

Effets du préfanage et du conditionnement du fourrage de sulla (*Hedysarum coronarium* L.) sur la qualité de son ensilage

S. Slim, F. Ben Jeddi

Le sulla est une espèce fourragère particulièrement intéressante mais, comme la majorité des Fabacées fourragères, sa conservation par ensilage est difficile (pouvoir tampon et richesse en eau élevés). Plusieurs techniques visant l'amélioration de son ensilage ont été testées en Tunisie.

RÉSUMÉ

Dans l'ensemble des traitements d'ensilage du sulla (ensilage direct, ensilage préfané - 24 h, 48 h ou 72 h -, éventuellement avec conditionnement - éclatement des tiges - ou retournement de l'andain), les taux de matière sèche ont varié de 13,6 à 42 %, le pH de 3,9 à 5,3, le rapport $\text{NH}_3/\text{Ntotal}$ de 1,3 à 22 %, le taux d'acides gras volatils de 0,1 à 1,57 mole/kg MS. Les pertes ont été évaluées. L'effet de l'éclatement des tiges sur la teneur en matière sèche de l'ensilage ne se manifeste qu'après 48 h de préfanage pour un ensilage de sulla de 1^{re} année ; pour un sulla de 2^e année, il est nécessaire de retourner l'andain. Seuls les préfanages du sulla 48 et 72 h, respectivement conditionnés et non conditionnés fournissent des ensilages d'excellente qualité.

SUMMARY

Effect of field wilting and conditioning of Sulla forage (*Hedysarum coronarium* L.) on the quality of its silage

Sulla is a particularly interesting forage species but, as most forage species of the Fabacea family, conserving it as silage is difficult. Several techniques aimed at improving the silage made from this plant were tested in Tunisia. All of the treatments used for ensiling Sulla (ensiled without wilting, ensiled after wilting for 24 hours, 48 hours and 72 hours, and possibly involving conditioning (stalk shredding) or turning over windrows), showed significant variations in dry matter content ranging between 13.6-42 %, pH levels ranging between 3.9-5.3, $\text{NH}_3/\text{totalN}$ ratio ranging between 1.3-22 %, and volatile fatty acid levels ranging between 0.1-1.57 mole/kg DM. Losses were evaluated. Only Sulla left to wilt for 48 hours and 72 hours, respectively conditioned and non-conditioned, provided superior-quality silage.

En Tunisie, la production herbagère se caractérise par une variabilité spatio-temporelle de la saison de végétation, avec une intersaison de 4 à 6 mois/an. En conséquence, les éleveurs sont confrontés à des difficultés d'approvisionnement en fourrage en cas d'absence de stocks sous forme de foin et particulièrement d'ensilage.

Parmi les Fabacées fourragères, **le sulla du nord** (*Hedysarum coronarium* L.), à haut potentiel de production énergétique et protéique, **joue un rôle floristique et agronomique fondamental dans l'amélioration pastorale, la fixation biologique et la fertilité organo-**

chimique des sols, en particulier pour ceux qui sont en pente (GOUNOT, 1958 ; TRIFI FARAH *et al.*, 2002 ; SLIM *et al.*, 2008 ; SLIM et BEN JEDDI, 2011). Comme précédent culturel, cette espèce a contribué à accroître la production grainière du blé dur (*Triticum durum* Desf.) de 30 % sans apport d'azote chimique. De plus, une amélioration des ressources fourragères par hectare de 6 500 UFL et 1 200 kg de protéines dans la matière verte a été observée (BEN JEDDI, 2005). Mais **sa conservation sous forme d'ensilage au stade floraison est difficile** en raison de son pouvoir tampon élevé (7,8) et de sa richesse en eau (80-82 % ; BEN JEDDI, 1996 et HARIGA, 1996).

AUTEURS

Université de Carthage, Institut National Agronomique de Tunisie, Unité de Recherche Cultures Maraîchères et Florale, 43, av. Charles Nicolle, 1082 cité Mahrajène, Tunis (Tunisie) ; slimbss@yahoo.fr

MOTS CLÉS : Composition chimique du fourrage, conservation de la récolte, ensilage, *Hedysarum coronarium*, sulla, Tunisie, valeur alimentaire.

KEY-WORDS : Chemical composition, crop conservation, feeding value, *Hedysarum coronarium*, silage, Sulla, Tunisia.

RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE : Slim S., Ben Jeddi F. (2012) : "Effets du préfanage et du conditionnement du fourrage de sulla (*Hedysarum coronarium* L.) sur la qualité de son ensilage", *Fourrages*, 210, 159-165.

La conservation des fourrages par voie humide, en conditions anaérobies, permet d'obtenir un ensilage dont toutes les qualités physiques, chimiques et biochimiques sont préservées. Cette conservation empêche toute mauvaise fermentation pouvant dégrader la valeur nutritive (NAJJAR, 1990).

Le stade de récolte est un critère primordial pour la qualité de la conservation. Le stade bouton floral - floraison est considéré comme un repère pour démarrer un chantier d'ensilage de qualité à base de Fabacées fourragères (BEN JEDDI, 1995 ; DEMARQUILLY, 1973). Par ailleurs, chez les Fabacées, les **tanins condensés** peuvent se combiner aux protéines et empêcher leur dégradation lors de l'éclatement des cellules dans le silo. La variété de sulla Bikra 21 contient un taux optimal de tanins condensés, de l'ordre de 1,8 % de matière sèche (BEN JEDDI, 1996), ce qui ne représente pas un inconvénient pour une bonne conservation humide du sulla.

L'objectif de ce travail est d'**évaluer un ensemble de techniques contribuant à améliorer la qualité de l'ensilage de sulla du nord**.

1. Matériel et méthodes

■ Techniques de conservation du fourrage de sulla par ensilage

Le fourrage de sulla (Bikra 21) a été **coupé au stade floraison** et en brins courts de 1 à 1,5 cm de long. La conservation par ensilage a été réalisée dans des bocal en plastique de 3 à 5 kg, considérés comme des « silos labos » pour le fourrage. **Diverses modalités d'ensilage ont été appliquées :**

- **l'ensilage direct (D)** : le fourrage de sulla est conservé directement dans le bocal ;

- **l'ensilage préfané (P)** : après la coupe, le fourrage est exposé en andain sur place, à l'air libre, pour subir un dessèchement contrôlé. La durée de préfanage a varié, 24, 48 et 72 h, correspondant respectivement aux traitements P1, P2 et P3 ;

- **l'ensilage conditionné avec un éclatement des tiges (E)** : l'éclatement des tiges de sulla a été effectué avec un conditionneur à fourrage à poste fixe ;

- **l'ensilage avec un retournement des andains (R)** : le retournement de l'andain a été effectué selon un rythme dépendant de la durée du préfanage : 2, 4 et 6 retournements respectivement pour P1, P2 et P3.

Les traitements ont consisté en **diverses combinaisons entre les ensilages conditionnés, préfanés et retournés**. Au total, **13 traitements** ont été appliqués : D, P1, EP1, RP1, ERP1, P2, EP2, RP2, ERP2, P3, EP3, RP3 et ERP3. Ces traitements ont concerné les deux types de fourrage produits par des **cultures de sulla de 1^{re} (A₁) et de 2^e année (A₂)** semées respectivement en 2006 et 2005.

L'herbe a été finement hachée et entassée à l'intérieur du bocal au fur et à mesure du remplissage, pour chasser l'air vers l'extérieur. Immédiatement après le remplissage du « silo labo », les bocal ont été hermétiquement fermés et pesés. Chaque traitement comporte 6 répétitions. La durée de conservation par ensilage a été de 4 mois.

■ Analyses physico-chimiques

Avant l'ouverture des bocal, une pesée de l'ensemble des 6 répétitions a été effectuée. Une fois ouvert, le contenu de chaque bocal a été versé dans un bac pour homogénéisation du produit. La moitié de chaque bocal a été pesée, puis mise à l'étuve à 70 °C pour séchage (pour la détermination du taux de matière sèche) et servir aux analyses chimiques (cellulose brute, digestibilité de la matière organique, cendres totales). L'autre moitié a été ensachée et conservée au congélateur à une température de -18 °C pour servir ultérieurement aux analyses fermentaires (acides gras volatils, pH, azote ammoniacal et azote total) après extraction du jus dans le produit frais.

• Analyses physiques

Trois paramètres physiques ont été considérés comme critères de diagnostic de la qualité des ensilages :

- **les pertes par jus** : au désilage, l'ensemble du bocal a été versé dans un tamis disposé sur un bac afin de récupérer l'ensemble du liquide facilement libéré par l'ensilage. Le volume retenu pour chaque bocal a été pesé immédiatement afin de déterminer la perte sous forme liquide (jus) ;

- **les pertes par inconsommable** : l'inconsommable représente la partie de l'ensilage moisie et impropre au bétail. Au désilage, certains échantillons comportent à leur surface une couche de moisissure dont l'épaisseur varie d'un traitement à l'autre. Cette partie a été récupérée dans un Bécher et pesée (pertes en jus et pertes par inconsommables ont été évaluées sur la base du produit total) ;

- **le taux de matière sèche (MS)**, déterminé par séchage à 70 °C pendant 72 h.

• Analyses chimiques

Le **pH** des jus d'ensilage a été mesuré immédiatement à l'aide d'un pH-mètre de marque Consort. La détermination de l'**azote ammoniacal** a été réalisée sur le jus d'ensilage (CONWAY, 1957). L'**azote total** (Nt) de l'ensilage a été analysé sur l'ensilage par la méthode de Kjeldahl.

La **teneur en cellulose brute** (CB) a été déterminée par la méthode de Weende (JARRIGE, 1988). La détermination de la **digestibilité de la matière organique** (DMO) a été réalisée par la technique d'incubation *in vitro* de production de gaz décrite par MENKE et STEINGASS (1988).

Les **teneurs en acides gras volatils** (AGV) ont été déterminées par chromatographie en phase gazeuse selon la méthode de JOUANY (1982). Le dosage de l'acide lactique

| | MS (%) | | Pertes en jus (%) | | Pertes en inconsommable (%) | | Total des pertes (%) | |
|------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|------|
| | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 |
| D | 17,6 ^d | 14,1 ^a | 27,4 ^o | 35,4 ^r | 12,5 ^{ef} | 17,2 ^j | 39,9 | 52,6 |
| P1 | 15,5 ^b | 13,6 ^a | 32,0 ^q | 36,6 ^s | 33,0 ^m | 31,0 ^l | 65,0 | 67,6 |
| EP1 | 17,6 ^d | 16,5 ^c | 27,4 ^o | 29,8 ^p | 33,7 ^m | 13,5 ^{fghi} | 61,1 | 43,3 |
| RP1 | 21,2 ^{gh} | 18,7 ^e | 20,2 ^k | 25,2 ⁿ | 21,0 ^k | 33,0 ^m | 41,2 | 58,2 |
| ERP1 | 21,6 ^h | 17,6 ^d | 19,4 ^j | 27,5 ^o | 14,5 ⁱ | 14,1 ^{gh} | 33,9 | 41,6 |
| P2 | 20,7 ^g | 16,6 ^c | 21,1 ^l | 29,7 ^p | 6,0 ^a | 8,4 ^b | 27,1 | 38,1 |
| EP2 | 25,6 ^j | 23,4 ⁱ | 12,6 ^g | 16,1 ⁱ | 10,5 ^c | 10,7 ^{cd} | 23,1 | 26,8 |
| RP2 | 25,5 ⁱ | 20,0 ^f | 12,7 ^g | 22,5 ^m | 10,0 ^{bc} | 12,6 ^{efgh} | 22,7 | 35,1 |
| ERP2 | 27,6 ^k | 33,5 ^m | 9,4 ^f | 2,1 ^c | 11,5 ^{cd} | 10,4 ^{cd} | 20,9 | 12,5 |
| P3 | 34,1 ⁿ | 34,4 ^{no} | 15,1 ^h | 14,5 ^h | 11,0 ^{cd} | 12,1 ^{de} | 26,1 | 26,6 |
| EP3 | 33,0 ^m | 35,1 ^o | 2,6 ^d | 0,5 ^b | 21,6 ^k | 33,2 ^m | 24,2 | 33,7 |
| RP3 | 34,6 ^o | 31,6 ^l | 0,9 ^b | 4,2 ^e | 14,3 ^{hi} | 11,5 ^{cd} | 15,2 | 15,7 |
| ERP3 | 42,0 ^q | 38,5 ^p | 0,0 ^a | 0,0 ^a | 45,5 ⁿ | 44,0 ⁿ | 45,5 | 44,0 |

Modalités d'ensilage du sulla : D : ensilage direct ; P1, P2, P3 : préfanage de 24 h, 48 h, 72 h ; E : éclatement des tiges ; R : retournement de l'andain ; A1 et A2 : sulla de 1^{re} et 2^e année ; MS : taux de matière sèche
 Dans une même colonne, les valeurs associées à des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %

TABLEAU 1 : Effet des divers traitements de l'ensilage de sulla sur les taux de matière sèche, de pertes en jus, par inconsommable et totales.

TABLE 1 : Effect of the different treatments used for ensiling Sulla on dry matter content, juice drainage, spoilage and total loss.

était programmé parmi les analyses chimiques dans notre expérience mais, à cause d'un problème au niveau des étalons, il n'a pas été réalisé.

■ Analyses statistiques

Les différents paramètres étudiés ont été analysés à l'aide du logiciel Statistica (version 7). L'ensemble des mesures a fait l'objet d'une analyse de variance à un facteur en utilisant la procédure ANOVA avec l'option de comparaison des moyennes LSD. La signification de la variance a été vérifiée par le test de Fisher au seuil 5 %.

2. Résultats et discussion

■ Taux de matière sèche des ensilages de sulla

Selon la nature des traitements, les taux de matière sèche de l'ensilage de sulla varient de 17,6 à 42,0 % et 14,1 à 38,5 % respectivement pour les cultures de 1^{re} et 2^e année (tableau 1). Une teneur en matière sèche variant entre 30 et 38 % stimule la fermentation lactique, diminue l'acidité de l'ensilage et réduit les pertes par drainage. Mais une teneur très élevée (40-50 %) rend beaucoup plus difficile l'obtention rapide de l'anaérobiose et diminue par conséquent le degré de réussite d'un tel ensilage (DEMARQUILLY, 1973 ; MOULE, 1971).

Pour un **sulla de 1^{re} année** de culture, l'éclatement des tiges et un préfanage de 24 h (EP1) produisent un ensilage de même taux de matière sèche qu'un ensilage direct (D) (17,6 %). L'éclatement des tiges n'induit pas un gain de matière sèche comparé au sulla retourné et préfané 24 h (RP1). Après 48 h de préfanage, l'éclatement ou le retournement du fourrage ont le même effet sur l'évolution du taux de MS de l'ensilage. Le préfanage 48 h (P2) a le même effet que celui de 24 h, mais avec retournement.

À propos du fourrage de **sulla de 2^e année** de culture, le préfanage de 24 h n'engendre pas de gain de matière sèche par rapport à l'ensilage direct. De même, après 48 h de préfanage, aucune évolution du taux de MS n'a été signalée par rapport au fourrage préfané 24 h et dont les tiges ont été éclatées. Cependant, le taux de MS d'un ensilage de sulla de 2^e année de culture qui a été retourné et préfané 24 h après éclatement des tiges (ERP1) a évolué de 3,5 à 4 points de MS seulement respectivement par rapport aux ensilages D et EP1.

BEAUCHAMP (2008) a conseillé d'effectuer l'ensilage de l'herbe à partir de 25 à 27 % de MS. Pour le sulla de 1^{re} année, cette gamme de matière sèche n'est atteinte qu'après un préfanage de 48 h avec retournement ou éclatement des tiges pour atteindre respectivement 25,5 et 25,6 %. En revanche, avec le sulla de 2^e année, la technique d'éclatement des tiges est nécessaire pour atteindre un seuil de 25 % de MS. Cependant, des taux de MS assez élevés (33,5 %) ont été obtenus dans les ensilages ERP2. L'éclatement des tiges combiné à un préfanage de 48 ou 72 h permet de gagner de 8 à 21 points de MS (EP2 en A₁ et EP3 en A₂) par rapport aux ensilages directs.

La prolongation de la durée de préfanage au-delà de 48 h expose souvent le fourrage au risque d'orage. La technique de retournement peut devenir désavantageuse si on prend en compte le coût du retournement et les pertes foliaires. Afin d'accélérer le processus de séchage du fourrage, FOURNIER (2007) démontre, pour la luzerne, l'avantage des andains larges (environ 70 % de la surface de coupe). La grosseur des tiges d'un sulla de deuxième année (1-1,5 cm de diamètre) ralentit la déshydratation des tissus (BEN JEDDI, 2005) et rend le fourrage moins appétant (SEMADENI, 1976). Le préfanage avec éclatement des tiges de sulla permet un gain de taux de matière sèche et une bonne conservation du fourrage par ensilage (BEN JEDDI, 1996). CHARMLEY et VEIRA (1991) aboutissaient à la même conclusion avec un ensilage de luzerne.

■ Pertes subies par l'ensilage

• Pertes par jus

En cours de conservation des fourrages par ensilage, les pertes liquides au silo (par plasmolyse puis drainage) sont liées à la finesse de hachage du fourrage et à sa teneur en matière sèche initiale, lorsqu'elle est inférieure à 25 % de matière sèche. A un taux de MS inférieur à 20 %, le fourrage peut subir une perte de 10 % sous forme de jus. L'exsudat contient essentiellement des éléments hautement assimilables comme les glucides solubles, l'azote non protéique et des éléments minéraux. L'ensilage du sulla a présenté des pertes par les jus variant entre 0 et 32,0 % pour le sulla de 1^{re} année et 0 et 36,6 % pour le sulla de 2^e année (tableau 1).

Tous les **ensilages** de sulla de 1^{re} et 2^e année **préfanés 72 h et ayant subi l'éclatement des tiges et/ou le retournement des andains** se sont caractérisés par des **pertes sous forme de jus inférieures à 5 %**, voire nulles. Le seul autre traitement dont la perte en jus était inférieure à 10 % était ERP2_{A1-A2}.

La relation entre les pertes en jus de l'ensilage de sulla et son taux de matière sèche montre que ces pertes deviennent nulles pour un taux de MS de l'ordre de 38 % (figure 1a).

• Pertes par inconsommable

La part de l'inconsommable des ensilages à l'ouverture des « silos labos » permet de mieux apprécier la qualité de la conservation. Selon les traitements, les pertes par inconsommable ont varié de 6,0 à 45,5 % et de 8,4 à 44,0 % respectivement pour un sulla de 1^{re} et 2^e année de culture (tableau 1). Un préfanage de 48 h (P2) favorise les plus faibles taux de pertes par inconsommable, de l'ordre de 6 % pour les deux types de sulla. En revanche, le **préfanage de 72 h des sullas avec retournement et**

éclatement des tiges entraîne les **taux de pertes les plus élevés**, atteignant 45 %. En effet, les taux élevés de MS (≥ 35 %) rendent l'opération de tassement difficile et les poches d'air non chassées contribuent au démarrage de fermentations non lactiques (figure 1b).

• Pertes totales

Les travaux de BEAUCHAMP (2008) ont montré que les pertes en jus, les parties moisies et les inconsommables existent lorsque l'herbe est ensilée à moins de 25-27 % de MS. Ces pertes atteignent 20 à 25 % pour un ensilage en coupe directe et peuvent descendre à 15 % après un resuyage ou préfanage dans d'excellentes conditions.

Les traitements **préfanage 24 h seul (P1) et combiné avec un éclatement des tiges (EP1)** présentent des faibles taux de MS, ce qui explique les **taux élevés de pertes** sous forme de jus et d'inconsommable les 2 années (tableau 1).

La sommation des deux pertes en jus et inconsommables montre que le **préfanage 72 h avec retournement (RP3)** présente le **plus faible taux de perte**, de l'ordre de 15,2 pour l'année A1. Le traitement préfané 48 h avec retournement et éclatement des tiges (ERP2_{A1-A2}) se classe en deuxième position avec 20,9 % pour l'année A1 et en première position avec 12,5 % pour l'année A2 sachant que ce traitement se caractérise par des taux élevés de MS (27,6 et 33,5 % respectivement).

■ pH des ensilages

Selon la nature de l'ensilage de sulla, les pH ont varié de 3,9 à 5,0 et de 4,3 à 5,3 respectivement pour le sulla de 1^{re} et 2^e année (tableau 2). Les ensilages EP1_{A1-A2} et ERP2_{A1-A2} ont présenté les pH les plus acides, de l'ordre de 3,9 et 4,3. Selon DULPHY et DEMARQUILLY (1981), DEMARQUILLY et ANDRIEU (1988), VAMBELLE (1992) et LEDUC et FOURNIER (1998), la réussite de l'ensilage des poacées est

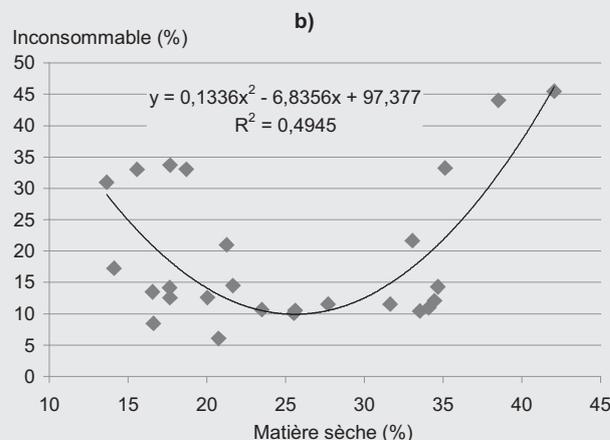
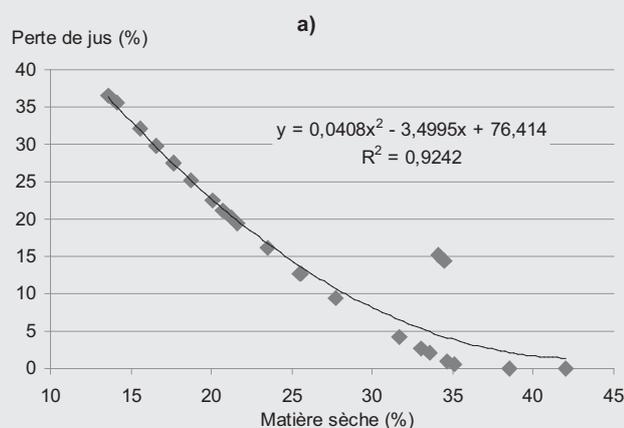


FIGURE 1 : Evolution des pertes a) en jus et b) par inconsommable selon le taux de matière sèche du sulla lors de la conservation par ensilage.

FIGURE 1 : Silage loss from a) juice drainage and b) spoilage, based on dry matter content of Sulla during silage conservation.

| | pH | | NH ₃ /Nt (%) | | CB (%) | | DMO (%) | | AA (g/kg MS) | | AB (g/kg MS) | |
|------|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 |
| D | 4,9 ^{efg} | 4,9 ^{fg} | 15,1 ^m | 19,6 ^q | 26,2 ^{gh} | 32,3 ^{qr} | 72,5 ^{kl} | 56,1 ^a | 67,2 ^q | 89,4 ^x | 11,9 ^j | 17,2 ⁿ |
| P1 | 3,9 ^a | 4,9 ^{efg} | 5,0 ^l | 5,2 ^o | 23,7 ^{bc} | 30,2 ^{mn} | 68,5 ^f | 62,2 ^c | 60,0 ^p | 75,0 ^r | 11,0 ^{ij} | 16,4 ^b |
| EP1 | 3,9 ^a | 4,9 ^{efg} | 5,8 ^l | 16,7 ⁿ | 21,6 ^a | 31,5 ^{pq} | 84,4 ^q | 59,2 ^b | 58,1 ^p | 75,4 ^r | 10,3 ^{ij} | 13,7 ^k |
| RP1 | 4,8 ^{efg} | 5,3 ⁱ | 19,5 ^q | 19,1 ^{pq} | 23,2 ^b | 31,2 ^{op} | 78,2 ^o | 72,2 ^{ijkl} | 88,6 ^w | 86,9 ^v | 17,9 ⁿ | 17,3 ⁿ |
| ERP1 | 5,0 ^{hi} | 5,1 ^{hc} | 18,1 ^o | 18,6 ^{op} | 22,1 ^a | 30,6 ^{no} | 83,1 ^p | 61,9 ^c | 81,3 ^s | 84,5 ^u | 15,1 ^l | 16,1 ^m |
| P2 | 4,7 ^{cdef} | 4,7 ^{cdef} | 9,2 ^l | 18,6 ^{op} | 27,0 ⁱ | 32,5 ^r | 71,5 ^{ij} | 58,5 ^b | 51,6 ⁿ | 84,6 ^t | 8,0 ^l | 16,2 ^m |
| EP2 | 4,8 ^{cdef} | 4,9 ^{fg} | 10,4 ^j | 11,1 ^k | 26,5 ^{ahi} | 29,6 ^{lm} | 71,3 ^{hi} | 56,7 ^a | 47,4 ^l | 50,2 ^m | 6,6 ^g | 7,2 ^h |
| RP2 | 4,1 ^{ab} | 4,7 ^{def} | 5,6 ^{cdef} | 12,1 ^l | 22,2 ^a | 24,6 ^{de} | 78,1 ^o | 72,7 ^l | 29,2 ^h | 54,4 ^p | 2,4 ^{cd} | 8,5 ⁱ |
| ERP2 | 4,2 ^b | 4,3 ^c | 8,6 ^l | 3,2 ^b | 26,0 ^{fgh} | 28,6 ^{jk} | 68,9 ^f | 77,0 ⁿ | 53,7 ^o | 15,3 ^c | 8,3 ⁱ | 0,0 ^a |
| P3 | 4,8 ^{cdef} | 5,2 ⁱ | 1,3 ^a | 22,0 ^g | 26,2 ^{gh} | 28,3 ^j | 71,6 ^{ij} | 67,0 ^e | 6,1 ^a | 12,2 ^b | 0,0 ^a | 2,1 ^c |
| EP3 | 4,3 ^{cd} | 4,4 ^c | 7,5 ^h | 6,6 ^g | 25,7 ^{fg} | 29,2 ^{kl} | 56,8 ^a | 65,7 ^d | 36,1 ^k | 31,6 ^j | 4,0 ^f | 2,9 ^{de} |
| RP3 | 4,4 ^c | 4,5 ^{cde} | 5,4 ^{cde} | 6,0 ^{fge} | 26,6 ^{hi} | 25,2 ^{ef} | 70,7 ^{jh} | 70,1 ^g | 26,2 ^f | 28,9 ^{gh} | 1,9 ^{bc} | 2,3 ^{cd} |
| ERP3 | 4,7 ^{cdef} | 4,9 ^{gh} | 6,6 ^g | 6,2 ^{fg} | 24,6 ^{cde} | 24,2 ^{cd} | 73,6 ^m | 71,7 ^{ijk} | 31,6 ^j | 30,0 ⁱ | 3,0 ^e | 2,5 ^{cd} |

NH₃/Nt : rapport azote ammoniacal sur azote total ; CB : cellulose brute ; DMO : digestibilité de la matière organique ; AA : acide acétique ; AB : acide butyrique
 Modalités : D : ensilage direct ; P1, P2, P3 : préfanage de 24 h, 48 h, 72 h ; E : éclatement des tiges ; R : retournement de l'andain ; A1 et A2 : sulla de 1^{re} et 2^e année
 Dans une même colonne, les valeurs associées à des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

TABLEAU 2 : Effet des divers traitements de l'ensilage de sulla sur le pH, le rapport NH₃/Ntotal, la cellulose brute (CB), la digestibilité de la matière organique (DMO), les teneurs en acides acétique (AA) et butyrique (AB).

TABLE 2 : Effect of the different treatments used for ensiling Sulla on pH level, NH₃/totalN ratio, crude fibre content (CB), organic matter digestibility (DMO), acetic acid (AA) and butyric (AB) acid content.

assurée par un pH de 3,8 à 4,5. Cependant, le modèle développé par LEIBENSPERGER et PITT (1987) a montré que le pH de stabilité anaérobie des Fabacées fourragères serait un peu plus élevé que celui des poacées (4,7 à 5). La majorité des ensilages testés présente donc un pH synonyme d'une bonne fermentation lactique.

■ Rapport azote ammoniacal sur azote total

L'analyse du rapport azote ammoniacal/azote total fait ressortir des différences significatives entre les divers ensilages de sulla. Ces rapports varient de 1,3 à 19,4 et de 3,2 à 22,0 respectivement pour les sallas de 1^{re} et 2^e année (tableau 2). Les préfanages de 72 h (P3_{A1}) et 48 h avec éclatement des tiges et retournement des andains (ERP2_{A2}) produisent des ensilages à plus faible rapport azote ammoniacal/azote total (de 1,3 à 3,2 %). Selon VAMBELLE (1992), une très bonne qualité de conservation des ensilages se caractérise par des rapports compris entre 0 et 5 %. En conséquence, les **ensilages P3_{A1} et ERP2_{A2} pourraient être classés comme d'excellents ensilages**. De même que précédemment, ces deux traitements correspondent à des **taux de MS élevés** (respectivement 34,1 et 33,5 %). LEDUC et FOURNIER (1998) ont montré qu'un ensilage dont le pH est supérieur au pH de stabilité anaérobie peut présenter un taux d'azote ammoniacal élevé en raison de l'activité de certaines bactéries protéolytiques qui contiennent à dégrader les protéines dans ces conditions de pH.

■ Cellulose brute

Les taux de cellulose brute des ensilages de sulla varient de 21,6 à 27,0 % et de 24,2 à 32,5 % respectivement pour les fourrages de 1^{re} et 2^e année de culture (tableau 2). Au stade floraison, le sulla de 2^e année se

caractérise par des taux de cellulose brute allant de 24 à 32 %, largement supérieurs à ceux d'un ensilage de 1^{re} année (de 3 à 7 points). Avec un préfanage de 48 h (P2_{A1-A2}), les taux en cellulose des ensilages de sulla se situent entre 27,0 et 32,5 %. D'après HENDERSON (1993), au cours de la conservation par ensilage, les pertes en hémicellulose ne sont pas uniformes dans un silo, allant jusqu'à 40 % localement, et dépendent du stade de croissance et du taux de MS du fourrage. En cours de fermentation, l'hémicellulose représente la majeure source de substrat additionnel comparé aux protéines, acides aminés et acides organiques qui contribuent à la production de la fermentation acide (cf. OHYAMA et MASAKI, 1977). Les plus faibles teneurs en cellulose brute des ensilages de sulla ont été rencontrées en 1^{re} année avec les traitements EP1_{A1} (21,6 %) et en 2^e année avec ERP3_{A2} (24,2 %).

■ Digestibilité de la matière organique

Selon les ensilages, les taux de digestibilité de la matière organique varient de 56,8 à 84,4 et de 56,1 à 77,0 % respectivement pour le sulla de 1^{re} et 2^e année (tableau 2). MULLER *et al.* (1992) ont montré que la digestibilité de la matière organique des ensilages de luzerne est de l'ordre de 55 %, tout en diminuant avec l'âge. Avec des taux généralement supérieurs à 56 %, la digestibilité de la matière organique des ensilages de Fabacées fourragères est considérée comme bonne.

De même, les valeurs les plus élevées de digestibilité de la matière organique correspondent aux valeurs de cellulose brute les plus faibles. Pour un sulla de 1^{re} année, **chaque jour de préfanage n'influence pas significativement les taux de digestibilité de la matière organique** : ils se situent à 68,5, 71,5 et 71,6 % respectivement après 24, 48 et 72 h de préfanage du sulla.

■ Modification de la composition des AGV du sulla par ensilage

• Acides gras volatils

La conservation du sulla par voie humide a produit des ensilages ayant des teneurs en acides gras volatils (AGV) de 0,1 à 1,5 mole/kg MS. D'après MULLER *et al.* (1992), un excellent ensilage bénéficiant d'une bonne condition de conservation se caractérise par une concentration d'AGV inférieure à 0,3 mole/kg MS. Les techniques de préfanage 48 h avec éclatement et retournement du sulla de 2^e année (ERP2) et préfanage 72 h (P3) ont donné des ensilages ayant des teneurs en AGV variant de 0,1 à 0,2 mole/kg MS. En conséquence, ils sont classés dans la catégorie des ensilages excellents. Les ensilages de sulla ERP3_{A1-A2}, RP3_{A1-A2}, EP3_{A1-A2} et RP2_{A1} présentent des taux en AGV compris entre 0,4 et 0,5 mole/kg MS, donc de bonne qualité (DULPHY et DEMARQUILLY, 1981 ; DEMARQUILLY et ANDRIEU, 1988). Cependant, les ensilages EP2_{A1}, ERP2_{A1}, P2_{A1}, P3_{A2}, RP2_{A2} et ERP2_{A2} font partie de la catégorie des médiocres (PARAGON *et al.*, 2004). Les traitements D_{A1-A2}, P1_{A1-A2}, EP1_{A1-A2}, RP1_{A1-A2}, ERP1_{A1-A2} et P2_{A2} sont considérés comme mauvais à très mauvais. Quel que soit le traitement utilisé, le préfanage 24 h (P1_{A1-A2}) ne produit jamais un ensilage de sulla de qualité acceptable du point de vue de la teneur en acides gras volatils. Une **corrélation négative entre les teneurs en AGV de l'ensilage de sulla et le pourcentage en matière sèche des fourrages** (figure 2) a été démontrée et confirmée par BALLARD (2009) sur un ensilage de luzerne. Le profil en acides gras évolue peu au cours des premières 24 h de préfanage (1,1 à 1,2 et 1,4 à 1,5 mole/kg MS respectivement pour les sullas de 1^{re} et 2^e année de culture) où la teneur des différents composants ne varie pas réellement.

• Acide acétique

DULPHY et DEMARQUILLY (1981) et DEMARQUILLY et ANDRIEU (1988) ont rappelé qu'un ensilage est considéré d'une excellente qualité de conservation lorsque sa teneur

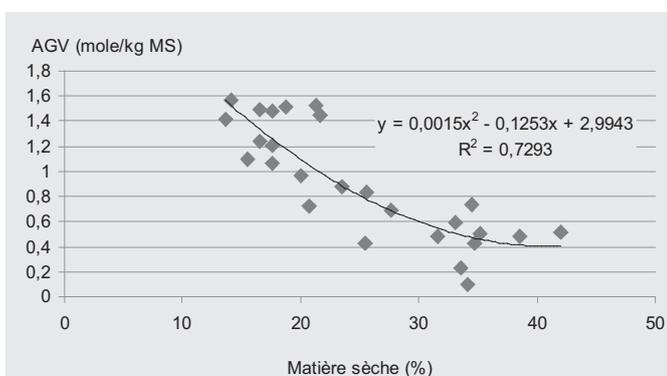


FIGURE 2 : Evolution du taux d'acides gras volatils selon le taux de matière sèche des ensilages de sulla.

FIGURE 2 : Changes in volatile fatty acid levels, based on dry matter content of Sulla during silage conservation.

en acide acétique est inférieure à 25 g/kg MS. Les ensilages de sulla conditionnés se sont caractérisés par des teneurs en acide acétique allant de 6,1 à 88,6 et de 12,2 à 89,4 g/kg MS respectivement pour les sullas de 1^{re} et 2^e année de culture (tableau 2). Cependant, d'après DULPHY et DEMARQUILLY (1981), les ensilages P3_{A1-A2} et ERP2_{A2} peuvent être classés comme excellents avec des taux d'acide acétique compris entre 6,1 et 15,3 g/kg MS. Les traitements EP3_{A1-A2}, RP3_{A1-A2}, ERP3_{A1-A2} et RP2_{A1} ont produit de bons ensilages ayant des taux d'acide acétique de 26,2 à 36,1 g/kg MS. Alors que, RP1_{A1-A2}, ERP1_{A1-A2}, D_{A2}, P1_{A2}, P2_{A2} et EP1_{A2} sont considérés comme de très mauvais ensilages. AESCHLIMANN (2005) a constaté que les teneurs en acide acétique d'un ensilage de luzerne sont corrélés négativement à la teneur en matière sèche du fourrage à la coupe.

• Acide butyrique

L'acide butyrique est un indice d'une mauvaise conservation et d'une instabilité de l'ensilage (DULPHY et DEMARQUILLY, 1981 ; DEMARQUILLY et ANDRIEU, 1988 ; LEDUC et FOURNIER, 1998). Le préfanage de 72 h (P3_{A1-A2}) a produit dans tous les cas des ensilages de sulla à faible taux d'acide butyrique variant de 0 à 4,0 g/kg MS, qui sont donc classés comme excellents à bons. En revanche, la conservation du sulla par voie directe (D_{A1-A2}), avec préfanage 24 h (toutes ses variantes) et préfanage 48 h seulement (P2_{A1-A2}) a fourni de très mauvais ensilages, riches en acide butyrique (de 8,0 à 17,9 g/kg MS ; tableau 2). ERDMAN (1988) a rapporté un taux d'acide butyrique de 0,2 % pour un très bon ensilage de luzerne. Ce taux peut même tendre vers zéro (AESCHLIMANN, 2005). Selon GYSI (2006), les Fabacées comme le trèfle violet (*Trifolium pratense* L.) et le trèfle blanc (*Trifolium repens* L.) sont faciles à ensiler, et leur conservation par ensilage ne conduit pas forcément à des produits exempts d'acide butyrique mais considérés comme de bonne qualité.

Conclusion

Compte tenu du coût que représente le retournement des andains pour les petits et moyens agriculteurs du nord de la Tunisie, nous avons recherché une solution qui permette de réaliser un ensilage de sulla de qualité qui s'appuie seulement sur le préfanage et l'éclatement des tiges.

L'éclatement des tiges du sulla ne commence à avoir de l'effet sur la **teneur en matière sèche** qu'après 48 h de préfanage, aussi bien pour le sulla de 1^{re} année (sans retournement des andains) que pour celui de 2^e année de culture (avec retournement des andains). Comparé à l'ensilage direct de sulla, le préfanage combiné à l'éclatement des tiges (traitements EP1, EP2 et EP3 pour A1 et A2) permet un gain de matière sèche de 5 à 7 points et une bonne conservation avec des pH et des rapports NH₃/Nt variant respectivement de 3,9 à 5,3 et de 1,3 à 19,6.

Corrélés aux taux de matière sèche, les AGV permettent une évaluation de l'état de **conservation biochimique** du fourrage. A cet effet, seuls les ensilages

RP3_{A1-A2}, ERP2_{A2}, EP3_{A1} et P3_{A1} se caractérisent par des faibles taux d'AGV entre 0,1 et 0,5 mole/kg MS. Tenant compte des principaux critères chimiques et biochimiques des ensilages obtenus, en 1^{re} année de culture, les techniques avec préfanage 72 h (P3_{A1}), éclatement et préfanage 72 h (EP3_{A1}), éclatement avec retournement de l'andain et préfanage 72 h (ERP3_{A1}) ont contribué à produire des ensilages de sulla d'excellente qualité (teneur en AGV inférieure à 0,3 mole/kg MS); de même, pour le sulla de 2^e année, les techniques avec éclatement et retournement de l'andain et préfanage 48 h (ERP2_{A2}) et retournement de l'andain et préfanage 72 h (RP3_{A2}) ont contribué à produire des ensilages de qualité.

Après combinaison des différents paramètres étudiés, le préfanage pendant 72 h (P3) ou avec éclatement des tiges (EP3), ou le retournement de l'andain (RP3) d'un sulla de 1^{re} année de culture contribue à produire des ensilages d'excellente qualité chimique et biochimique, alors que le sulla de 2^e année conservé par voie humide ne peut réussir parfaitement qu'avec les traitements ERP2 et RP3. L'évolution des taux de matière sèche de ces derniers se situe entre 31 et 35 %. Au-delà du taux maximal identifié (35 %), le tassement devient difficile et risque de compromettre la conservation du fourrage.

La technique de préfanage du sulla seule ou combinée au conditionnement (éclatement des tiges) se présente donc comme une solution efficace pour améliorer la qualité de la conservation de l'ensilage.

Accepté pour publication,
le 12 janvier 2012.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AESCHLIMANN A. (2005) : "Aptitude à l'ensilage de différentes variétés de luzerne et de dactyle", *Revue suisse Agric.*, vol 37, 5, 211-214.
- BALLARD V. (2009) : *Analyse des valeurs alimentaires de la luzerne déshydratée en fonction du temps de préfanage*, Coop de France Déshydratation, Paris, 34p.
- BEAUCHAMP J.J. (2008) : *Ensilage d'herbe : viser la qualité*, Prairiales Normandie, Chambre d'Agriculture du Calvados ; http://www.prairiales-normandie.com/iso_album/ensilage_herbe.pdf, 4 p.
- BEN JEDDI F. (1995) : "Le Sulla ensilage : possibilités et limites", *Journées d'information sur l'ensilage*, Ministère de l'agriculture, IRESA, Bou Salem, Tunisie, pp 1-3.
- BEN JEDDI F. (1996) : "Perspectives d'amélioration de la conservation du sulla du nord par ensilage. Pôle de recherche-développement du nord-ouest sub-humide", *Journée d'information sur l'ensilage*, Ministère de l'agriculture, Bou Salem, Tunisie, pp 4-6.
- BEN JEDDI F. (2005) : *Hedysarum coronarium L.: Variation génétique, création variétale et utilisation dans des rotations tunisiennes*, thèse de doctorat en Sciences Biologiques Appliquées, Fac Sc Bio-ing Université de Gent (Belgique), 232p.
- CHARMLEY E., VEIRA D.M. (1991) : "The effect of heat treatment and gamma radiation on the composition of unwilted and wilted lucerne silages", *Grass and Forage Sci.*, 46, 381-390.
- CONWAY E.J. (1957) : *Microdiffusion analysis and volumetric error*, 4th ed. London, Crosby Lockwood.
- DEMARQUILLY C. (1973) : "Composition chimique, caractéristique fermentaire, digestibilité et quantité ingérée des ensilages et des fourrages: modification par rapport au fourrage vert initial", *Ann. Zootech.*, 22, 1-35.
- DEMARQUILLY C., ANDRIEU J. (1988) : "Les fourrages", Jarrige R. éd., *Alimentation des bovins, ovins et caprins*, INRA, Paris, 315-336.
- DULPHY J.-P., DEMARQUILLY C. (1981) : "Problèmes particuliers aux ensilages", *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*, INRA- Publications, Versailles (France), 81-104.
- ERDMAN R. (1988) : "Forage pH Effects on Intake in Early Lactation Dairy Cows", *J. Dairy Sci.*, vol 71, USA, 1198-1203.
- FOURNIER A. (2007) : "Ensilage en un jour, c'est possible", *Le bulletin des agriculteurs*, <http://www.agrireseau.qc.ca/bovinsboucherie/documents/p.28-29-30%20v1.pdf>, p. 28-30.
- GOUNOT M. (1958) : "Contribution à l'étude des groupements végétaux messicoles et rudéraux de la Tunisie", *Ann. Serv. Bot. Agron. Tunisie*, vol 31, 282 p.
- GYSI M. (2006) : "Aptitude à l'ensilage et qualité d'ensilage des graminées et des légumineuses", *Revue suisse Agric.*, vol. 38, 6, 303-307.
- HARIGA S. (1996) : *Le sulla ensilage : une technique à promouvoir*, mémoire de fin d'études de l'INA Tunisie, Tunis, 62 p.
- HENDERSON N. (1993) : "Silage additives", *Animal Feed Science and Technology*, 45, Elsevier Science Publishers B.V. Royaume Uni, 35-56.
- JARRIGE R. (1988) : "Ingestion et digestion des aliments", *Alimentation des bovins, ovins et caprins*, éd. R. Jarrige, INRA Editions, 29-56.
- JOUANY J.P. (1982) : "Volatils fatty acids and alcohol determination in digestive content, silage juices, bacterial cultures and anaerobic fermentation contents", *Sciences des aliments 2.*, éditions Lavoisier, 131-144.
- LEDUC R., FOURNIER A. (1998) : *L'ensilage dans l'alimentation des ruminants. Colloque sur les plantes fourragères*, Conseil des productions végétales du Québec (Canada), 62p.
- LEIBENSPERGER R.Y., PITT R.E. (1987) : "A model of clostridial dominance in ensilage", *Grass and Forage Sci.*, 42, 3, 297-317.
- MENKE K.H., STEINGASS H. (1988) : "Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid", *Anim. Res. and Develop.*, 28, 7-55.
- MOULE C. (1971) : *Fourrages. Tome 1*, La maison rustique, Paris, 174-181.
- MULLER A., MICOLD., DOZIAS D., PECCATTE J.R. (1992) : "Foin ou ensilage pour les bovins en croissance en système herbager", *INRA Productions animales*, 5, 2, 121-126.
- NAJJAR T. (1990) : "Valeur alimentaire et pratique d'utilisation des ensilages en Tunisie", *Journée d'information, Débat sur l'ensilage*, Ministère de l'Agriculture, 8-13.
- OHYAMA Y., MASAKI S. (1977) : "Chemical composition of silages treated with some volatile fatty acids, with special reference to the changes in sugars", *J. Sci. Food Agric.*, 28, 78-84.
- PARAGON M.B., ANDRIEU J.P., BRUNSCHING P., GAILLARD F., GRIESS D., HEUCHEL V. et al. (2004) : *Bonnes pratiques de fabrication de l'ensilage pour une meilleure maîtrise des risques sanitaires*, Agence française des sécurités des aliments, France, 103 p.
- SEMADENI A. (1976) : "Le sulla en Tunisie", *2^e réunion du Groupe FAO des herbages méditerranéens*, 20-23 avril, Tunisie.
- SLIM S., BEN JEDDI F. (2011) : "Protection des sols des zones montagneuses de la Tunisie par le sulla du Nord (*Hedysarum coronarium L.*)", *Sécheresse*, 22, 2, 117-124.
- SLIM S., BEN JEDDI F., BELGHITH A., ZOUAGHI M. (2008) : "Caractérisation spectrale d'un couvert de sulla Bikra 21", *Revue de l'INAT*, 23, 1, 199-206.
- TRIFI-FARAH N., BAATOUT H., BOUSSAÏD M. et al. (2002) : "Evaluation des ressources génétiques des espèces du genre *Hedysarum* dans le bassin méditerranéen", *Plant Gen. Res. Newsl.*, 130, 1-6.
- VAMBELLE M. (1992) : *Nos prairies*, Ministère de l'agriculture du Royaume belge, Bruxelles, 68 p.



Association Française pour la Production Fourragère

La revue *Fourrages*

est éditée par l'Association Française pour la Production Fourragère

www.afpf-asso.org



AFPF – Centre Inra – Bât 9 – RD 10 – 78026 Versailles Cedex – France

Tél. : +33 01 30 21 99 59 – Fax : +33 01 30 83 34 49 – Mail : afpf.versailles@gmail.com

Association Française pour la Production Fourragère