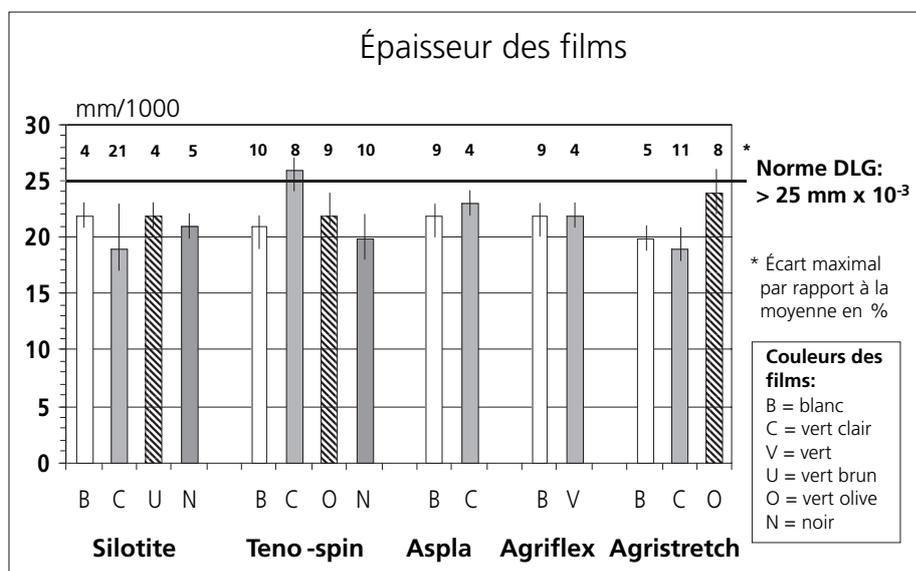


Fig. 2: Épaisseur des films (moyenne établie à partir de dix mesures) et comparaison avec la norme DLG.

rayons ultraviolets (UV) du soleil pour éviter une fragilisation rapide. Pour limiter le plus possible la consommation, les films devraient également avoir une très faible épaisseur. Concrètement, voici quelles sont les exigences:

- Résistance élevée à la traction
- Potentiel d'étirement élevé
- Résistance élevée aux impacts mécaniques (coups, frottements, pressions)
- Adhésivité élevée entre les différentes couches de film
- Perméabilité la plus réduite possible aux gaz
- Stabilité élevée par rapport aux rayons UV
- Résistance à la décomposition micro-biologique (résistance à l'usure)
- Composition chimique sans risque du point de vue écologique, c.-à-d. sans substances polluantes

Pour les films d'enrubannage, il existe **deux normes** en Europe: **DLG** (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Société Allemande d'Agriculture) et **AFNOR** (Association française de normalisation). Elles définissent d'une part, les exigences en ce qui concerne les propriétés mécaniques et physiques et d'autre part, les procédures de test pour les mesures en laboratoire. Les différences entre la norme française et la norme allemande sont

minimes. Le présent essai est fondé sur la norme de test de la DLG. Le tableau 2 indique les différents critères de test et les exigences minimales de ladite norme.

Les mesures réalisées au LFEM de St-Gall ont suivi scrupuleusement les procédures de test définies dans la norme, ce qui permet de comparer les résultats aux exigences en vigueur.

## Résultats

### Dimension et poids des rouleaux

Dans un premier temps, il est important que le film ait une **épaisseur optimale** pour que ses propriétés mécaniques soient irréprochables. Un film trop fin se déchire lorsque l'enrubanneuse l'étire. En revanche, des films trop épais entraînent une consommation de films élevée et inutile. L'épaisseur nominale des films est de 0,025 mm. Les valeurs de mesure indiquées au tableau 3 pour l'épaisseur sont des moyennes établies à partir de dix mesures. À partir de là, on constate que la valeur minimale ne doit pas être inférieure à 0,023 mm et la valeur maximale ne doit pas dépasser 0,032 mm. L'amplitude de variations des résultats autour de la moyenne ne doit pas être

supérieure à 15 %. Il est surprenant de voir qu'à l'exception de deux films (Teno-spin vert clair et Agristretch vert olive), tous les films ne sont pas assez épais (fig. 2). Pour quatre films, l'épaisseur mesurée, avec des valeurs comprises entre 0,019 et 0,02 mm, se situe nettement en dessous de la valeur nominale requise. Tous les films, à l'exception de deux, étaient d'ailleurs en dessous de la valeur minimale. L'écart maximal par rapport à la moyenne n'est supérieur à 15 % que dans un seul cas (Silotite vert clair). Toutefois, l'épaisseur trop faible des films n'a pas eu d'influence négative sur leur résistance à la traction dans les essais pratiques.

Les mesures de la **largeur des films** montrent que la majorité des films étudiés sont juste en dessous de la largeur minimale requise de 500 mm (tab. 3). Néanmoins, l'écart par rapport à la valeur nominale n'est supérieur à 1 % que dans deux cas (Agriflex blanc et vert).

L'épaisseur, la largeur et la longueur du film permettent de calculer le **poids net du rouleau**. Ce dernier donne une première indication sur la quantité ou surface de film disponible. Le poids net du rouleau se calcule selon la formule suivante:

$$\text{Poids net minimal [kg]} = \text{Longueur nominale [m]} \times \text{largeur nominale [m]} \times \text{épaisseur nominale [mm]} \times 0,92 \text{ (poids moyen spécifique en kg/dm}^3\text{)}$$

**Tab. 3: Epaisseurs, largeurs des films mesurés et poids des rouleaux pesés. Comparaison avec les valeurs nominales et théoriques correspondantes**

Produit	Couleur du film	Epaisseur du film mm/1000	Largeur du film mm	Poids net des rouleaux	
				Théorique <sup>1)</sup> kg	Pesé kg
Silotite	Blanc	22	496	18,1	17,1
	Vert clair	19	497	15,6	20,6
	Vert brun	22	495	18,0	17,3
	Noir	21	496	17,3	16,9
Teno-Spin	Blanc	21	498	17,3	20,7
	Vert clair	26	501	21,6	20,9
	Vert olive	22	500	18,2	20,3
	Noir	20	499	16,5	20,3
Aspla	Blanc	22	498	18,1	20,5
	Vert clair	23	500	19,0	20,8
Agriflex	Blanc	22	492	17,9	20,5
	Vert	22	488	17,8	20,4
Agristretch	Blanc	20	497	16,4	20,6
	Vert clair	19	500	15,7	20,0
	Vert olive	24	498	19,8	20,1
Norme DLG:	Valeur nominale	<b>25</b>	<b>500</b>	<b>20,7<sup>2)</sup></b>	

<sup>1)</sup> Pour une longueur nominale de 1800 m et la largeur et l'épaisseur mesurées

<sup>2)</sup> Pour une longueur nominale de 1800 m, une largeur nominale de 500 mm et une épaisseur nominale de 0,025 mm

Pour une longueur nominale de 1800 m, une largeur nominale de 500 mm et une épaisseur nominale de 0,025 mm, la valeur nominale du poids net du rouleau est de 20,7 kg. Le tableau 3 donne la liste du poids net des rouleaux de films utilisés dans l'essai. Étant donné l'épaisseur parfois relativement faible du film, il n'est pas étonnant que pour plusieurs films, le poids du rouleau se situe en dessous de la valeur nominale. L'avant-dernière colonne du tableau indique également les valeurs théoriques, obtenues à partir de l'épaisseur et de la largeur des films (sur la base de mesures). La comparaison avec le poids des rouleaux pesés montre que trois films Silotite (blanc, vert brun et noir) sont même 400 à 1000 g en dessous de ces valeurs théoriques minimales. Les résultats présentés pour les dimensions et les poids doivent donc être considérés avec réserve, sachant que pendant l'essai, on ne disposait que d'un seul rouleau par type de film et qu'on ne peut pas exclure des différences de fabrication d'un rouleau à un autre.

## Propriétés mécaniques et physiques

### Tension

La tension est la force à la surface qui s'exerce lors de l'essai de traction lorsque l'étirement est de 80 % dans le sens de la longueur. Selon la norme, elle doit atteindre au moins 10 N/mm<sup>2</sup>.

Les valeurs relevées pour la tension sont présentées à la figure 3. Les quinze films étirables remplissent les exigences en matière de tension. La valeur la plus élevée (16 N/mm<sup>2</sup>) a été atteinte par le film étirable noir de Silotite, la valeur la plus basse par le film vert clair de Teno-spin (11,5 N/mm<sup>2</sup>). Entre les différents types de film, il existe parfois des différences statistiquement significatives. Il n'existe aucun lien logique entre la tension et l'épaisseur du film.

### Résistance à la traction

La résistance à la traction, relevée tout comme l'élongation au point de rupture dans l'essai de traction dans le sens de la longueur et de la largeur, correspond à la force avec laquelle le film atteint une déformation définitive («déformation à la rupture»). Selon la norme de test DLG, la valeur minimale exigée pour la résistance à la traction est de 20 N/mm<sup>2</sup> dans le sens de la longueur comme dans le sens de la largeur.

Comme le montrent les mesures sur les nouveaux films étirables, tous les films testés satisfont les exigences en ce qui concerne la résistance à la traction dans le sens de la longueur. Ils dépassent même parfois nettement la valeur théorique de 20 N/mm<sup>2</sup> (tab. 4). Même la plus

Tab. 4: Résistance à la traction et élongation au point de rupture à l'état neuf (moyenne établie à partir de 10 mesures), comparaison avec la norme DLG

Produit	Couleur du film	Résistance à la traction en N/mm <sup>2</sup>				Élongation au point de rupture en %			
		Dans de longueur		Dans la largeur		Dans de longueur		Dans la largeur	
		Moyenne <sup>1)</sup>	Ec. type <sup>2)</sup>	Moyenne <sup>1)</sup>	Ec. type <sup>2)</sup>	Moyenne <sup>1)</sup>	Ec. type <sup>2)</sup>	Moyenne <sup>1)</sup>	Ec. type <sup>2)</sup>
Silotite	Blanc	37,6 <sup>cde</sup>	3,70	35,6 <sup>b</sup>	2,37	568 <sup>bc</sup>	30,9	750 <sup>e</sup>	23,8
	Vert clair	40,0 <sup>bcd</sup>	2,85	35,4 <sup>bc</sup>	2,08	525 <sup>de</sup>	14,1	711 <sup>f</sup>	18,8
	Vert brun	33,3 <sup>fg</sup>	1,75	31,6 <sup>de</sup>	1,51	530 <sup>de</sup>	25,9	715 <sup>f</sup>	19,4
	Noir	37,2 <sup>def</sup>	4,46	33,0 <sup>cd</sup>	1,84	528 <sup>de</sup>	45,1	713 <sup>f</sup>	22,2
Teno-Spin	Blanc	40,3 <sup>bc</sup>	3,00	34,2 <sup>bc</sup>	2,77	588 <sup>bc</sup>	47,2	800 <sup>bc</sup>	21,9
	Vert clair	33,8 <sup>fg</sup>	3,84	34,8 <sup>bc</sup>	1,97	581 <sup>bc</sup>	40,7	811 <sup>ab</sup>	22,1
	Vert olive	32,6 <sup>g</sup>	2,86	30,7 <sup>ef</sup>	1,77	548 <sup>cd</sup>	29,4	792 <sup>bcd</sup>	21,2
	Noir	37,3 <sup>def</sup>	1,81	34,9 <sup>bc</sup>	2,48	660 <sup>a</sup>	23,7	775 <sup>cde</sup>	27,4
Aspla	Blanc	35,9 <sup>ef</sup>	3,81	35,0 <sup>bc</sup>	4,23	504 <sup>e</sup>	26,3	791 <sup>bcd</sup>	49,5
	Vert clair	40,9 <sup>b</sup>	3,29	39,5 <sup>a</sup>	2,65	516 <sup>e</sup>	13,0	830 <sup>ab</sup>	24,9
Agriflex	Blanc	40,7 <sup>b</sup>	3,36	34,4 <sup>bc</sup>	1,05	501 <sup>e</sup>	21,6	807 <sup>ab</sup>	12,0
	Vert	44,9 <sup>a</sup>	2,50	29,2 <sup>f</sup>	3,19	421 <sup>g</sup>	14,0	789 <sup>bcd</sup>	50,0
Agristretch	Blanc	35,9 <sup>ef</sup>	2,62	33,1 <sup>bcd</sup>	1,44	564 <sup>bc</sup>	23,2	771 <sup>de</sup>	18,5
	Vert clair	29,2 <sup>h</sup>	2,22	29,4 <sup>ef</sup>	2,76	456 <sup>f</sup>	35,5	725 <sup>f</sup>	25,4
	Vert olive	32,6 <sup>g</sup>	2,08	31,5 <sup>def</sup>	2,48	577 <sup>bc</sup>	19,1	772 <sup>de</sup>	30,2
Norme DLG:		> 20 N/mm <sup>2</sup>		> 20 N/mm <sup>2</sup>		> 400 %		> 400 %	

<sup>1)</sup> Les films avec des lettres différentes se différencient de manière statistiquement significative avec un seuil de probabilité < 5 %.

<sup>2)</sup> Ec. type = écart type

faible résistance à la traction mesurée (Agristretch vert clair) est encore de près de 30 N/mm<sup>2</sup>. Entre les différents types de film, il existe parfois des différences statistiquement significatives. Les quinze films testés affichent une résistance à la traction suffisante également dans le sens de la largeur. Les valeurs mesurées sont comprises entre 29,2 (Agriflex vert) et 39,5 N/mm<sup>2</sup> (Aspla vert clair). Les différences statistiquement significatives entre les films sont moins marquées que dans le cas de la résistance à la traction dans le sens de la longueur.

### Élongation au point de rupture

L'élongation au point de rupture correspond à l'étirement maximal que peut

atteindre le film étirable avec la tension de traction maximale. L'étirement est indiqué en pourcentage par rapport à la longueur initiale et doit atteindre au moins 400 % en longueur et en largeur selon la norme DLG. La norme AFNOR, quant à elle, indique une valeur minimale de 400 % pour l'élongation au point de rupture dans le sens de la longueur et une valeur minimale de 600 % dans le sens de la largeur.

Les résultats de l'élongation au point de rupture sont répertoriés au tableau 4. Tous les films testés remplissent les exigences en matière de l'élongation au point de rupture dans le sens de la longueur. Deux films (Agriflex vert et Agristretch vert clair) dépassent les 400 % requis, bien que de relativement peu. La très importante élongation au point de rupture de 660 % du film noir de Teno-spin est frappante. Les différents films se distinguent parfois considérablement.

Les quinze films testés remplissent également les exigences minimales en ce qui concerne l'élongation au point de rupture dans le sens de la largeur et les dépassent même largement avec des valeurs de plus de 700 %. Ceci, même si on utilise la norme AFNOR plus sévère (étirement d'au moins 600 %) pour la comparaison. Les différences entre les films sont moins significatives que dans le cas de l'élongation au point de rupture dans le sens de la longueur. Les films de Silotite et Agristretch sortent un peu du lot, puisqu'ils affichent des valeurs légèrement plus basses.

La résistance et l'élongation au point de rupture sont sans aucun doute les pro-

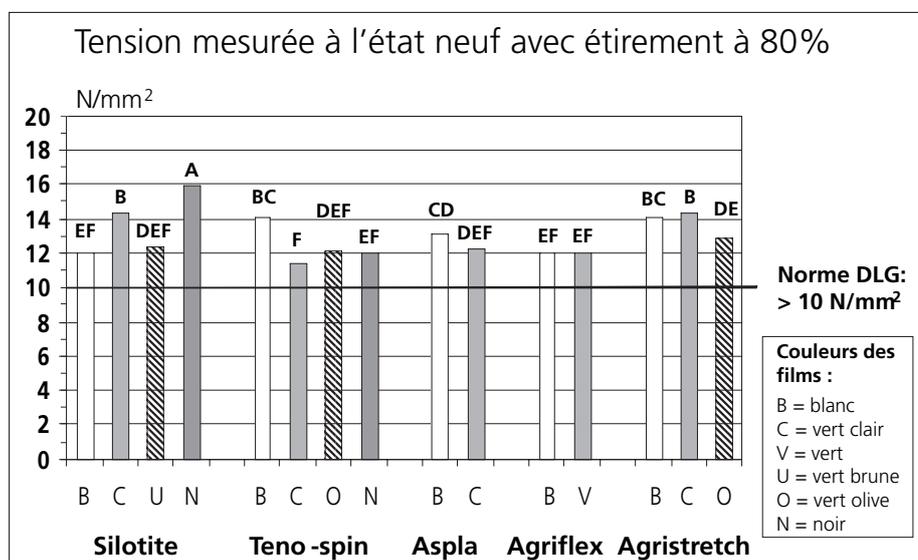


Fig. 3: Tension avec étirement à 80 % à l'état neuf (moyenne établie à partir de six mesures) et comparaison avec la norme DLG.

**Tab. 5: Résistance à la déchirure en longueur, relaxation (avec étirement à 80 %) et résistance à l'impact (non étiré) à l'état neuf, comparaison avec la norme DLG**

Produit	Couleur du film	Résist. à la déchirure	Relaxation	Résist. à l'impact
		Moyenne <sup>1)</sup> N	Moyenne <sup>1)</sup> %	Moyenne <sup>1)</sup> N
Silotite	Blanc	1,79 <sup>d</sup>	45,5 <sup>c</sup>	17,8 <sup>bcd</sup>
	Vert clair	1,65 <sup>fg</sup>	41,3 <sup>b</sup>	17,3 <sup>bcde</sup>
	Vert brun	1,65 <sup>fg</sup>	41,5 <sup>b</sup>	17,1 <sup>cde</sup>
	Noir	1,68 <sup>f</sup>	48,5 <sup>d</sup>	19,1 <sup>ab</sup>
Teno-Spin	Blanc	1,95 <sup>bc</sup>	42,4 <sup>b</sup>	18,2 <sup>bcd</sup>
	Vert clair	2,13 <sup>a</sup>	43,8 <sup>bc</sup>	15,9 <sup>efg</sup>
	Vert olive	1,96 <sup>bc</sup>	43,8 <sup>bc</sup>	14,7 <sup>gh</sup>
	Noir	2,03 <sup>b</sup>	43,0 <sup>bc</sup>	17,3 <sup>bcde</sup>
Aspla	Blanc	1,77 <sup>de</sup>	41,8 <sup>b</sup>	18,4 <sup>bcd</sup>
	Vert clair	1,92 <sup>c</sup>	41,5 <sup>b</sup>	20,1 <sup>a</sup>
Agriflex	Blanc	1,70 <sup>ef</sup>	37,0 <sup>a</sup>	17,8 <sup>bcd</sup>
	Vert	1,60 <sup>gh</sup>	37,6 <sup>a</sup>	18,7 <sup>abc</sup>
Agristretch	Blanc	1,54 <sup>h</sup>	42,6 <sup>b</sup>	13,9 <sup>h</sup>
	Vert clair	1,83 <sup>d</sup>	42,9 <sup>bc</sup>	15,3 <sup>fgh</sup>
	Vert olive	1,82 <sup>d</sup>	42,7 <sup>b</sup>	16,8 <sup>def</sup>
Norme DLG:		<b>&gt; 1,8 N</b>	<b>&lt; 40 %</b>	<b>&gt; 10 N</b>

<sup>1)</sup> Les films avec des lettres différentes se différencient de manière statistiquement significative avec un seuil de probabilité < 5%.

priétés mécaniques les plus importantes pour les films d'enrubannage. Les films qui obtiennent de bons résultats aussi bien pour la résistance à la traction que pour l'élongation au point de rupture et ce, dans les deux directions, doivent être considérés comme de bons films. Sur la base des mesures effectuées, voici les films qui ont obtenu de très bons résultats à ce niveau: Teno-spin noir, Teno-spin blanc, Aspla vert clair et Silotite vert clair.

**Résistance à la déchirure**

La résistance à la déchirure est la résistance à laquelle le film peut être soumis après la déformation à la rupture dans l'essai de traction. Elle est mesurée dans le sens de la longueur et doit atteindre au moins 1,8 N selon la norme DLG. Comme le montrent les résultats de mesure à l'état neuf, sept films affichent une résistance à la déchirure insuffisante (tab. 5). Les films blancs d'Agristretch et les films verts d'Agriflex présentent des valeurs nettement trop basses. Les quatre films de Teno-spin en revanche obtiennent de très bons résultats en ce qui concerne la résistance à la déchirure. Les résultats de la résistance à la déchirure ne présentent aucun lien avec la résistance à la traction, l'élongation au point de rupture ou encore l'épaisseur du film.

**Relaxation**

Pour mesurer le comportement de relaxation, le film est étiré à 80 % dans le sens de la longueur. Six minutes plus tard, la force de traction est de nouveau mesurée. Le déclin de la force entre la première et la deuxième mesure ne doit pas dépasser 40 % selon la norme. Sur la base des résultats du tableau 5, presque tous les films testés dépassent légèrement les 40 % autorisés. Seuls les

deux films d'Agriflex remplissent les exigences en matière de relaxation. Le film noir et le film blanc de Silotite sont ceux qui ont obtenu les plus mauvais résultats dans le test de relaxation.

**Résistance à l'impact**

La résistance à l'impact sert de point de départ pour évaluer la résistance du film aux impacts mécaniques. Plus la résistance à l'impact est élevée, plus le film résiste aux coups et dommages qui peuvent par exemple survenir lors du transport des balles. La résistance à l'impact se mesure avec un poinçon d'un diamètre de 12,5 mm, dont la pointe est biseautée à 60°. La mesure se fait depuis l'intérieur et depuis l'extérieur. Selon la norme DLG, la résistance à l'impact doit être d'au moins 10 N. Pendant l'essai, on a relevé des valeurs comprises entre 13,9 et 20,1 N pour la résistance à l'impact à l'état neuf (tab. 5). Tous les films testés remplissent donc les exigences liées à la perforation.

**Adhésivité**

Pour tester l'adhésivité, on procède à un test consistant à décoller des couches de film non étirées de 50 mm de large (côté interne contre côté externe) à une vitesse de 50 mm/min. Pour les films avec particules de colle intégrées, la valeur minimale selon la norme DLG est de 0,05 N. D'après les valeurs mesurées durant le test, sept films étirables ne remplissent pas cette exigence (fig. 4). Il faut néanmoins signaler qu'aucun des films ne se situe très en dessous de la valeur minimale de 0,05 N; les valeurs les plus basses sont de 0,044 N (Silotite vert brun et

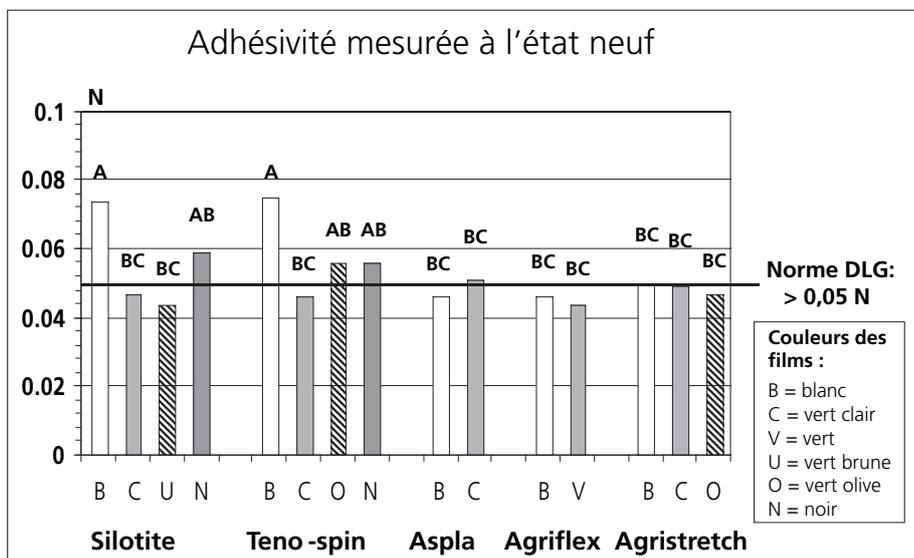


Fig. 4: Adhésivité à l'état neuf (moyenne établie à partir de six mesures) et comparaison avec la norme DLG.

Agriflex vert), soit juste en dessous. Les deux films blancs de Silotite et Teno-spin sont ceux qui s'avèrent les plus adhésifs. Les deux films noirs sont également très adhésifs.

### Perméabilité aux gaz

Outre les propriétés mécaniques, une faible perméabilité aux gaz est également une propriété importante pour obtenir des conditions idéales de fermentation à l'intérieur des balles après l'enrubannage. Durant l'essai, on a donc testé la perméabilité des films à l'oxygène (O<sub>2</sub>) et au dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Des valeurs limites n'ont été définies que dans le cas de la perméabilité à l'oxygène, c'est pourquoi les résultats relatifs à la perméabilité au CO<sub>2</sub> ne seront pas commentés plus avant. Les mesures ont été effectuées aussi bien sur les films neufs que sur les films usagés.

La perméabilité aux gaz a été mesurée à l'aide d'une méthode isostatique, qui consiste à mesurer la diffusion d'oxygène sur une couche de film non étirée en plusieurs cycles de mesures à une pression de 0,2 bar, une température de 23 °C et une humidité relative de 50 %. Selon la norme, la perméabilité du film à l'oxygène

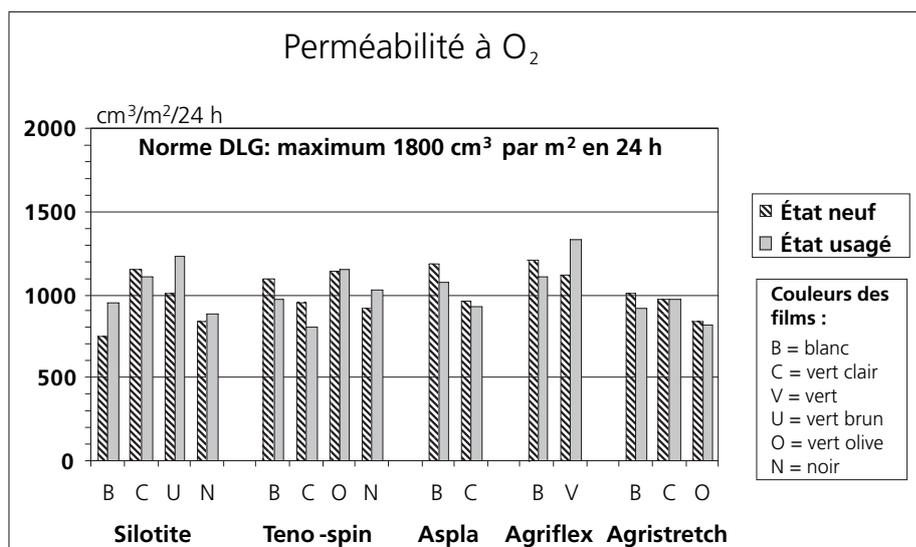


Fig. 5: Perméabilité à l'oxygène (O<sub>2</sub>) à l'état neuf et après dix mois d'exposition en plein air (films usagés) et comparaison avec la norme DLG.

ne ne devrait pas être supérieure à 1800 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24h.

Comme le montrent les résultats présentés à la figure 5, les valeurs de perméabilité à l'oxygène mesurées sur les films étudiés se situent dans une fourchette de 760 à 1330 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24h. Tous

les films testés remplissent donc les exigences en matière de perméabilité. La perméabilité la plus faible à l'oxygène a été obtenue avec les films blancs et noirs de Silotite ainsi qu'avec le film vert olive d'Agristretch. Les différences sont certes considérables d'un film à l'autre, mais ne sont pas d'importance capitale dans la mesure où les perméabilités, même les plus élevées, sont toutes largement en dessous de la valeur maximale autorisée. Par ailleurs, il est frappant de constater que la perméabilité des films aux gaz a à peine changé même après dix mois d'exposition en plein air. L'usure, resp. la fragilisation des couches supérieures du film ne semble donc pas avoir d'influence sur la perméabilité.

### Résistance à l'usure

La résistance des films à l'usure est une valeur complexe. Elle dépend essentiellement de trois composants:

- résistance chimique aux acides et aux gaz produits par l'ensilage,
- résistance aux microorganismes de l'ensilage (décomposition anaérobie) et de l'environnement (décomposition aérobie),
- résistance aux rayons UV et à l'oxydation.

### Réduction de l'élongation au point de rupture

La résistance des films à l'usure et aux intempéries peut être évaluée en comparant leur élongation au point de rupture à l'état neuf et à l'état usagé, c'est-à-dire en déterminant la baisse de l'élongation

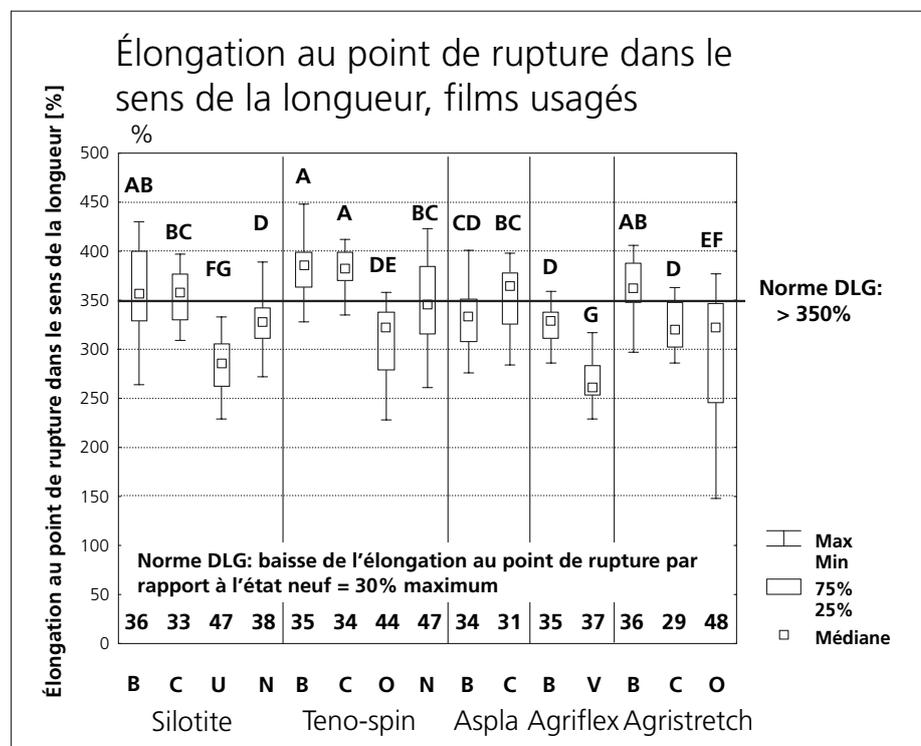


Fig. 6: Élongation au point de rupture dans le sens de la longueur des films usagés (moyenne établie à partir de vingt mesures) et baisse de la résistance à l'étirement par rapport à l'état neuf en pourcentage comme critère de résistance à l'usure. Les films avec des lettres différentes sont significativement différents ( $p = 0,05$ ). Durant l'essai, l'ensoleillement était supérieur à l'ensoleillement global de 2000 MJ/m<sup>2</sup> fixé dans la norme.

au point de rupture par rapport à l'état neuf. Voici les paramètres à respecter selon la norme DLG: après une exposition de dix à douze mois en plein air et à des radiations totales d'environ 2000 MJ/m<sup>2</sup>, les films usagés doivent afficher un étirement dans le sens de la longueur d'au moins 350 %. En outre, la réduction de l'élongation au point de rupture par rapport à l'état neuf ne doit pas dépasser 30 %.

Tous les films, une fois usagés, enregistrent une nette baisse de leur élongation au point de rupture dans le sens de la longueur (fig. 6). Seuls sept des quinze films testés affichent à l'état usagé une élongation au point de rupture suffisante selon la norme. De plus, la baisse de l'élongation au point de rupture par rapport à l'état neuf est supérieure au 30 % maximum requis par la norme pour tous les films sauf un (Agristretch vert clair). Les baisses les plus élevées, comprises entre 47 et 48 %, sont celles du film vert olive d'Agristretch, du film brun vert de Silotite et du film noir de Teno-spin. Il faut cependant relativiser ces résultats, car la somme de radiation globale pendant toute la période où les balles ont été exposées à la lumière du soleil de fin mai à fin février, était de 2840 MJ/m<sup>2</sup>, soit nettement plus que les 2000 MJ/m<sup>2</sup> prévus par la norme DLG. La radiation globale plus élevée dans l'essai a entraîné

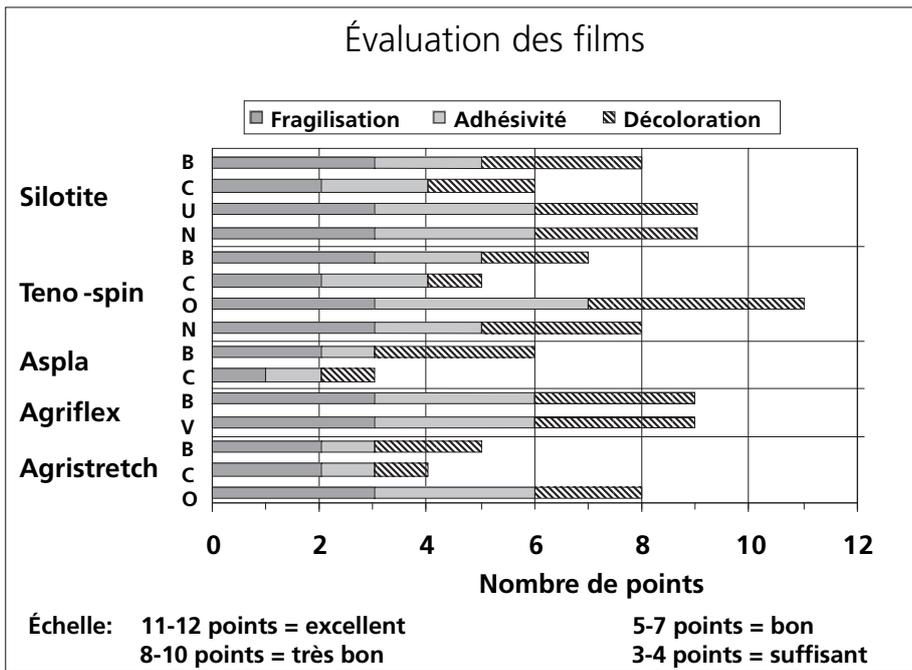


Fig. 8: Évaluation optique des films usagés après dix mois d'exposition en plein air. Critères évalués: fragilisation, adhésivité et décoloration.

une fragilisation relativement forte des films, d'où des résultats de mesures de l'élongation au point de rupture en dessous de la moyenne par rapport à la norme.

Dans le sens de la largeur, les films usagés ne présentaient en revanche aucune dé-

gradation de leur élongation au point de rupture. Cette dernière a même légèrement augmenté par rapport à l'état neuf, et ce, pour tous les films.

**Résistance à la traction, résistance à la déchirure et résistance à l'impact**

L'élongation au point de rupture n'est pas la seule chose qui a été mesurée sur les films usagés. On a également mesuré leur résistance à la traction, leur résistance à la déchirure et leur résistance à l'impact, bien qu'aucune norme ne soit disponible pour évaluer ces propriétés dans l'optique de la résistance à l'usure. Pour des questions de méthode, il n'a pas été possible de déterminer l'adhésivité des films usagés.

La figure 7 indique les **résistances à la rupture dans le sens de la longueur** relevées sur les films usagés. Par rapport à l'état neuf, les mêmes films présentent des valeurs plus ou moins similaires. Cela signifie que la résistance à la traction dans le sens de la longueur n'a quasiment pas changé à l'issue d'une exposition de dix mois en plein air. Dans certains cas, la résistance à la traction a même légèrement augmenté par rapport aux valeurs relevées à l'état neuf. Cette différence est sans doute due au fait que les échantillons testés n'étaient pas identiques. Avec les films usagés, l'amplitude de variation des valeurs de mesure est plus élevée qu'avec les films neufs. Dans le sens de la largeur par contre, la résis-

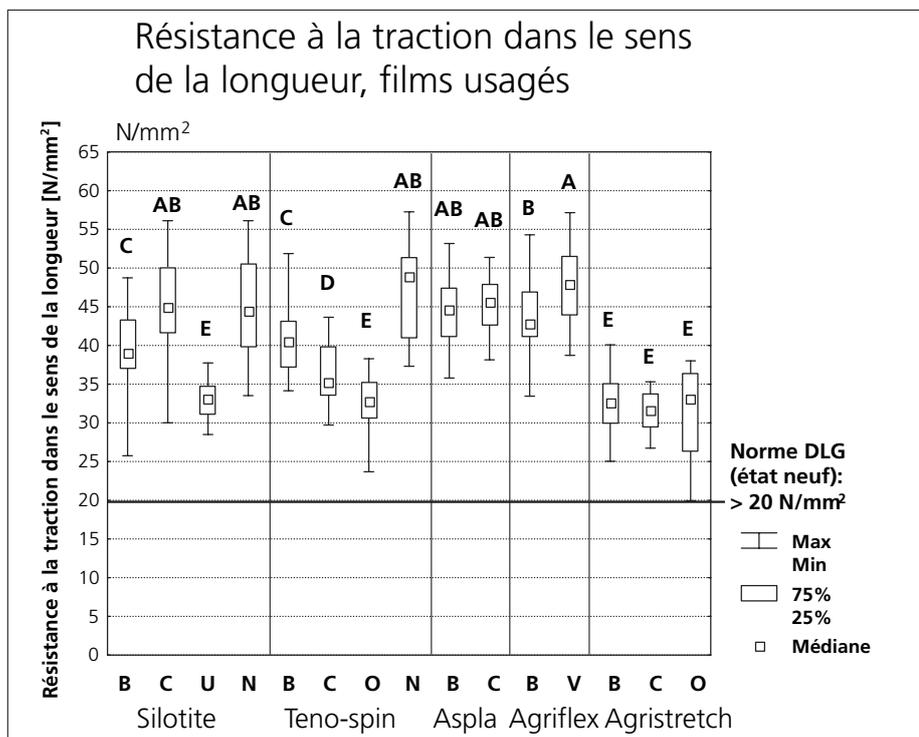


Fig. 7: Résistance à la traction dans le sens de la longueur des films usagés (moyenne établie à partir de vingt mesures). Les films avec des lettres différentes sont significativement différents (p = 0,05).

tance à la traction de tous les films usagés a nettement diminué par rapport à l'état neuf. Si l'on établit la moyenne de tous les films, la baisse représente 31 %, et même 50 % dans le cas le plus mauvais.

Les mesures de la **résistance à la déchirure** des films usagés ont mis en évidence une nette détérioration des valeurs de mesure pour tous les films testés. La baisse représente en moyenne 34 % par rapport à l'état neuf. Quant à la **résistance à l'impact**, on n'a constaté aucune baisse significative pour aucun des films à l'état usagé.

### État des films à la fin du stockage

Après que les balles d'ensilage aient été stockées pendant environ dix mois à l'extérieur, les films ont été soumis à un contrôle visuel. Il s'agissait essentiellement d'évaluer l'état mécanique (fragilisation, résistance), les propriétés d'adhésion (adhésivité) et les modifications de la couleur des films (décoloration). Des notes ont été attribuées à ces trois critères, un maximum de quatre points pouvant être attribué à chacun des critères. Les balles d'ensilage ont été évaluées par trois personnes, qui ont établi leurs notes indépendamment les unes des autres. Seules les deux couches supérieures du film ont été évaluées. Voici quels sont les résultats obtenus (fig. 8):

- Huit des quinze films ont obtenu un total d'au moins huit points sur douze, ce qui constitue un bon résultat pour les films testés. Dans l'ensemble, cela

montre qu'après une exposition de dix mois en plein air, les films d'enrubannage sont en nettement meilleur état que lors de précédentes utilisations ou essais pratiques. Cette conclusion est valable pour tous les films utilisés, mais plus particulièrement pour les films de couleur sombre.

- Les films noirs et de couleur sombre sont ceux qui ont obtenu les meilleurs résultats (de 8 à 11 points), suivis par les films blancs (de 5 à 9 points). Les films vert clair sont ceux qui ont obtenu les plus mauvais résultats (de 3 à 6 points). Le film vert d'Agriflex en revanche s'est avéré en très bon état (9 points).
- Le film qui a fait de loin la meilleure impression est le film vert olive de Teno-spin (11 points). En effet, ce film était à peine dégradé par rapport à l'état neuf. Sa couleur était pratiquement inchangée et il adhérait encore très bien.
- Les deux films vert clair d'Aspla et d'Agristretch sont ceux qui ont obtenu les plus mauvais résultats (3 resp. 4 points). Sur ces films, les couches externes étaient en partie effilochées, n'avaient plus de résistance et adhéraient à peine, voire se détachaient par endroit des couches intérieures. En outre, leur teinte était très décolorée. Mais grâce à l'enrubannage en six couches, le conditionnement de l'ensilage était garanti même pour ces balles (fig. 9).
- Parmi les films blancs, c'est celui d'Agriflex qui a obtenu les meilleurs résultats (9 points), et celui d'Agristretch les plus mauvais (5 points). Leur

couleur est généralement inchangée pour la plupart, mais ils sont souvent moins résistants et/ou moins adhésifs. Tous les films blancs présentaient des taches d'algues de couleur vert noirâtre sur les couches supérieures, signes d'une dégradation avancée.

Indépendamment du résultat de cette évaluation, il faut retenir une chose: les films testés faisaient bonne impression à l'oeil nu après dix mois d'exposition en plein air. Leur résistance à l'usure est parfaite à l'exception des films vert clair d'Aspla et d'Agriflex. En outre, l'essai ne confirme en aucun cas l'opinion souvent répandue dans la pratique selon laquelle les films noirs perdent de leur adhésivité après une longue exposition en plein air et que les films de couleur sombre résistent moins bien aux rayons UV. Ce dernier point se vérifie bien plus pour certains films de couleur vert clair.

**Récapitulatif:** *hormis quelques écarts, dans l'ensemble, les quinze films testés remplissent les exigences requises en matière de tension, résistance à la traction, élongation au point de rupture, adhésivité et perméabilité aux gaz. La résistance à l'usure est elle aussi très bonne sauf pour les films de couleur vert clair d'Aspla et d'Agristretch.*

### Échauffement des films

#### Mesures de températures

La température des balles a été mesurée dans la période qui a suivi le stockage, pendant plusieurs jours et à des profondeurs différentes. Les sondes de température installées à des profondeurs de 0, 5 et 15 cm relevaient l'évolution de la température à intervalles de 30 minutes. Les balles rondes étaient exposées toute la journée au rayonnement direct du soleil. Les sondes étaient placées tout en haut et au centre, c'est-à-dire au point le plus chaud. Les mesures ont été effectuées sur les cinq couleurs suivantes:

- blanc (Teno-spin)
- vert clair (Teno-spin)
- vert olive (Teno-spin)
- vert brun (Silotite)
- noir (Teno-spin)

#### Échauffement différent suivant la profondeur et la couleur du film

Les mesures de température des balles posées les unes à côté des autres ont débuté trois jours après leur enrubannage (28 mai). À partir du 30 mai, il a fait



Fig. 9: Par rapport aux films blancs, les films vert clair se voient légèrement moins dans le paysage, mais leur résistance à l'usure n'est pas toujours satisfaisante.

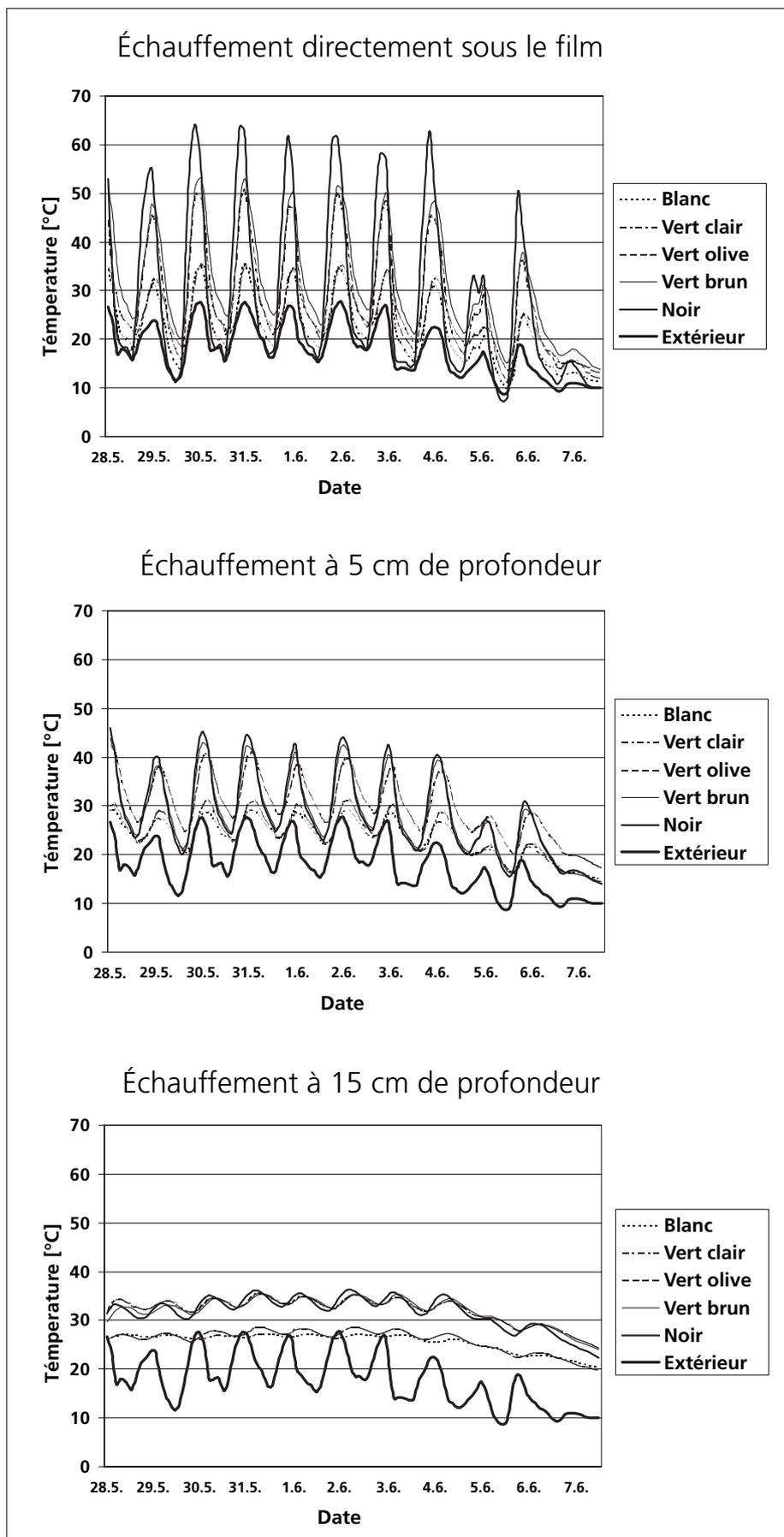


Fig. 10: Évolution des températures à trois profondeurs différentes (0, 5 et 15 cm) sous le film, ainsi qu'en plein air pendant onze jours à partir du début du processus de fermentation.

beau et chaud et les températures maximales avoisinaient 28°C pendant la journée. À partir du 4 juin, le temps est devenu pluvieux et frais; par la suite, les températures maximales n'ont plus guère dépassé le seuil des 20°C jusqu'à la fin des mesures.

Les graphiques de la figure 10 illustrent l'évolution de la température durant les onze premiers jours de mesure pour les cinq films testés et les trois profondeurs de mesure définies. À titre de comparaison, la figure 11 présente les températures mesurées un jour ensoleillé et très chaud (30 mai) et un jour pluvieux et frais (5 juin). Les mesures représentées constituent les valeurs maximales enregistrées au cours de la journée. Ces températures ne se sont en général maintenues que pendant quelques heures.

Pour les cinq couleurs de films, la température maximale a été enregistrée directement sous le film. Conformément à ce à quoi on s'attendait, les températures les plus élevées ont été atteintes sous le film noir et les températures les plus basses sous le film blanc. Le 30 mai, on a enregistré une valeur maximale de 64°C sous le film noir, de 56°C sous le film vert brun et de 52°C sous le film vert olive. Le film vert clair et le film blanc ont seulement atteint une température légèrement supérieure à 35°C en surface. La différence de température mesurée directement sous le film était de près de 30°C entre le film noir et le film blanc. À une profondeur de mesure de 5 cm, les différences de température sont déjà nettement plus faibles. Entre le film noir et le film blanc, la différence était néanmoins encore de 15°C. À une profondeur de 15 cm sous le film, la différence est encore plus réduite: là, entre le film blanc et le film noir, elle s'élevait encore à 9°C.

L'évolution de la température à la surface de la balle dépend en outre énormément des conditions météorologiques, resp. de la température extérieure. Ainsi, le 5 juin (fig. 11), tous les films se sont nettement moins réchauffés. Entre le film blanc et le film noir, la différence était de 20°C, soit nettement moins que le 30 mai. À une profondeur de mesure de 5 et de 15 cm, l'échauffement du film n'était plus qu'à peine perceptible et les différences entre les films atteignaient au maximum 7°C. Par conséquent, lors du stockage des balles en plein air, les films ne s'échauffent pratiquement qu'en surface. Dès une profondeur de 5 cm, les températures sont nettement tempérées par le fourrage. Le rayonnement du soleil et la température extérieure sont les princi-

paux facteurs d'influence de l'échauffement. Par rapport aux films noirs et de couleur sombre, les films blancs et vert clair réfléchissent mieux la lumière du soleil et s'échauffent donc moins.

**Répercussion sur la perméabilité au gaz**

Une élévation de la température augmente également la perméabilité des films aux gaz. Pour pouvoir évaluer quantitativement l'influence de l'échauffement des films sur la perméabilité aux gaz, on a mesuré la perméabilité à l'oxygène des films testés, non seulement à la température standard de 23°C, mais aussi à une température de 40°C. À partir de ces deux mesures et de l'équation d'Arrhenius, on a ainsi pu calculer la perméabilité de chaque film à l'oxygène en fonction de la température.

La figure 12 présente, sous forme d'exemple, la relation entre la température (axes des x) et la perméabilité à l'oxygène (axe des y), d'une part pour les quatre films de Teno-spin, et d'autre part pour la moyenne des quinze films. Selon cette courbe, une augmentation de 20°C à 40°C de la température à la surface du film entraîne une augmentation de 175% de la perméabilité aux gaz. Si la température atteint 50°C, la perméabilité augmente même de 230%. À près de 50°C, les 1800 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24h maximum tolérés par la norme DLG sont dépassés par tous les films en moyenne. Les films testés réagissent de manière très différente en ce qui concerne leur dépendance à la température.

Suite à la dépendance non linéaire de la perméabilité aux gaz par rapport à la température, les films qui s'échauffent beaucoup en cas d'exposition en plein air à cause de leur pigmentation, sont temporairement très perméables. La figure 13 présente les valeurs de perméabilité à l'oxygène en fonction des différentes couleurs de film (blanc, vert clair, vert, vert foncé, noir), valeurs qui peuvent être atteintes avec l'échauffement mesuré en plein air. Les valeurs de perméabilité sont basées sur les températures mesurées pendant l'essai (fig. 10). Tandis que la perméabilité aux gaz n'augmente que très légèrement avec les films blancs et vert clair, l'échauffement très important des films vert foncé et noirs se traduit par une nette augmentation de la perméabilité de ces films à l'oxygène, d'où un dépassement frappant du seuil de tolérance de 1800 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24h. Il faut néanmoins signaler que même pendant les jours ensoleillés et chauds, le fort

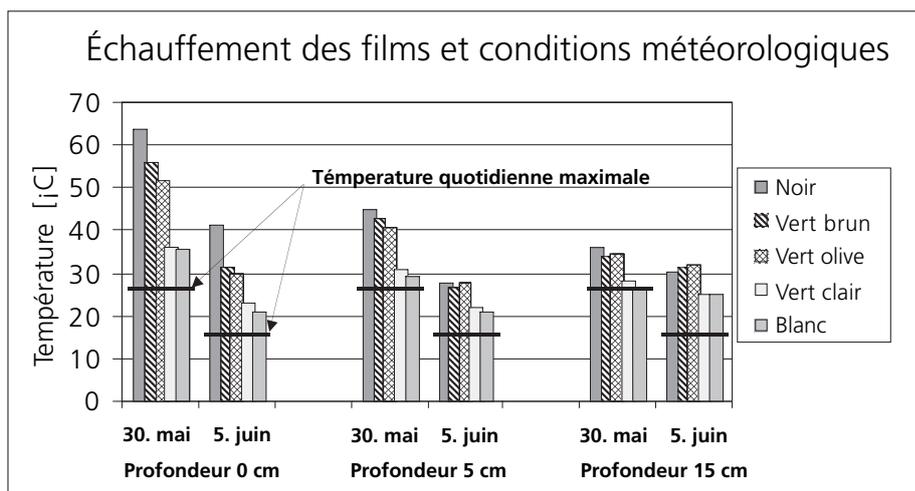


Fig. 11: Températures maximales mesurées à trois profondeurs différentes (0, 5 et 15 cm) sous le film, le 30 mai (jour ensoleillé et chaud) et le 5 juin (jour frais et pluvieux).

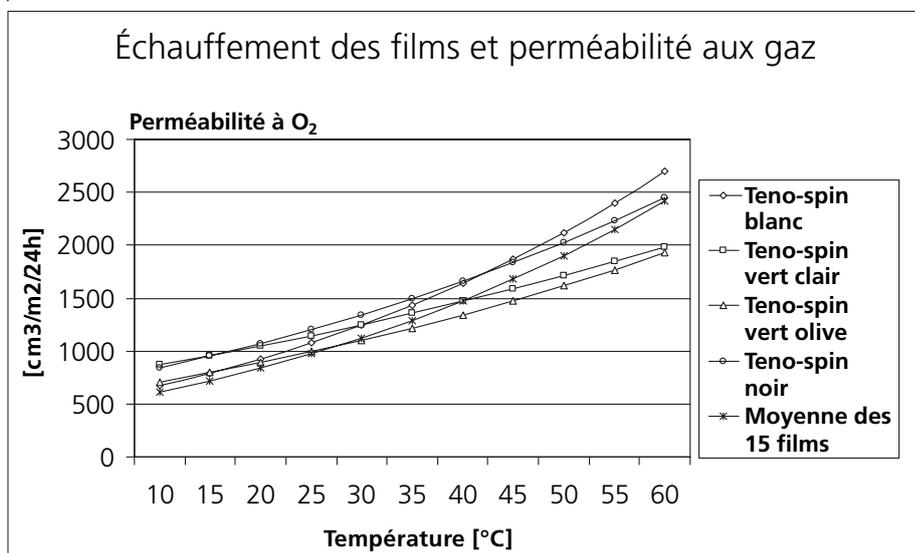


Fig. 12: Perméabilité à l'oxygène (O<sub>2</sub>) en fonction de la température de quatre films de couleurs différentes de la marque Teno-spin et de la moyenne des 15 films.

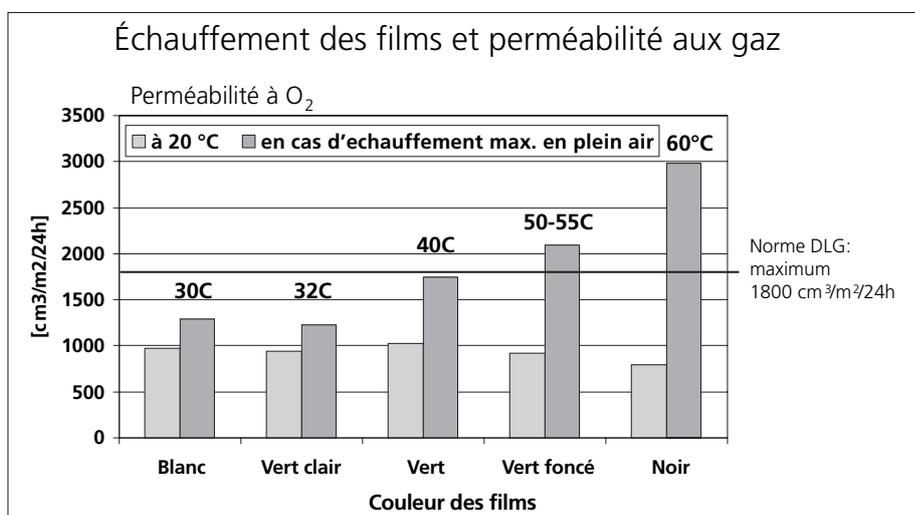


Fig. 13: Perméabilité à l'oxygène (O<sub>2</sub>) de cinq films de couleurs différentes à 20°C et à la température mesurée pour chaque couleur en cas d'échauffement maximal à l'extérieur.

**Tab. 6: Paramètres de fermentation sélectionnés et points DLG pour caractériser la qualité d'ensilage (moyennes établies à partir de deux balles)**

Produit Prof. de prélèvement	Couleur du film	MS %		pH	Acide acétique	Acide butyrique	Acide lactique	Points DLG	
		0-60 cm	0-10 cm		g/kg MS corr. 0-10 cm	g/kg MS corr. 0-10 cm	g/kg MS corr. 0-10 cm	0-10 cm	10-60 cm
Silotite	Blanc	35,6	5,08	11,9	12,2	8,9	43	46	
	Vert clair	34,0	5,21	18,7	20,2	6,1	37	37	
	Vert brun	37,6	4,97	18,1	11,2	17,7	55	46	
	Noir	29,2	5,13	11,3	17,7	0,0	24	35	
Teno-spin	Blanc	34,0	5,18	10,6	15,6	5,1	34	36	
	Vert clair	33,1	5,16	27,0	24,9	29,3	39	33	
	Vert olive	37,1	4,96	18,2	10,9	22,8	56	55	
	Noir	42,7	5,01	19,5	9,1	26,0	67	44	
Aspla	Blanc	43,5	5,19	15,9	6,8	14,9	58	34	
	Vert clair	35,1	5,23	10,9	12,9	6,9	35	35	
Agriflex	Blanc	41,0	5,17	15,0	6,6	6,8	53	53	
	Vert	41,8	5,15	15,0	9,1	9,5	49	40	
Agristretch	Blanc	35,6	5,18	12,3	18,7	10,3	34	36	
	Vert clair	35,1	5,26	11,0	18,3	4,0	29	33	
	Vert olive	49,1	5,19	14,0	3,1	10,4	68	72	
<b>Valeur moyenne</b>		<b>38,0</b>	<b>5,14</b>	<b>15,2</b>	<b>12,5</b>	<b>11,9</b>	<b>45</b>	<b>42</b>	

échauffement des films ne dure que quelques heures et que la perméabilité aux gaz n'augmente donc que de manière passagère.

### Qualité de fermentation de l'ensilage

Les analyses de fourrage ont pour but de montrer quelle influence peuvent avoir la qualité des films (perméabilité aux gaz) ou leur échauffement sur la qualité de fermentation de l'ensilage. Il est probable que la baisse de qualité du fourrage suite à une augmentation de la perméabilité ou à un échauffement des films se fasse plus rapidement sentir dans la couche supérieure du fourrage directement sous le film. C'est pourquoi les balles d'ensilage ont été testées à deux profondeurs, de 0-10 cm et de 10-60 cm.

La qualité de fermentation de l'ensilage d'herbe peut être évaluée à l'aide du pH, de la teneur en sucre et des teneurs en acide acétique, acide butyrique et acide lactique. Lorsque la fermentation se fait bien, les taux de sucre et d'acide lactique sont élevés. Un pH bas (en dessous de 5,0) est un signe d'acidification rapide et sûre de l'ensilage. De fortes teneurs en acide butyrique sont le résultat d'une souillure importante du fourrage ou de fermentations secondaires et de fermentations ratées.

Le tableau 6 réunit quelques valeurs d'analyse sélectionnées en ce qui concerne la qualité de fermentation des balles d'ensilage au bout de dix mois de stockage. On constate que les teneurs en MS de l'ensilage varient considérablement d'une balle à l'autre par rapport à la moyenne (38 % de MS). Pour pouvoir effectuer des comparaisons plus ou moins correctes, les valeurs de MS ne

devraient pas s'écarter de plus de 3 à 4 % de la moyenne.

Bien que la récolte ait eu lieu dans de bonnes conditions météorologiques et que le fourrage ait été préfané jusqu'à ce qu'il atteigne un taux de MS optimal de 38 %, la qualité de l'ensilage s'est avérée moyenne à mauvaise dans la majorité des balles. Ces résultats sont dus en grande partie aux valeurs élevées d'acide butyrique qui allaient jusqu'à 20 g par kg de MS, soit parfois nettement au-dessus du seuil de tolérance de 8 g par kg de MS. La cause tient soit à la souillure du fourrage, soit à des fermentations secondaires suite à une densité de pressage insuffisante des balles.

Le calcul de l'indice DLG est une méthode courante en Allemagne pour évaluer l'ensilage de fourrage grossier sur la base des teneurs en acide butyrique, en acide acétique, du pourcentage d'ammoniac et du pH. Un indice élevé signifie que la qualité de l'ensilage est bonne, sachant que le maximum est de 100 points. Sur la base de l'échelle suivante, il est possible d'évaluer la qualité de fermentation:

- moins de 30 points: très mauvaise
- 31-50 points: mauvaise
- 51-70 points: moyenne
- 71-90 points: bonne
- plus de 90 points: très bonne

Les deux dernières colonnes du tableau 6 indiquent l'indice DLG calculé pour les différentes marques et les différentes couleurs de films étudiés, pour les deux couches de fourrage testées. Chaque valeur correspond à la moyenne de deux balles avec le même film d'enrubannage. Sur la moyenne des trente balles (0-60 cm), l'indice DLG était de 44, ce qui correspond à une «mauvaise» qualité de fer-

mentation. L'indice DLG le plus bas était de 22, le plus élevé de 72.

Étant donné ces différences énormes, il est à peine possible d'établir des comparaisons en ce qui concerne la qualité de fermentation. C'est pourquoi les résultats ne permettent pas de dire si la qualité et la couleur des films influencent la qualité de fermentation. Des essais réalisés en Allemagne et en Suède prouvent néanmoins que les films noirs et de couleur sombre, malgré le fort échauffement à la surface des balles, n'exercent aucune influence négative sur la qualité de l'ensilage, même si on constate de temps en temps une coloration brune de la couche supérieure de l'ensilage.

### Couleurs des films et intégration dans le paysage

La journée portes ouvertes de la FAT en 1999 a donné l'occasion d'interroger un grand nombre de personnes sur l'intégration dans le paysage de différentes couleurs de films d'enrubannage. Le but de l'enquête était de savoir si les balles d'ensilage enrubannées et stockées en plein air étaient perçues comme gênantes (question 1) et de déterminer quelle couleur de films était considérée comme appropriée ou non par la population pour le stockage des balles dans la nature (question 2). Pour l'occasion, des balles rondes enveloppées de six films de couleur différente (blanc, noir, vert clair, vert, vert olive, vert brun) avaient été exposées à la FAT. Les visiteurs pouvaient donc évaluer la couleur des films directement sur l'objet. Un total de 168 personnes ont participé à l'enquête, dont 68 agriculteurs en activité (40 %). Le pourcentage de femmes était de 32 % (53 personnes). 15 % des personnes interrogées avaient moins de 25 ans, 38 % plus de 50 ans.

À la question «Considérez-vous les balles d'ensilage stockées en plein air comme gênantes?», 27 % des personnes interrogées ont répondu «oui» et 71 % «non». 2 % n'ont pas pu se décider («ne sais pas»). Le résultat étonnamment positif de cette question peut surprendre, mais est sans doute lié à l'écho très favorable dans la région de Tånikon par rapport à l'agriculture et au pourcentage relativement élevé d'agriculteurs parmi les personnes interrogées. La distinction de deux groupes «Agriculture» et «Hors agriculture» n'a pas donné de résultat différent.

D'après les réponses à la question «Quelles couleurs parmi les couleurs de films proposées s'intègrent bien, moyenne-

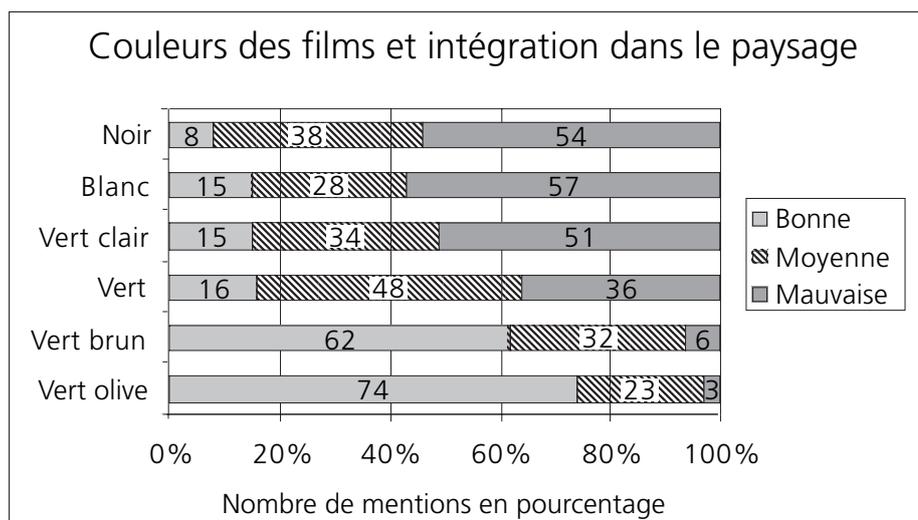


Fig. 14: Résultat de l'enquête «Quelles couleurs parmi les couleurs de films proposées s'intègrent bien, moyennement ou mal dans le paysage?». Nombre de mentions en pourcentage des 168 personnes interrogées.

ment ou mal dans le paysage?», ce sont les deux films vert olive et vert brun qui ont obtenu les meilleurs résultats, et de loin. Le pourcentage des mentions «bien intégrées» était de 74 % pour la couleur vert olive et de 62 % pour la couleur vert brun. Seules 3 resp. 6 % des personnes interrogées ont considéré ces deux films comme mal intégrés. Par contre, 51 à 57 % des participants à l'enquête ont considéré les films vert clair, noirs et blancs comme mal appropriés (fig. 14).

Même si le résultat des enquêtes doit toujours être interprété avec réserve, il montre très clairement qu'en ce qui concerne l'intégration dans le paysage, les films de couleur sombre sont mieux acceptés que les films blancs (fig. 15). Après discussion avec les personnes interrogées, on a observé que la couleur des balles d'ensilage n'était pas le seul critère

déterminant. Dans de nombreux cas, le fait que les balles soient bien rangées et placées sur un site approprié est considéré comme tout aussi important.

### Les films contiennent-ils des substances polluantes?

Les films PE devraient être exempts de substances polluantes comme les métaux lourds ou autres éléments et liaisons dangereuses pour l'environnement, d'une part pour exclure tout risque de contamination de l'ensilage par des substances dangereuses pour la santé et d'autre part, pour permettre l'élimination des films de manière écologique et propre. D'un point de vue légal, les films utilisés pour l'enrubannage de l'ensilage sont soumis à l'Ordonnance sur les substances dangereuses pour l'environnement

(Osubst 1986, état 2003). Selon cette ordonnance, les substances mises en circulation en Suisse doivent être évaluées par rapport à certains critères, et si elles s'avèrent dangereuses pour l'environnement, elles doivent être étiquetées en conséquence. L'Ordonnance interdit la fabrication et l'importation de films renfermant du cadmium (annexe 4.11 sur les matières plastiques). Le législateur peut accorder une dérogation par rapport à cette interdiction dans la mesure où premièrement, la teneur en substances polluantes ne dépasse pas un certain seuil maximal et où deuxièmement, le film ne renferme aucune autre substance qui, lors de l'élimination, libère une importante quantité de polluants. Voici les seuils maximums en vigueur:

fluor:	20 mg/kg
chlore:	1000 mg/kg
brome:	20 mg/kg
plomb:	20 mg/kg
cadmium:	10 mg/kg

En outre, ces matières plastiques doivent être pourvues de la mention «élimination inoffensive dans des installations d'incinération de déchets urbains» ou, faute de place de l'abréviation «élimination inoffensive dans des UIOM».

Il n'existe aucune information fiable sur la composition chimique précise des films PE, que ce soit de la part du fabricant ou de la part des organes de contrôle officiels. Les films noirs sont colorés avec de la suie (carbone pur). Les films blancs sont teints avec du dioxyde de titane, qui n'est certes pas toxique, mais qui, libéré en grandes quantités, peut néanmoins polluer l'environnement. Par contre, personne ne sait comment sont obtenus les dif-



Fig. 15: Pour le stockage des balles en plein air, il est recommandé de ne pas utiliser des films blancs (photo de gauche), mais des films de couleur sombre (photo de droite). À l'heure actuelle, ils sont de qualité équivalente et s'intègrent beaucoup mieux dans le paysage.

férentes nuances des films verts. Selon les indications des fabricants, il n'est pas facile de trouver des colorants pigmentaires vert foncé qui soient à la fois résistants aux rayons UV et exempts de métaux lourds.

Les films utilisés dans l'essai ont été testés au LFEM (département analyse des produits) à la recherche des différents éléments, à la fois sur le plan quantitatif et qualitatif. Le cadmium, le chlore, le chrome, le plomb et le zinc ont été déterminés par spectroscopie d'émission optique et le mercure par technique frigorifique de vapeur SAA (spectroscopie par absorption atomique). Dans six films de couleur blanche, vert clair et vert foncé, on a mesuré des quantités de zinc allant jusqu'à 48 mg/kg. En outre, plusieurs films des mêmes couleurs contenaient du chrome en quantités allant jusqu'à 6 mg/kg maximum. Les autres éléments, soit le cadmium, le chlore, le plomb et le mercure, n'ont pas pu être mis en évidence ou seulement sous forme de traces.

Comme l'Ordonnance sur les substances ne définit pas de valeurs maximales ni pour le zinc, ni pour le chrome, les films testés satisfont tout au moins les exigences légales.

## Élimination des films d'enrubannage: un problème toujours irrésolu!

En Suisse, on utilise chaque année plus de 2000 tonnes de films stretch pour l'ensilage. Le problème de leur élimination n'a pas encore été résolu de manière satisfaisante, comme le prouvent les indications suivantes:

- **Le dépôt dans des décharges** est interdit par la Confédération depuis l'an 2000.
- **L'incinération en plein air ou dans des installations de chauffage domestiques** est interdite par l'Ordonnance sur la protection de l'air.
- **Élimination via les usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM):** les petites quantités de polyéthylène (PE), mélangé aux ordures ménagères ou aux objets encombrants combustibles sont une matière première appréciée des usines d'incinération industrielles. À l'heure actuelle, la majeure partie des films d'enrubannage est évacuée via les UIOM régionales. Le coût d'élimination de ces déchets est compris entre 300 et 400 francs par tonne.

- **Utilisation comme combustible:** le PE a le même pouvoir calorifique que le fioul. Il est déjà utilisé comme combustible dans les hauts-fourneaux des cimenteries, mais les capacités sont limitées.

- **Recyclage:** l'Ordonnance sur le traitement des déchets exige que «les déchets soient valorisés dans la mesure où cela est possible techniquement et économiquement supportable et chaque fois que cette opération est plus respectueuse de l'environnement que ne le seraient leur élimination et la production de biens nouveaux.» Les granulés PE recyclés peuvent être utilisés dans l'industrie plastique pour la fabrication de câbles, de pots de fleurs, de sacs à ordures, etc. Mais le recyclage des films d'enrubannage usagés s'est heurté à des difficultés par le passé. En effet, le faible prix de la matière première, la souillure relativement importante des films et les quantités ponctuellement réduites rendent difficile de rentabiliser le recyclage des films.

- Un **service de collecte** bien organisé avec des sacs soumis à des taxes, permet aujourd'hui le retour des films utilisés aux centres de collecte. Ces derniers font ensuite suivre le matériel aux soi-disant poly-partenaires. Ceux-ci sont représentés plus ou moins dans toute la Suisse et organisent le transport du matériel jusqu'aux repreneurs. Même si aujourd'hui, l'incinération propre est garantie dans les usines d'incinération des ordures ménagères et dans les hauts-fourneaux des cimenteries (dans la mesure où les films ne renferment pas de polluants), le problème de l'élimination des films n'est pas encore résolu de manière satisfaisante. Comme la collecte des films usagés chez les utilisateurs représente un effort logistique considérable, il est à peine possible de rentabiliser le recyclage. Sachant que l'ensilage en grosses balles va continuer à se développer, il est impératif de trouver des solutions valables pour éliminer les films, d'une part pour améliorer l'image de cette technique dans la société et d'autre part pour économiser le pétrole qui n'est pas une matière première inépuisable. Une alternative intéressante pourrait consister à utiliser des **films biodégradables** à base de polymères issus de matières premières renouvelables ou de polymères d'origine pétrochimique, qui pourraient être compostés après usage ou enfouis lors du labour. Un tel film n'a pas encore été développé. Un projet pilote dans ce domaine réalisé à la FAT avec un copo-

lyester Ecoflex a déjà fourni des résultats très prometteurs.

## Conclusions

Comme la production de films étirables est en perpétuelle évolution, il est clair que les films des différents fabricants ne peuvent pas toujours avoir les mêmes propriétés d'une année sur l'autre. C'est pourquoi les résultats tirés du présent essai ne peuvent être appliqués qu'avec réserve aux produits des mêmes marques et des mêmes types, mais des années suivantes. On peut cependant affirmer que les films proposés actuellement sur le marché par les principaux fabricants remplissent les exigences en ce qui concerne les propriétés mécaniques et la perméabilité aux gaz. La résistance à l'usure est bonne elle aussi, à l'exception de quelques films vert clair. Les films des principaux fabricants disponibles aujourd'hui dans le commerce **conviennent donc sans aucune restriction à la conservation annuelle d'ensilage**, comme le garantissent d'ailleurs presque tous les fabricants. Le film étirable ne peut donc être tenu responsable des problèmes de qualité récurrents dans la pratique par rapport aux balles d'ensilage (problèmes de moisissure) que dans des cas extrêmement rares, dans la mesure où les balles sont enveloppées de suffisamment de couches de films et où le film n'a pas été endommagé après l'enrubannage.

En ce qui concerne le **couleur des films**, voici les points à retenir:

- **Les films noirs** ne sont pratiquement plus employés actuellement en Suisse pour des raisons injustifiées puisqu'ils continuent d'afficher les meilleures qualités à tout point de vue. En outre, les films noirs sont les plus respectueux de l'environnement puisqu'ils sont seulement noircis à la suie. Une importance démesurée est accordée aujourd'hui à leur seul inconvénient, leur fort échauffement au soleil. Or, plusieurs études confirment qu'un fort échauffement des films ne diminue en rien la qualité de fermentation (fig. 16).

- **Les films de couleur sombre** sont ceux qui conviennent le mieux pour le stockage des balles en plein air et sur les sites exposés, car ce sont ceux qui se voient le moins. Comparés aux autres films, leur qualité est actuellement au moins équivalente. C'est pourquoi dans les régions très touristiques notamment (région de montagne!), il faut promouvoir davantage la vente de films de cou-



Fig. 16: Non seulement les films noirs résistent bien à la lumière et ne renferment aucun colorant synthétique, mais ils sont également de très bonne qualité. Hélas, ils ne sont pratiquement plus utilisés en Suisse aujourd'hui.

leur sombre. Suivant le produit, les films de couleur sombre coûtent 3 à 5 francs de plus par rouleau, soit un coût supplémentaire de 15 à 20 centimes pour chaque balle ronde. Mais le prix légèrement plus élevé du rouleau ne doit pas être une raison pour l'entrepreneur de travaux agricoles ou l'agriculteur de renoncer à l'emploi de ces films.

- Les balles enrubannées de **film vert clair** ne s'intègrent que légèrement mieux que les films blancs dans l'environnement en cas de stockage en plein air. Sachant que leur résistance à l'usure n'est pas entièrement satisfaisante, les films vert clair n'auront d'avenir que si leur qualité peut être améliorée.

- Les **films blancs**, qui sont aujourd'hui de loin les plus utilisés, sont ceux qui s'échauffent le moins au soleil. Ils excluent donc tout problème de perméabilité accrue aux gaz et toute perte de qualité de l'ensilage. Comparés aux films noirs et aux films de couleur sombre, ils sont cependant d'une qualité légèrement inférieure. Sachant que les balles d'ensilage blanches s'intègrent mal dans le paysage, il est impératif de les camoufler avec des bâches ou des filets appropriés. Leur utilisation se justifie essentiellement pour l'ensilage de printemps, c'est-à-dire pour la conservation de la première coupe, car c'est aux mois de mai, juin et juillet que l'ensoleillement est le plus fort.

### Recommandations

- **Choix de films:** il faut veiller à n'utiliser que des films éprouvés, de qualité irréprochable, produits par des fabricants connus.

- **Couleur des films:** pour le stockage des balles en plein air, notamment sur les sites exposés (champs ouverts, sommets des collines, bordures de route, entrées des villages) et dans les régions touristiques, il est recommandé d'utiliser des films de couleur sombre. Pour des ques-



Fig. 17: Lors de l'utilisation d'un nouveau film, il faut contrôler certains réglages sur l'enrubanneuse: pré-étirage, chevauchement des films et nombre de couches.



Fig. 18: Des filets de protection spéciaux évitent que les films ne soient endommagés par les oiseaux, les chats, les renards et les rongeurs.



Fig. 19: Lorsque c'est possible, il est recommandé de stocker les balles à proximité de la ferme, sur une surface en dur, à l'abri des rayonnements intenses du soleil.

tions de qualité, il est conseillé de privilégier les films noirs. Les films blancs peuvent être appropriés pour la conservation de la première coupe. Étant donné leur faible résistance à l'usure, les films vert clair doivent toujours être enrubannés en six couches. Ils ne conviennent que pour une conservation maximale de six mois.

● **Nombre de couches de film:** normalement, il faut envelopper les balles de six couches de film. Pour le fourrage volumineux, à bruns longs et grossiers (luzerne, foin écologique), il est recommandé d'utiliser huit couches pour éviter que le film ne se perce. Si les balles sont stockées moins de quatre mois environ, quatre couches de film peuvent également suffire, dans la mesure où elles sont stockées sous abri (sous un avant-toit ou une bâche).

● **Technique d'enrubannage:** il est recommandé de respecter les indications du fabricant en ce qui concerne les réglages de l'enrubanneuse (nombre de couches, pré-étirage, chevauchement, etc.). Le chevauchement et le pré-étirage idéal (entre 50 et 80 % suivant le film) doivent être contrôlés au départ (fig. 17). Le nombre de couches peut être vérifié comme suit: avec un chevauchement de 50 % (film de 500 mm de large), les balles doivent faire 1,5 rotations sur l'enrubanneuse pour un total de six couches de film.

● **Moment adéquat pour l'enrubannage:** l'enrubannage sur le lieu de stockage diminue le risque d'endommager les films lors du transport et de la maintenance des balles. Les balles doivent toutefois être enveloppées au plus tard deux heures après le pressage. Il est déconseillé d'enrubanner les balles par temps de pluie, car les films mouillés collent moins bien.

● **Stockage des balles:** le stockage à l'abri sous un avant-toit retarde l'usure des films. Il est recommandé aux agriculteurs qui stockent leurs balles en plein air et qui ne veulent pas renoncer aux films blancs ou vert clair, de couvrir leurs balles d'un filet de camouflage, d'un filet de protection contre les oiseaux ou d'une bâche (p. ex. vieux film de couverture de silo-couloir) (fig. 18). Le camouflage a trois avantages: protection des dommages que les oiseaux, les martres, les chats, les renards, le gibier, etc. peuvent causer aux films; protection des rayons du soleil; meilleure intégration dans le paysage. Lorsque les balles d'ensilage sont conservées sur une longue durée (plus de trois mois), il est conseillé de les stocker à proximité de la ferme (fig. 19). Cette solution permet de contrôler régulièrement que les films ne sont pas endommagés. Les films abîmés doivent immédiatement être recouverts de ruban adhésif.

## Bibliographie

Association Française de Normalisation, 1995. Marque NF applicable aux films plastiques à usages agricoles, NF 135, (1) 5/1995.

Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, DLG-Prüfungs-Abteilung, 2001. Prüfprogramm für Stretchfolien aus linearem Polyethylen niederer Dichte.

Diverse Autoren, 1995. Das Handbuch für die Ballensilageherstellung. Trioplast AB, Smalandsstenar, Schweden.

DLG-Ausschuss «Futtermittelkonservierung», 1997. DLG-Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Grünfuttersilagen auf der Basis der chemischen Untersuchung; nach Weissbach und Honig.

Frick R., 2000. Ballensilage mit farbigen PE-Stretchfolien. Agrarforschung 7 (4), 158-163, 2000.

Frick R. et Jakob R., 1999. Silageballen mit farbiger Folie wickeln? Die Grüne 48/99.

Harmati Z. et Wüest B., 2001. Mündliche Mitteilungen, EMPA St. Gallen.

Keller A., 1999. Untersuchung abbaubarer Folien für den Einsatz als Silagestretchfolien. Interner Bericht, Eidg. Forschungsanstalt Tänikon (FAT).

Keller A., 2001. Mündliche Mitteilungen, Eidg. Forschungsanstalt Tänikon (FAT).

Mosch G., Dengel U., 2000. DLG-Prüfbericht 4864 Stretchfolie RaniWrap weiss. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Frankfurt.

Mosch G., Dengel U., 2000. DLG-Prüfbericht 4865 Stretchfolie RaniWrap grün. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Frankfurt.

Stoffverordnung StoV 1986 (Stand 2003), Anhang 4.11 über Kunststoffe. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).

Wyss U., 2001. Mündliche Mitteilungen, Eidg. Forschungsanstalt für Nutztiere (RAP), Posieux.