



**Coop de France Déshydratation**

43, rue Sedaine, CS 91115 –  
75538 PARIS CEDEX 11

Analyse des valeurs alimentaires de la luzerne  
déshydratée en fonction du temps de préfanage

Partenaires :



**Coopédome**

Coopérative de déshydratation  
11 rue de la cidrerie - 35113 - DOMAGNE



FranceAgriMer

**FranceAgriMer**

12 rue Henri Rol-Tanguy / TSA 20002 / 93555 Montreuil-sous-  
Bois cedex - [www.franceagrimer.fr](http://www.franceagrimer.fr)

Le 18 novembre 2009

Vincent Ballard

## NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

**Auteur :** Vincent BALLARD

**Signalement du rapport :** Analyse des valeurs alimentaires de la luzerne déshydratée en fonction du temps de préfanage.

(34 pages, 38 figures et tableaux, 1 annexe)

**Mots clés :** luzerne, préfanage, valeurs alimentaires

### Résumé

Au cours des dernières années, le prix de l'énergie a fortement augmenté. Afin de s'adapter à ce nouveau contexte économique, la déshydratation a mis en place de nouvelles techniques industrielles pour réduire sa consommation d'énergie. Parmi celles-ci, la fauche à plat a été développée dans le but de favoriser le préfanage. La luzerne fauchée reste exposée un à deux jours avant le passage d'un andaineur. Ceci permet d'accroître l'évaporation de l'eau au champ et donc de réduire la consommation d'énergie lors de la déshydratation.

L'intérêt économique du préfanage est acquis, seulement les conséquences du préfanage sur la valeur alimentaire du produit ne sont pas connues. Aussi, l'objectif de cet essai sera de mesurer l'évolution des valeurs alimentaires de la luzerne déshydratée en fonction du temps et du mode de pré-fanage (à plat ou en andain).

L'essai a été réalisé début juillet 2009 sur une 2<sup>ème</sup> coupe de luzerne en Ille et Vilaine. Les conditions météorologiques étaient à dominante nuageuse.

Les principaux résultats sont les suivants. Tout d'abord, le préfanage sur les 60 heures a permis de gagner 36 points de matière sèche à l'entrée de l'usine. Ensuite, au niveau des caractéristiques alimentaires de la luzerne déshydratée : aucune relation évidente entre la quantité de matière azotée et le préfanage n'apparaît. Les quantités de vitamines E et de Bêta-carotène (fonction anti-oxydative) diminuent progressivement à partir de 24 heures de préfanage. Les constituants pariétaux augmentent de manière limitée tout au long du préfanage (+3-4 points). L'augmentation des constituants pariétaux serait plutôt à relier avec une diminution des constituants solubles. Le profil en acides gras évolue peu au cours du préfanage. Les quantités d'acide alpha-linoléique restent stables.

En conséquence, jusqu'à 24 h, aucun des composants ne varie réellement. Les premiers changements apparaissent sur les vitamines après 24 h. En ce qui concerne le mode de préfanage (12 heures en andain ou 12 heures à plat), aucune différence significative n'a été mise en évidence.

# Tables des matières

<b>I. Matériel et méthodes :</b>	<b>5</b>
<b>1. Modalités testées</b>	<b>5</b>
<b>2. Planning de récolte</b>	<b>6</b>
<b>3. Choix de la parcelle et déshydratation</b>	<b>7</b>
<b>4. Echantillons et analyses</b>	<b>8</b>
<b>II. Résultats et discussion</b>	<b>9</b>
<b>1. Données météorologiques (station de Saint Jacques de la Landes, 35)</b>	<b>9</b>
1. 1. Evolutions mensuelles (avril à octobre 2008 et avril à juin 2009)	9
1. 2. Evolution au cours de l'étude du 6 au 10 juillet 2009	11
<b>2. Les conditions météorologiques sur la parcelle</b>	<b>13</b>
<b>3. Les caractéristiques non alimentaires de la luzerne déshydratée</b>	<b>14</b>
3. 1. Evolution de la matière sèche moyenne du lot à l'entrée de l'usine	14
3. 2. La couleur des bouchons	15
<b>4. Les caractéristiques alimentaires de la luzerne déshydratée</b>	<b>15</b>
4. 1. Généralités sur les graphiques	15
4. 2. La Matière Azotée Totale (MAT = N x 6,25) (en %)	16
4. 3. La dégradabilité de la matière azotée (en %)	17
4. 4. La cellulose brute (en %)	18
4. 5. Van Soest : NDF, ADF et ADL (en %)	19
4. 6. La matière grasse (MG) (en %)	20
4. 7. L'acide malique (en %)	21
4. 8. Les sucres (en %)	22
4. 9. La digestibilité de la matière organique (dMO, en %)	23
4. 10. Les matières minérales (en %)	23
4. 11. Le phosphore et le calcium (en %)	24
4. 12. La vitamine E (en mg/kg)	25
4. 13. Le bêta carotène (en mg/kg)	26
4. 14. Les Acides Gras (AG, en % relatif)	27
<b>III. Discussion générale</b>	<b>29</b>
<b>1. Principaux résultats</b>	<b>29</b>
<b>2. Limites</b>	<b>29</b>
<b>3. Perspectives</b>	<b>31</b>
<b>IV. Annexes</b>	<b>33</b>
<b>1. Moyennes ajustées calculées</b>	<b>33</b>

## Introduction

La déshydratation est une activité consommatrice d'énergie, notamment de charbon et de pétrole. Elle est alors très dépendante des cours mondiaux de l'énergie. Et face à une demande mondiale de plus en plus importante (forte progression de la demande des pays émergents, augmentation modérée de la production de pétrole et de charbon, etc.), les prix de l'énergie flambent. Ceci s'est traduit entre 2004 et 2008 par un doublement du cours du charbon et un triplement du prix du pétrole brut. L'année 2009 semble être une pause en lien avec la crise financière. Pour les années suivantes, la majorité des économistes s'accordent sur le fait que les cours de l'énergie repartiront à la hausse.

Afin de s'adapter à ce nouveau contexte économique, la déshydratation a mis en place de nouvelles techniques industrielles pour réduire sa consommation d'énergie. Les deux les plus rencontrées sont : la fauche à plat et la biomasse en remplacement du charbon.

Auparavant, la luzerne était directement fauchée en andain. Le préfanage, qui correspond à l'évaporation de l'eau au champ, était donc limité à la partie extérieure de l'andain. Le cœur de l'andain restait souvent stable en humidité. Depuis quelques années, la luzerne est fauchée à plat sur le champ. Elle reste exposée un à deux jours avant le passage d'un andaineur. Ceci permet d'accroître l'évaporation de l'eau au champ et donc de réduire la consommation d'énergie lors de la déshydratation. En parallèle de la fauche à plat, les usines s'équipent progressivement de fours à biomasse (plaquettes de bois, sciure, miscanthus, etc.) pour devenir indépendante vis-à-vis des énergies non renouvelables comme le charbon.

Cette étude s'intéressera au préfanage. En effet, l'intérêt économique du préfanage est acquis, seulement les conséquences du préfanage sur la valeur alimentaire du produit ne sont pas connues. Nous ne savons pas si le préfanage entraîne une modification de la composition de la plante. Et si oui, dans quelles proportions ? Aussi, l'objectif de cet essai sera de mesurer l'évolution des valeurs alimentaires de la luzerne déshydratée en fonction du temps et du mode de pré-fanage (à plat ou en andain).

# I. Matériel et méthodes :

## 1. Modalités testées

La totalité de l'essai est réalisé dans la même parcelle. Les modalités testées sont les suivantes :

- Pré-fanage 0 h : Fauche, andainage et récolte à suivre
- Pré-fanage 6 h : Andainage et récolte après 6 heures de préfanage à plat
- Pré-fanage 12 h : Andainage et récolte après 12 heures de préfanage à plat
- Pré-fanage Andain 12 h : Récolte après 12 heures de préfanage en andain
- Pré-fanage 24 h : Andainage et récolte après 24 heures de préfanage à plat
- Pré-fanage 36 h : Andainage et récolte après 36 heures de préfanage à plat
- Pré-fanage 48 h : Andainage et récolte après 48 heures de préfanage à plat
- Pré-fanage 60 h : Andainage et récolte après 60 heures de préfanage à plat

Dans ce rapport les abréviations suivantes ont été utilisées pour chaque modalité :

- Pré-fanage 0 h : PF 0h
- Pré-fanage 6 h : PF 6h
- Pré-fanage 12 h : PF 12h
- Pré-fanage Andain 12 h : PFA 12h
- Pré-fanage 24 h : PF 24h
- Pré-fanage 36 h : PF 36h
- Pré-fanage 48 h : PF 48h
- Pré-fanage 60 h : PF 60h

## 2. Planning de récolte

Jour	Heure	Opérations effectuées
Mercredi 8 juillet	8h30 - 10h30	Fauche de la parcelle
	9h10 - 10h00	Andainage des modalités PF 0h et PFA 12h
	10h10 - 10h30	Récolte de la modalité PF 0h
	11h30 - 13h10	Déshydratation de la modalité PF 0h
	15h00 - 15h30	Andainage de la modalité PF 6h
	15h30 - 16h15	Récolte de la modalité PF 6h
	17h30 - 18h30	Déshydratation de la modalité PF 6h
	20h20 - 20h35	Andainage de la modalité PF 12h
	20h35 - 21h30	Récolte des modalités PF 12h et PFA 12h
	22h10 - 23h40	Déshydratation des modalités PF 12h et PFA 12h
Jeudi 9 juillet	8h30 - 8h50	Andainage de la modalité PF 24h
	8h50 - 9h20	Récolte de la modalité PF 24h
	10h00 - 11h40	Déshydratation de la modalité PF 24h
	18h40 - 19h00	Andainage de la modalité PF 36h
	19h00 - 19h20	Récolte de la modalité PF 36h
	20h45 - 21h20	Déshydratation de la modalité PF 36h
Vendredi 10 juillet	8h30 - 9h00	Andainage de la modalité PF 48h
	9h00 - 9h30	Récolte de la modalité PF 48h
	10h00 - 10h50	Déshydratation de la modalité PF 48h
	18h30 - 19h00	Andainage de la modalité PF 60h
	19h00 - 19h30	Récolte de la modalité PF 60h
	20h50 - 21h30	Déshydratation de la modalité PF 60h

	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
mercredi 8 juillet 2009												
jeudi 9 juillet 2009												
vendredi 10 juillet 2009												

	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
mercredi 8 juillet 2009												
jeudi 9 juillet 2009												
vendredi 10 juillet 2009												

Fauche	
Andainage	
Récolte	
Déshydratation	

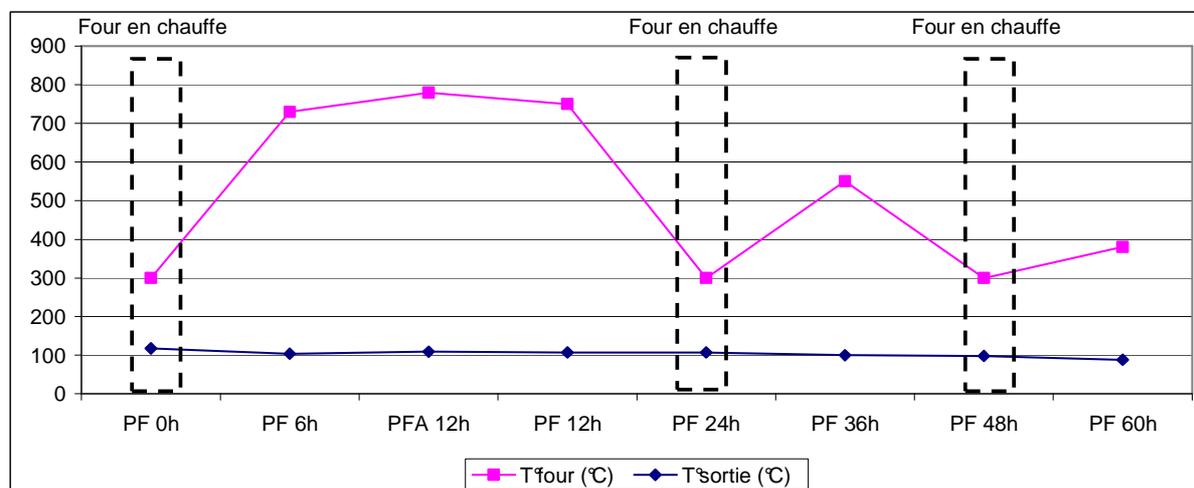
Pour chaque modalité, les temps réellement mesurés pour le préfanage sont les suivants ;

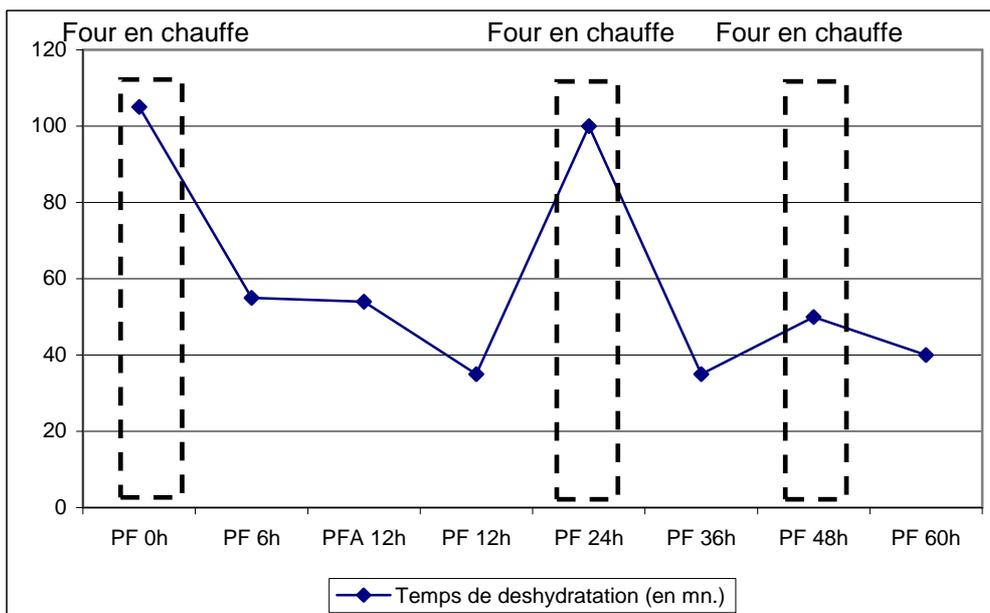
Modalité	Temps mesuré de préfanage
PF 0h	1h30
PF 6h	7h00
PF 12h	12h00
PFA 12h	12h00
PF 24h	25h00
PF 36h	35h00
PF 48h	49h00
PF 60h	59h00

### 3. Choix de la parcelle et déshydratation

La parcelle d'essai fait 7,1 ha soit environ 0,89 hectares par modalité. Il s'agit d'une luzerne implantée en 2008 (Variété : Marshal). La première coupe a été réalisée le 23 mai, le rendement était de 5,26 tonnes par hectares. Le rendement de la seconde coupe (réalisée pour l'essai) était de 4,88 tonnes par hectare.

La luzerne déshydratée est conditionnée en bouchons de 10 millimètres. Au niveau de l'usine de déshydratation, les réglages et temps de déshydratation étaient les suivants :





#### 4. Echantillons et analyses

Pour chaque modalité 3 échantillons ont été collectés. Les échantillons déshydratés ont été prélevés lorsque la moitié du lot était passé. Les analyses ont été effectuées par le laboratoire LAREAL (Vannes, 56).

En supplément des 8 modalités, une analyse a été effectuée sur la luzerne avant déshydratation (après récolte : faucheuse, andaineur et ensileuse). Comme pour les autres modalités, 3 échantillons ont été collectés. Ces 3 échantillons ont été lyophilisés.

Les critères analysés par le laboratoire étaient les suivants :

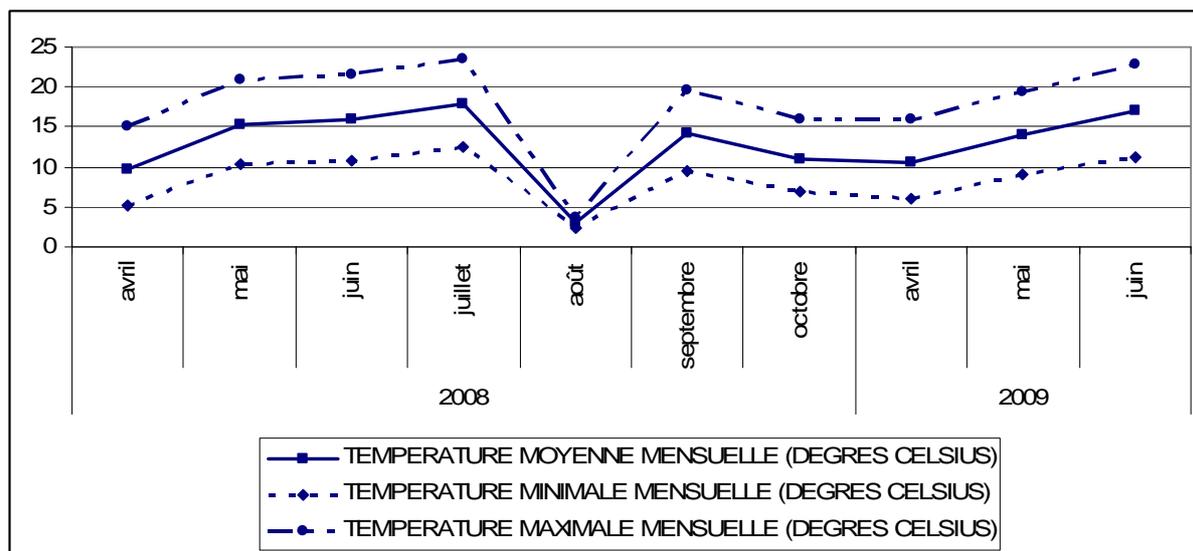
- Azote (MAT = Azote x 6,25) ;
- Matière grasse ;
- Sucres totaux ;
- Acide malique ;
- Cellulose ;
- NDF, ADF, ADL ;
- Matières minérales ;
- Calcium, phosphore ;
- Vitamine E ;
- Bêta-carotène ;
- Dégradabilité de la matière azotée, digestibilité de la matière organique ;
- Profil en acides gras.

## II. Résultats et discussion

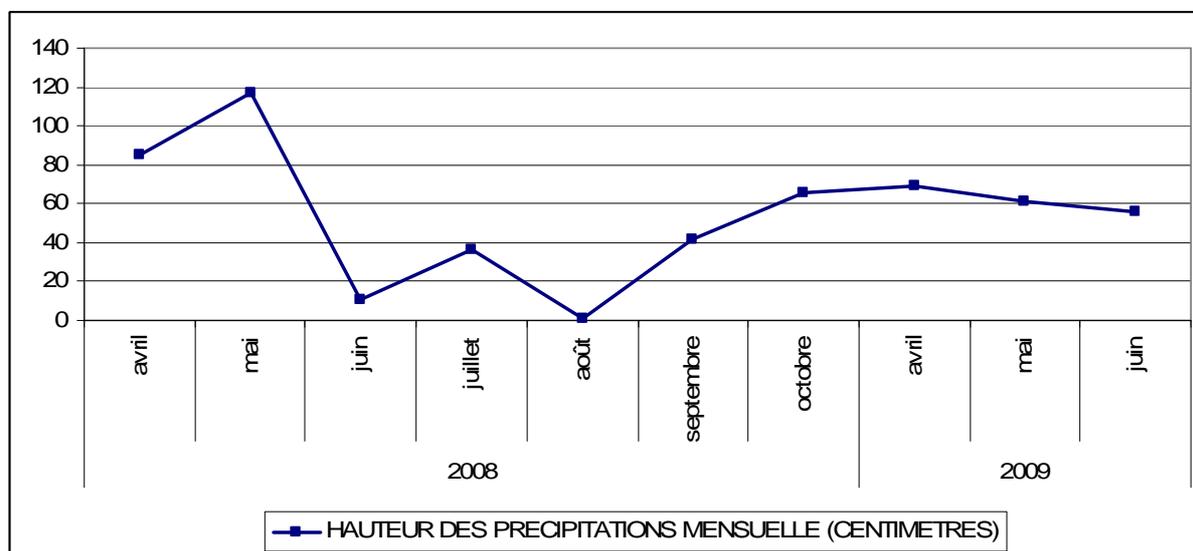
### 1. Données météorologiques (station de Saint Jacques de la Landes, 35)

#### 1. 1. Evolutions mensuelles (avril à octobre 2008 et avril à juin 2009)

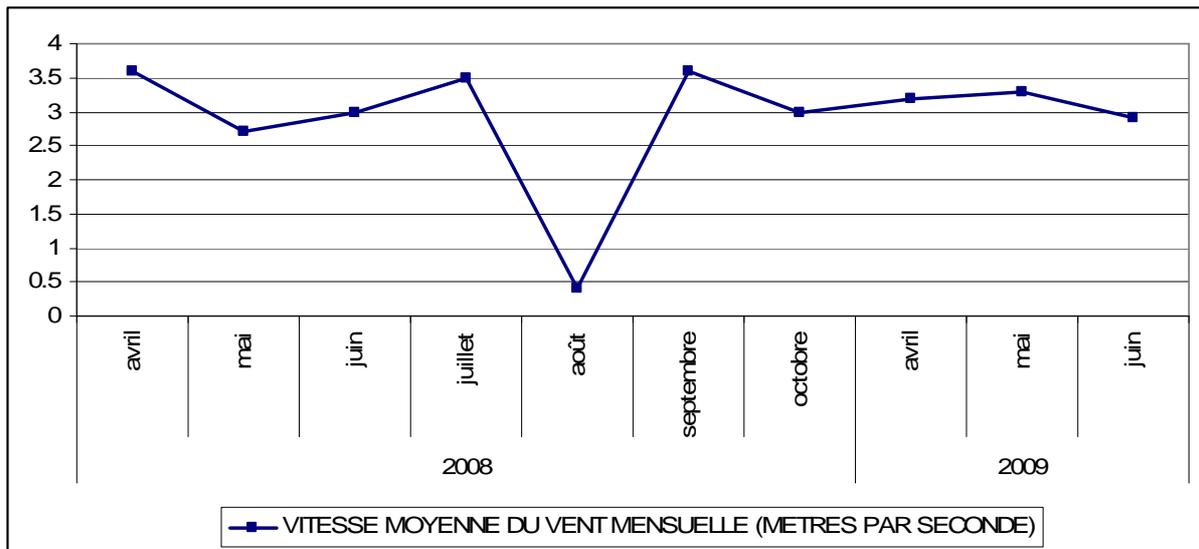
##### 1. 1. a.) Les températures



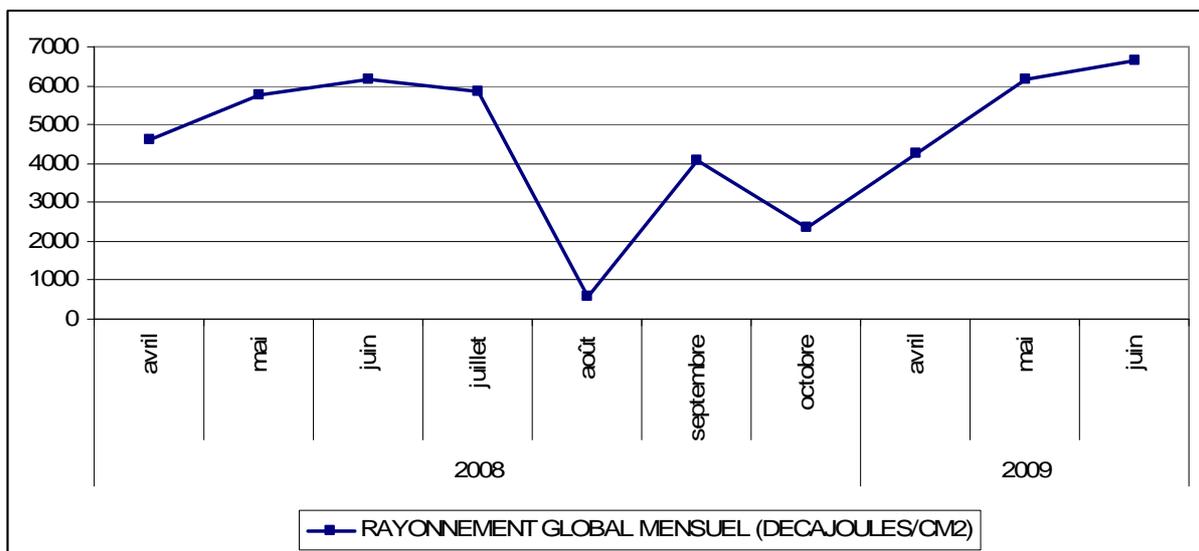
##### 1. 1. b.) Les précipitations



### 1. 1. c ) La vitesse du vent

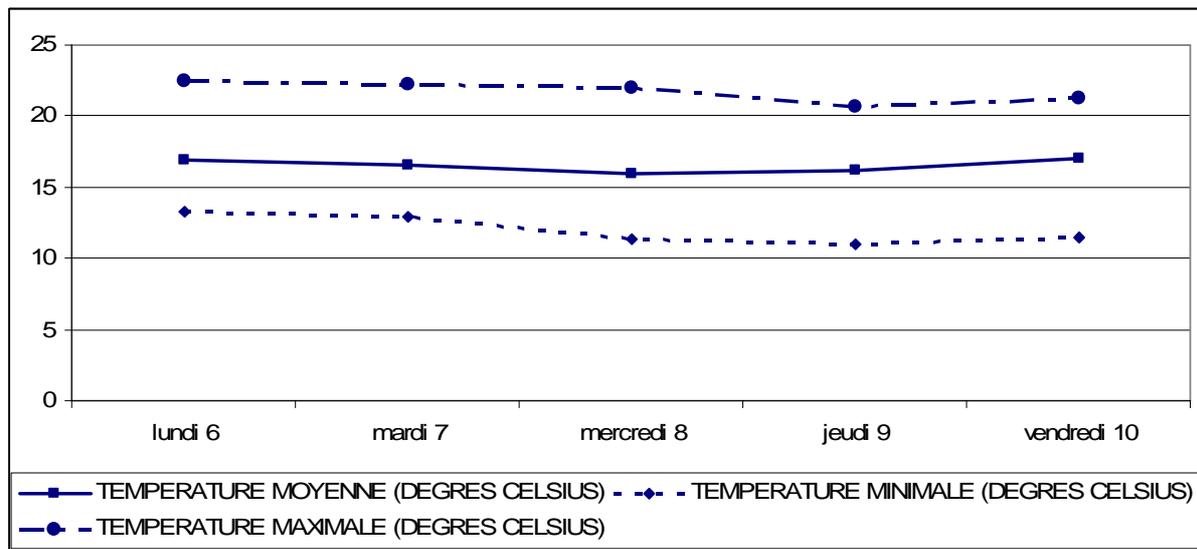


### 1. 1. d ) Le rayonnement global

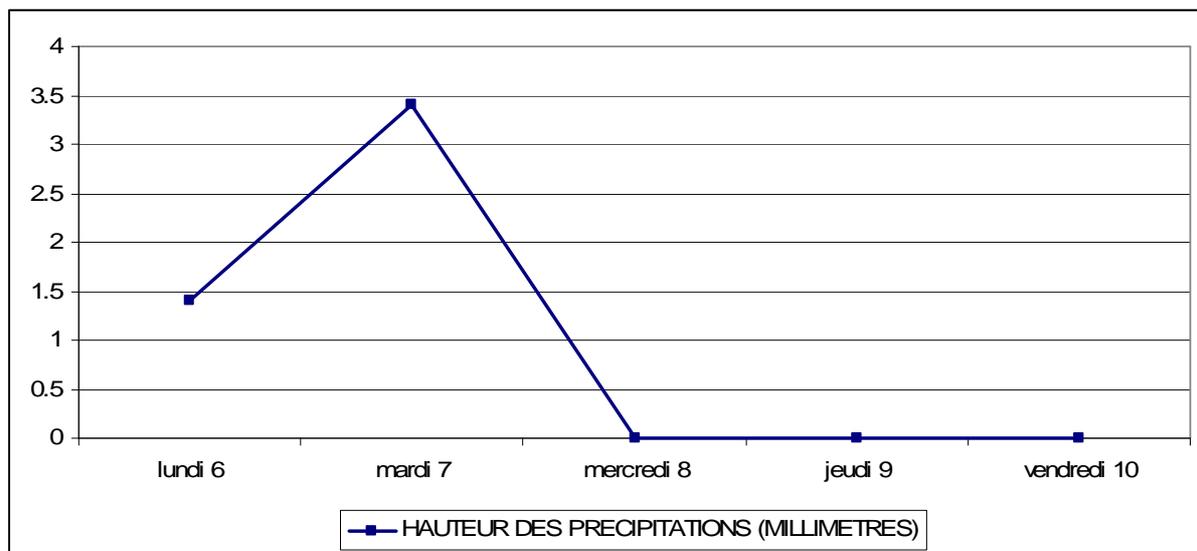


## 1. 2. Evolution au cours de l'étude du 6 au 10 juillet 2009

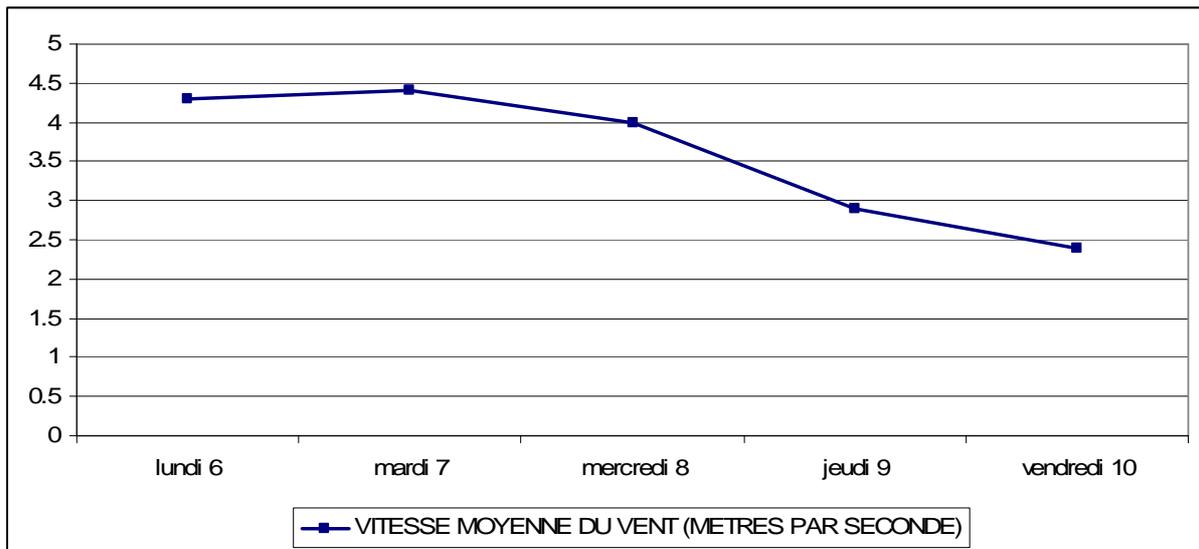
### 1. 2. a.) La température



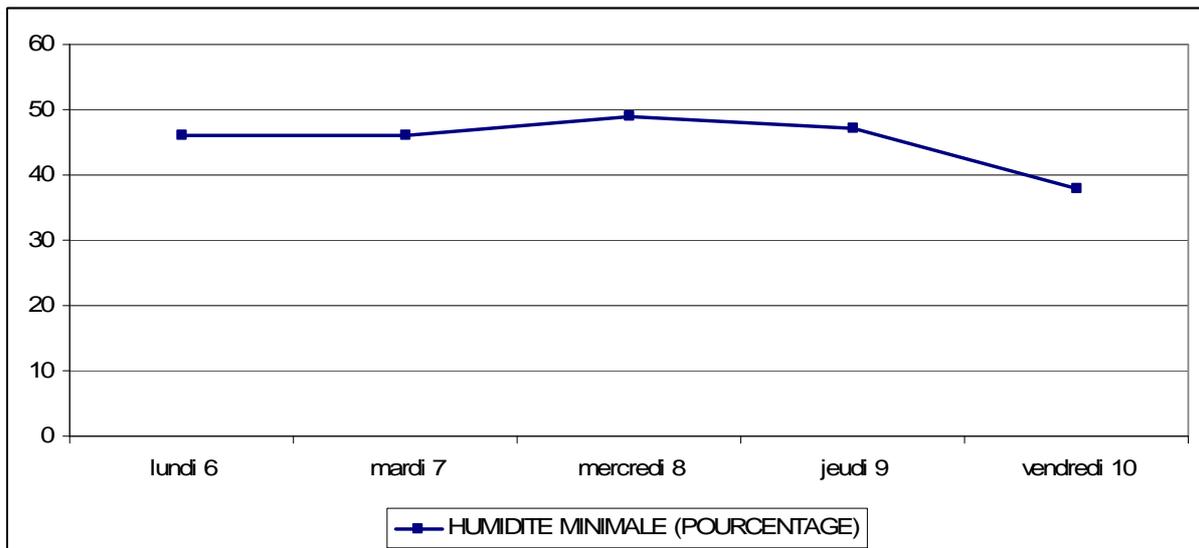
### 1. 2. b.) Les précipitations



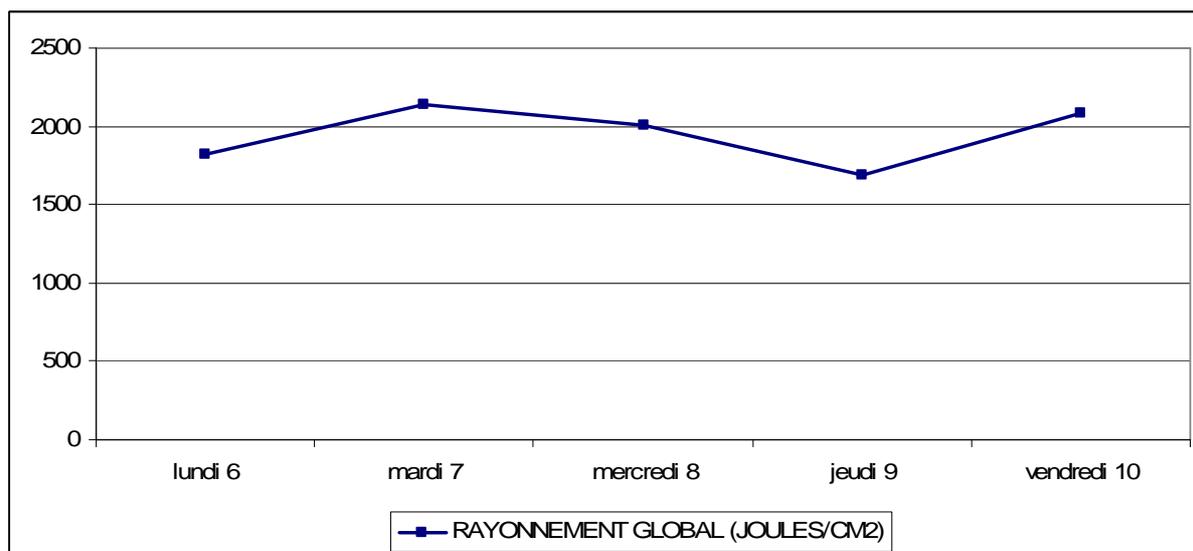
### 1. 2. c ) La vitesse du vent



### 1. 2. d ) L'hygrométrie



### 1. 2. e.) Le rayonnement global



## 2. Les conditions météorologiques sur la parcelle

Le mercredi 8 juillet : Le temps est nuageux avec quelques cumulus menaçants. Seule une très faible averse (quelques gouttes, moins de 0,5mm) a été observée en début d'après midi. Les éclaircies sont peu nombreuses. Les températures ont été fraîches pour la saison avec des maximales de 20 à 22°C à l'intérieur des terres. Les vents de nord ouest sont modérés (30 à 40 km/h sur les côtes)

La nuit du 8 au 9 juillet : la nuit est calme (faible vent d'ouest), peu nuageuse et fraîche (10 à 12 °C)

Le jeudi 9 juillet : le ciel reste nuageux au cours de cette journée. Le soleil fait de belles apparitions le matin. Quelques gouttes (moins de 0,5 mm) sont tombées vers 17h. Les températures restent fraîches (20°C). Le vent de nord ouest à nord est resté faible.

La nuit du 9 au 10 juillet : Elle reste partagée entre nuages et éclaircies, mais sans pluie. Les températures sont restées proches de 11°C. Le vent de nord ouest à nord est resté faible.

Le vendredi 10 juillet : le matin, ciel très nuageux sans éclaircies. De belles éclaircies ont été observées l'après midi avec des températures supérieures et un vent plus important que les jours précédents.



Mercredi 8 juillet à 10h00



Jeudi 9 juillet à 8h30

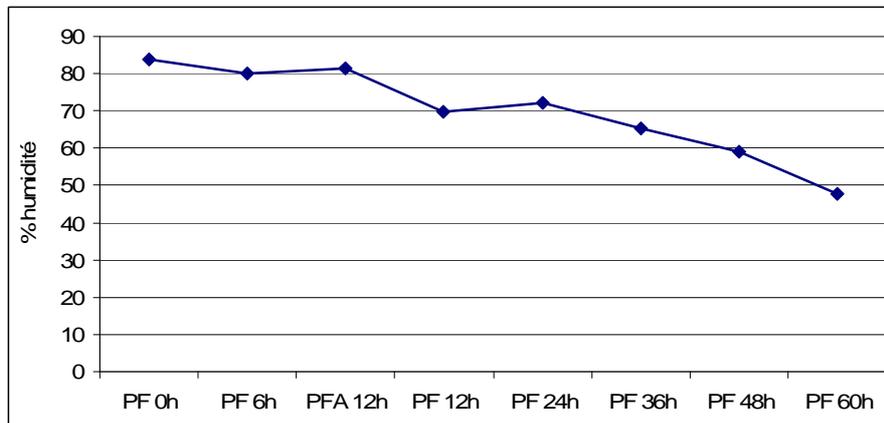


Vendredi 10 juillet à 18h30

### 3. Les caractéristiques non alimentaires de la luzerne déshydratée

#### 3. 1. Evolution de la matière sèche moyenne du lot à l'entrée de l'usine

	% d'humidité
PF 0h	83.7
PF 6h	80.0
PFA 12h	81.6
PF 12h	69.8
PF 24h	72.0
PF 36h	65.2
PF 48h	59.1
PF 60h	47.8



### 3. 2. La couleur des bouchons



Nous n'observons pas un gradient pour la couleur mais un changement de couleur à partir du lot PF24h. Les échantillons de la première moitié (PF0h, PF6h, PF12h et PFA12h) sont vert foncé. Tandis que la seconde moitié (PF24h, PF36h, PF48h et PF60h) est plutôt vert clair.

Cette évolution est certainement en lien avec le taux de chlorophylle dans la plante. Les causes de cette variation peuvent être la durée du préfanage, l'effet jour/nuit et/ou les réglages de l'usine (température et durée de la déshydratation).

## **4. Les caractéristiques alimentaires de la luzerne déshydratée**

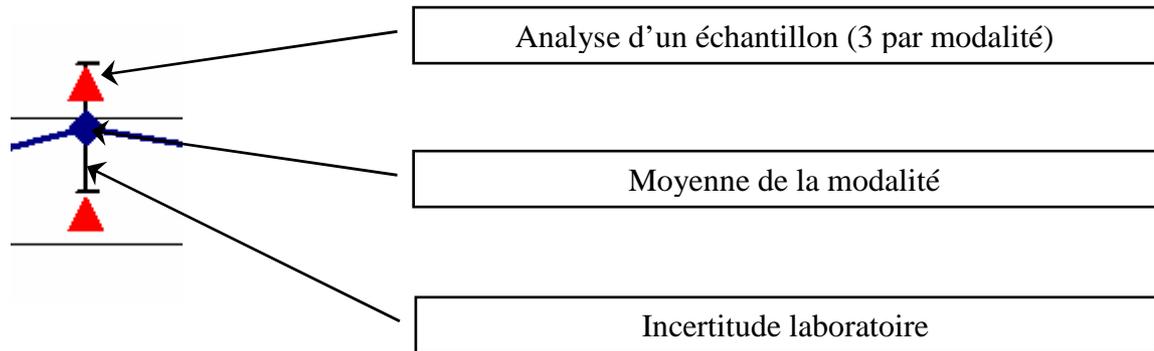
Cette partie présente l'évolution des valeurs alimentaires de la luzerne déshydratée en fonction des modalités de préfanage. Une partie des explications ou hypothèses présentées ont été étayées grâce à l'aide des personnes suivantes :

- Mr Cabon (Qualité – valorisation ruminants, Arvalis - Institut du végétal, La Jaillière) ;
- Mme Coste (Enseignante-Chercheur, ESA, Angers) ;
- Mr Huyghe (Président du Centre Inra Poitou-Charentes, Lusignan) ;
- Mr Lebouquin (Directeur Technique (?), LAREAL, Vannes) ;
- Mr Peyraud (Chercheur INRA, UMR PL, Saint-Gilles) ;
- Mr Poulain (Enseignant-Chercheur, AgroCampus, Rennes).

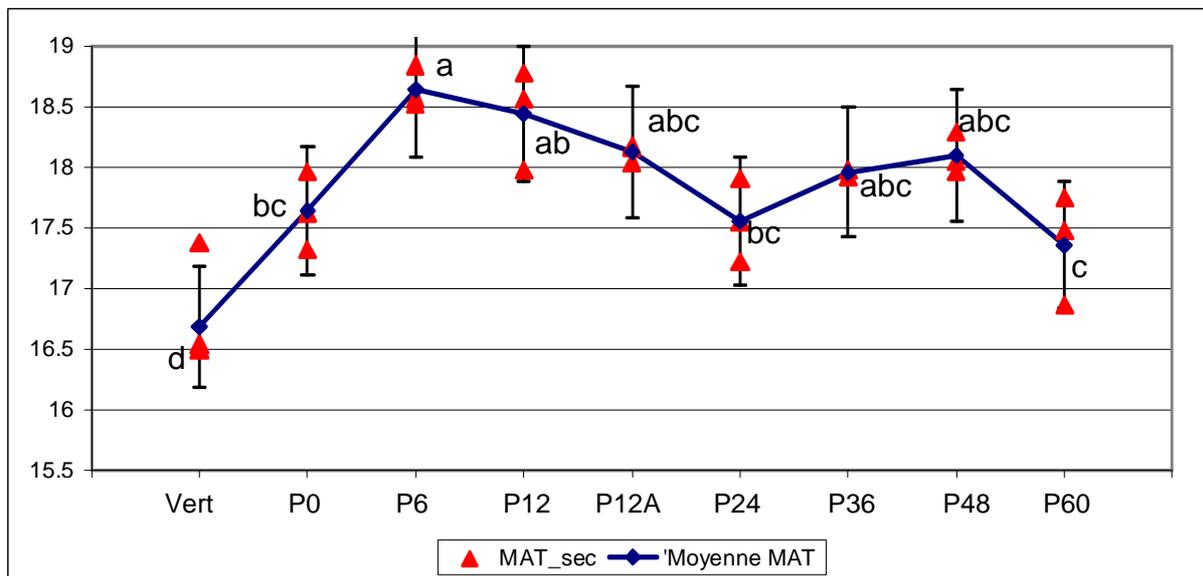
### 4. 1. Généralités sur les graphiques

Le point « Vert » correspond à la luzerne lyophilisée (90% MS), c'est à dire sans préfanage, ni déshydratation.

Le schéma suivant présente les différents motifs des graphiques :



#### 4. 2. La Matière Azotée Totale (MAT = N x 6,25) (en %)



Hypothèse(s) :

L'augmentation de la MAT entre PF0h et PF6h pourrait être liée au fait qu'une partie de la matière azotée a été perdue dans les jus (cas des lots qui arrivent plus humides à l'usine).



En théorie, le préfanage entraîne une perte de feuilles au champ pour le foin de légumineuses. La composition des feuilles étant différente de celle des tiges (notamment pour la matière azotée), nous aurions pu observer une baisse de la matière azotée. Dans cette étude, nous n'avons pas dépassé 50% de MS et les pertes de feuilles au champ ne sont pas visibles.

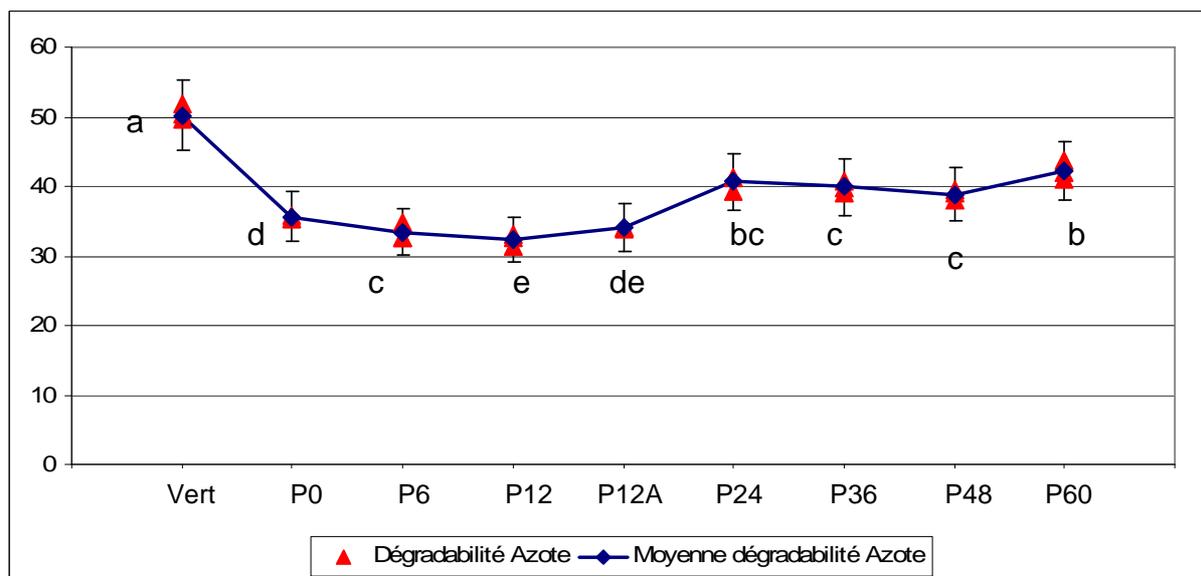
Il apparaîtrait alors qu'en moyenne, la matière azotée de la luzerne ne varie pas au cours du préfanage.

Point(s) inexplicé(s) :

Echantillon lyophilisé avec une valeur inférieure aux échantillons déshydratés.

L'évolution de cette courbe semble « liée » à la courbe de la température du four. Hasard ? En relation avec la production d'oxyde d'azote ? Combustion de matière carbonée aux fortes températures, d'où une augmentation en concentration de la matière azotée ?

4. 3. La dégradabilité de la matière azotée (en %)

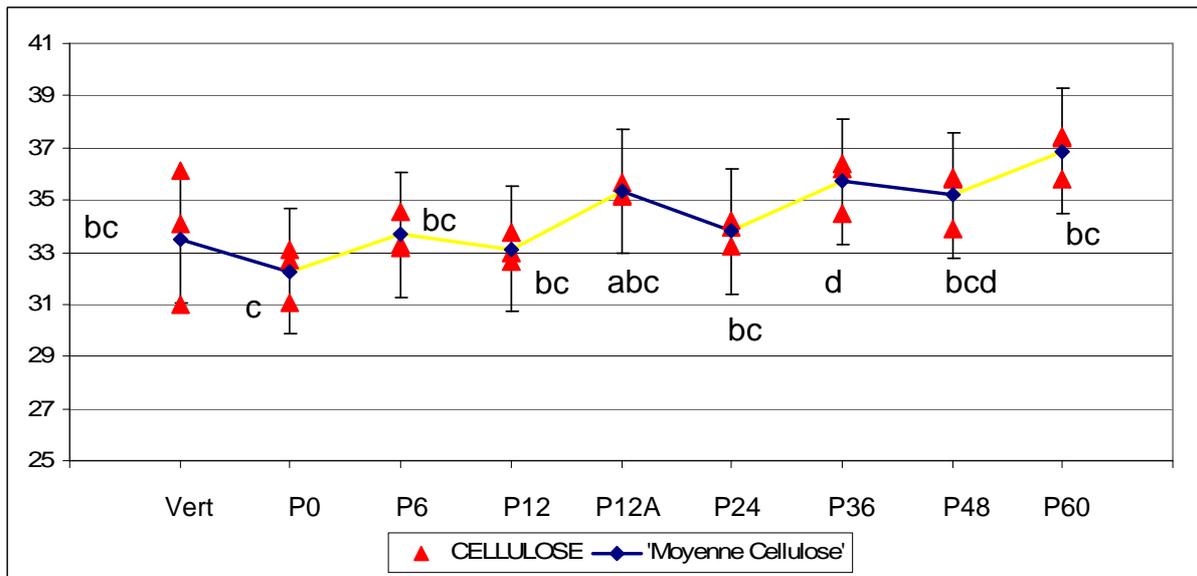


Hypothèse(s) :

Dans un premier temps (entre vert et P0), la déshydratation engendre une protection (coagulation et non tannage) des protéines, d'où une dégradabilité supérieure pour les échantillons en vert par rapport aux échantillons déshydratés.

Dans un second temps (à partir de P12), des enzymes de destruction sont probablement activées au cours du fanage, ce qui engendre une dégradation des protéines. L'azote est alors plus disponible. Seulement, cette hypothèse n'est pas confirmée après 24 heures puisque la DMA se stabilise.

#### 4. 4. La cellulose brute (en %)



#### Hypothèse(s) :

Selon Mr Lebouquin :

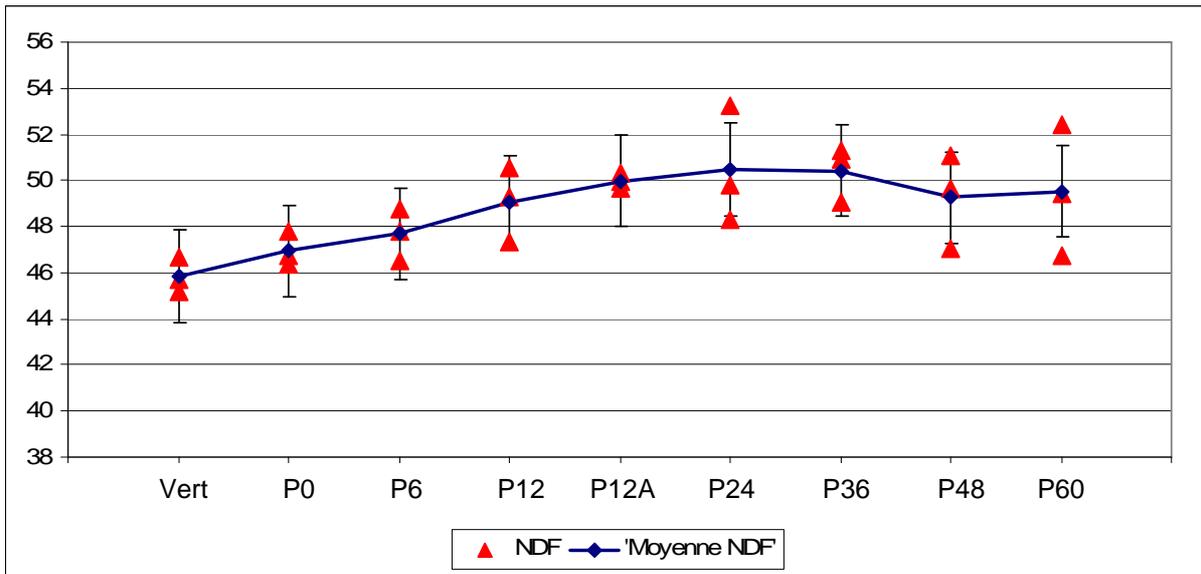
Au cours du fanage, la plante renforce ses parois pour se protéger des agressions extérieures (soleil, vent). La plante renforce ses constituants pariétaux en consommant ses éléments solubles. Nous pouvons penser que l'augmentation le jour est à mettre en lien avec une activité photosynthétique. Tandis que la nuit, le métabolisme dominant est la respiration d'où une consommation des constituants.

Dans un andain, les conditions sont plus adaptées à l'augmentation des constituants pariétaux.

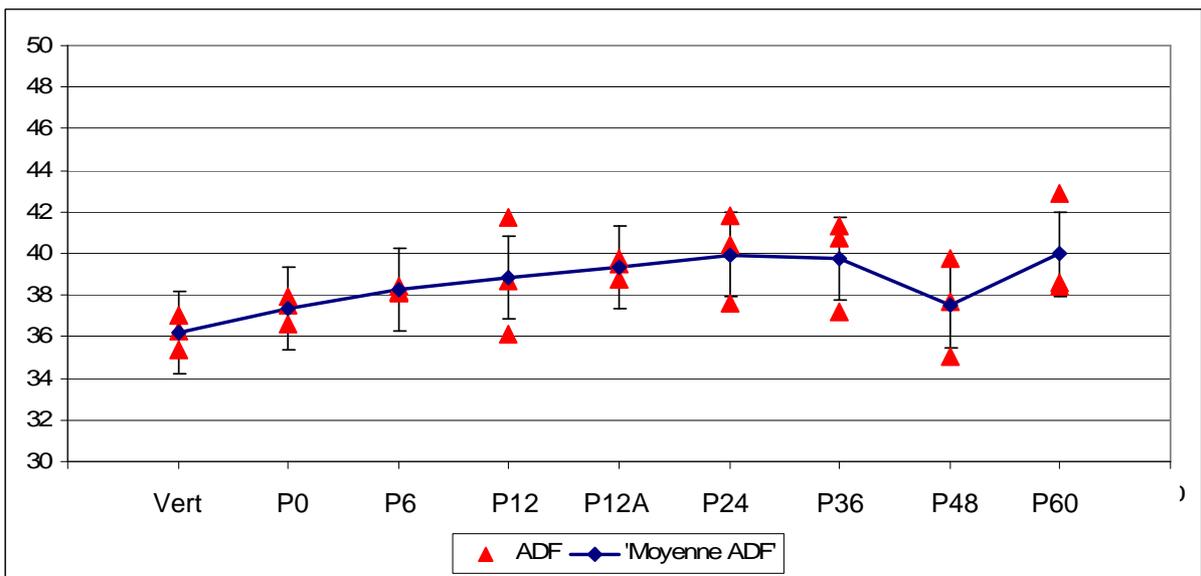
Selon Mr Huyghe :

La plante ne renforce rien au cours du préfanage. La durée du préfanage est trop courte pour permettre une synthèse de cellulose. L'augmentation en cellulose serait plutôt à mettre en lien avec la décroissance d'éléments solubles (MAT et sucres notamment). En effet, les éléments solubles sont consommés par la plante pour sa respiration.

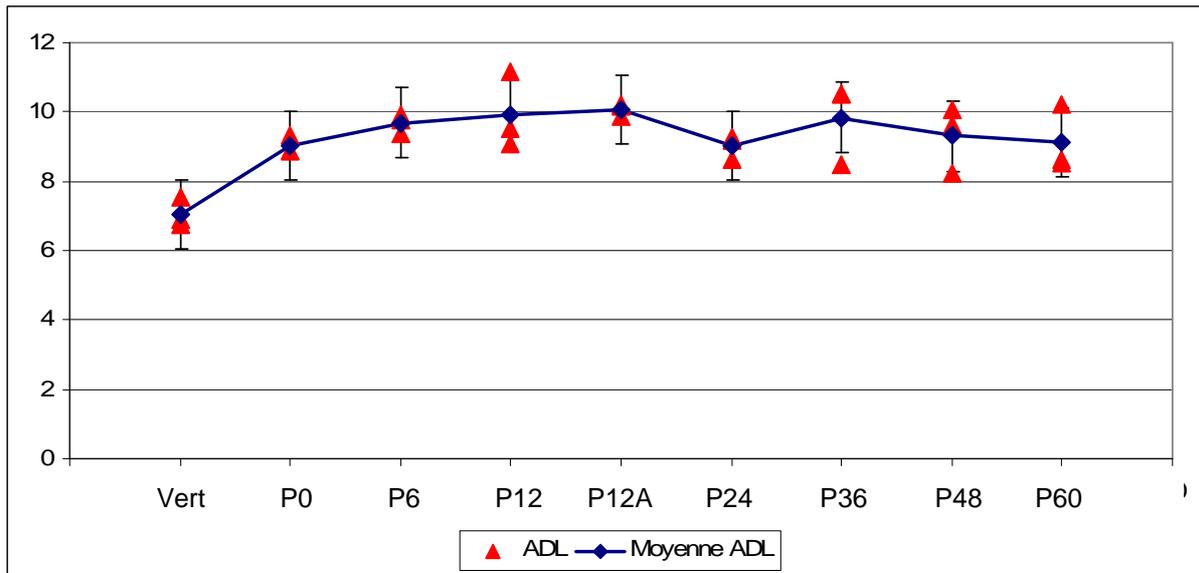
4. 5. Van Soest : NDF, ADF et ADL (en %)



Significatif, mais aucune différence lors du test de Student



Non significatif



Hypothèse(s) :

La variation en ADL (NS) semble être en lien avec la variation de cellulose brute, c'est à dire augmentation des constituants pariétaux.

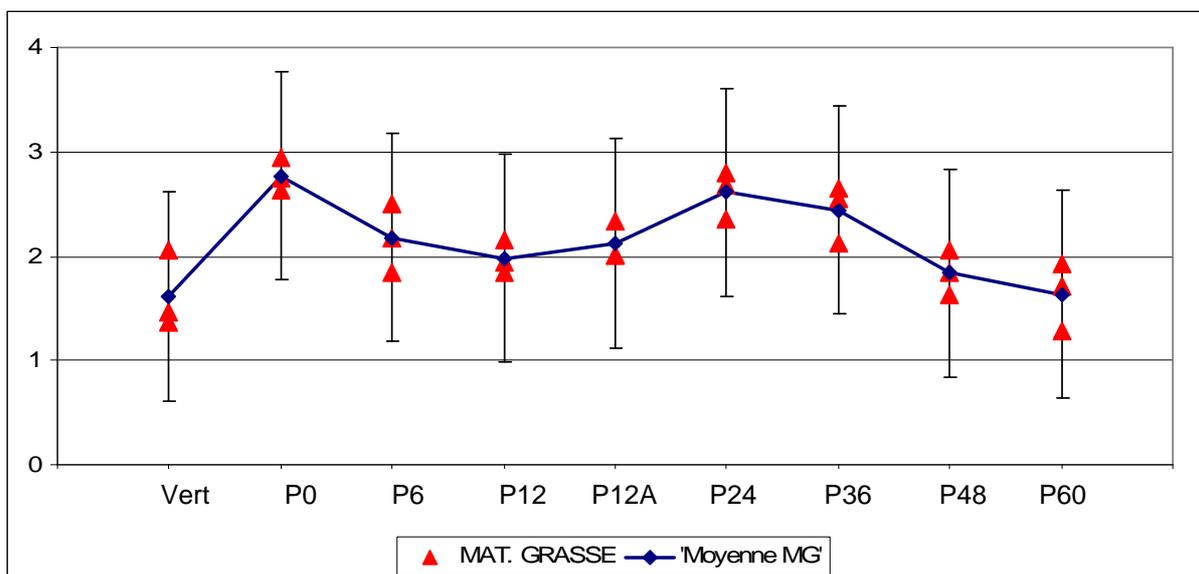
Par ailleurs, les dosages NDF et ADL sont moins précis que les dosages ADF.

Point(s) inexplicé(s) :

La modalité P24 est déconnectée des autres : lien avec le pourcentage d'humidité de cet échantillon (et donc des réglages usines différents) ? Représentativité des échantillons ?

Une partie de l'azote a pu se fixer sur les fibres au cours du préfanage et/ou de la déshydratation via la réaction de Maillard. Quelle quantité ?

4. 6. La matière grasse (MG) (en %)

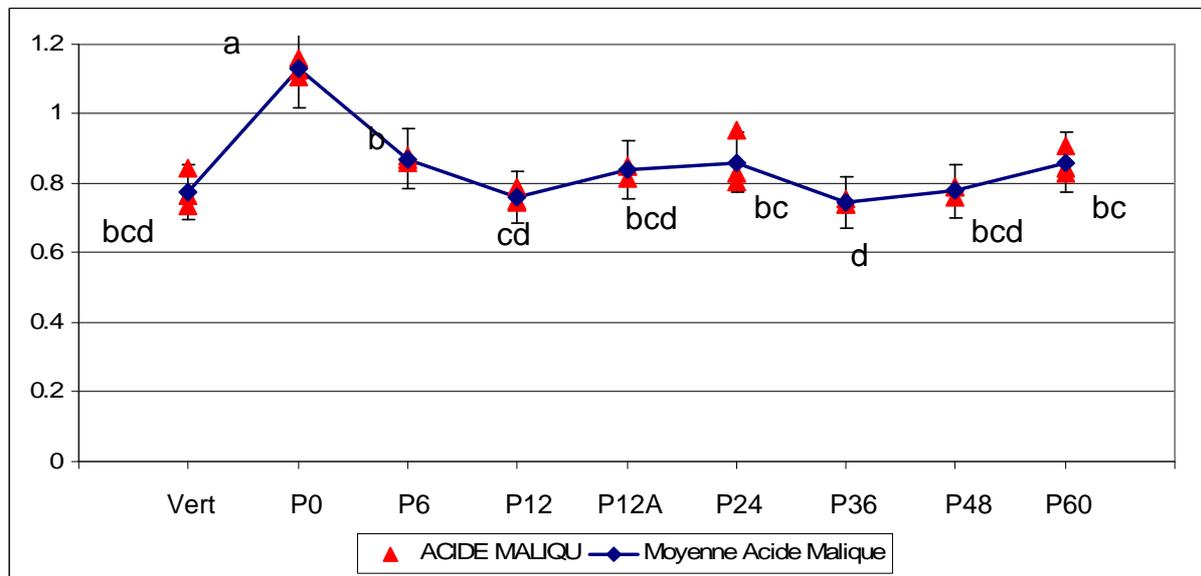


Résultats difficilement interprétables suite à l'incertitude d'analyse.

Hypothèse(s) :

Pas de lien avec le temps de préfanage.

#### 4. 7. L'acide malique (en %)



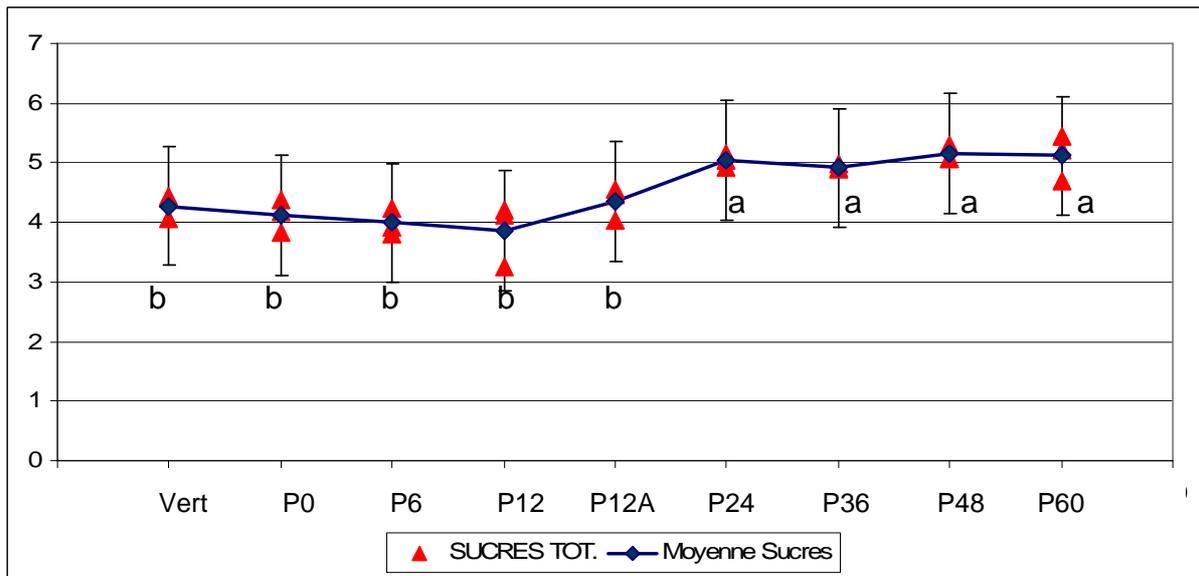
Hypothèse(s) :

Selon Mr Lebouquin :

Pour se protéger de la dessiccation, la plante va renforcer ses parois. L'acide malique serait l'un des constituants les plus faciles à mobiliser pour sa paroi interne, d'où une diminution rapide puis un palier. (Eléments bibliographiques ?).

A côté de cela, il semblerait que l'acide malique soit très volatil. Il se pourrait alors que celui-ci diminue par évaporation au cours du préfanage. (Eléments bibliographiques ?).

#### 4. 8. Les sucres (en %)



Il s'agit des oses et di-osides.

##### Hypothèse(s) :

Selon Mr Huyghe :

Il faudrait voir les méthodes de mesures des sucres. S'il s'agit des sucres solubles réducteurs, qui sont normalement des composés solubles intra-cellulaires, ils sont 'rapidement' consommés après la coupe. Ce que l'on retrouve au cours de la première journée. La position à partir de 24 h est plus surprenante. Cependant, à 24h, on a déjà bien chuté en teneur en eau et la vie cellulaire a fortement diminué et les nuits sont plus fraîches, d'où moins de respiration.

##### Point(s) inexplicé(s) :

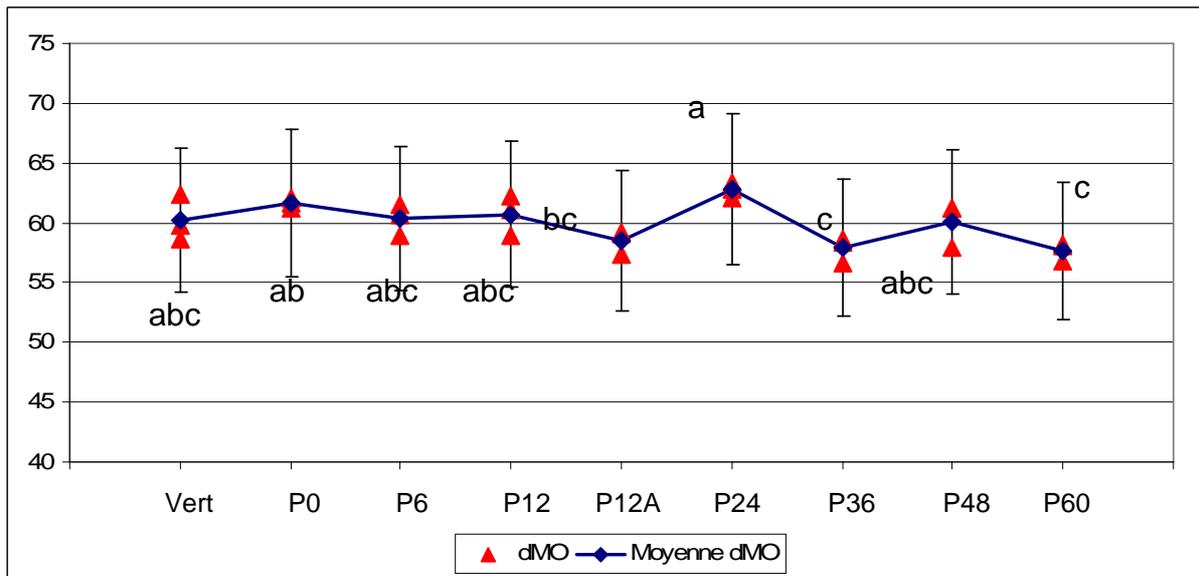
Très peu d'hypothèses pour ce critère.

Augmentation liée à l'activation d'enzyme au cours de la sénescence ?

Evolution opposée à une activité bactérienne ?

Evolution en contradiction avec une éventuelle vie cellulaire, où nous devrions observer une diminution de la concentration en sucres facilement disponibles la nuit.

#### 4. 9. La digestibilité de la matière organique (dMO, en %)



##### Hypothèse(s) :

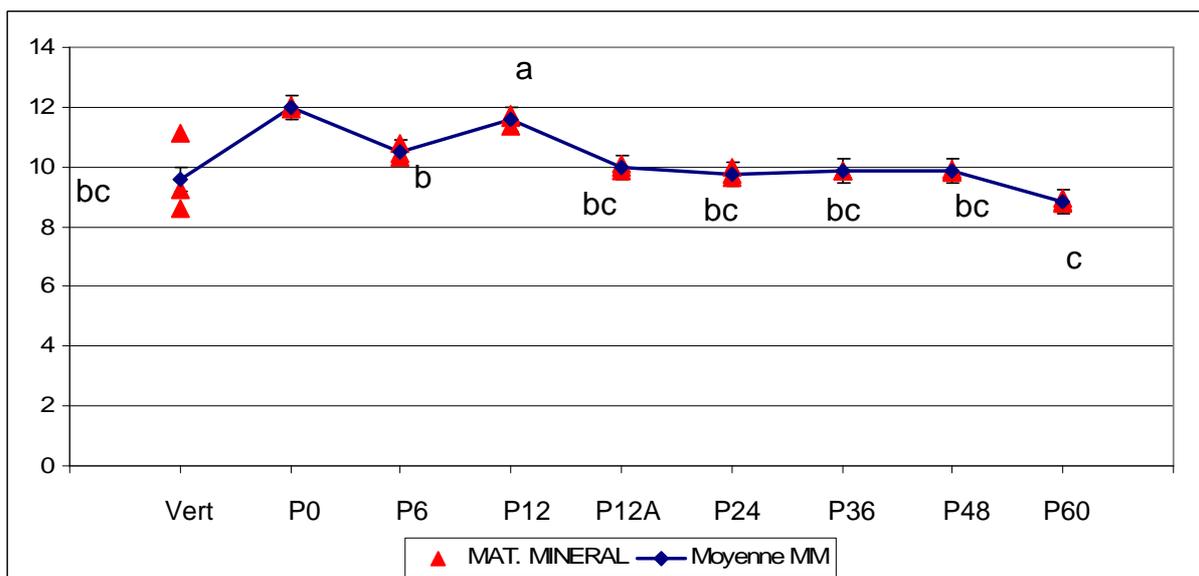
L'évolution au cours des 36 premières heures (sauf pour le point 24h) peut être mise en lien avec l'augmentation des constituants pariétaux. L'accroissement des constituants pariétaux impliquerait une perte de 2 à 3 points de la dMO.

##### Point(s) inexplicé(s) :

Pic au niveau du point P24 : lien avec l'humidité des bouchons, le pic en NDF, ADF et ADL ?

Evolution après 36 heures ?

#### 4. 10. Les matières minérales (en %)



Hypothèse(s) :

Pas de lien avec le temps de préfanage.

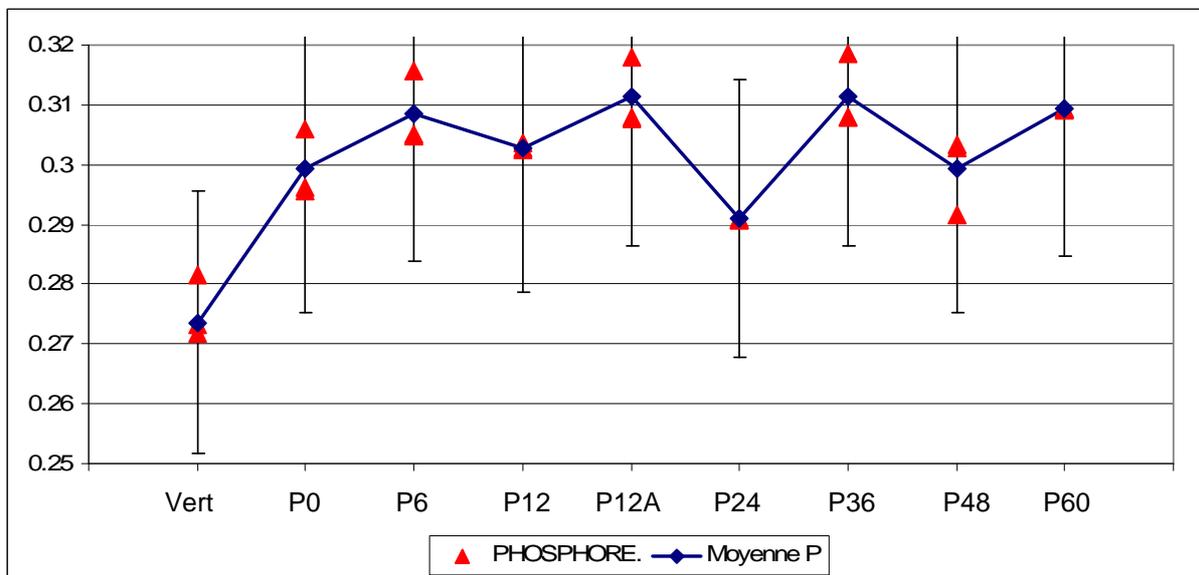
En théorie, certains minéraux sont dans la sève brute de la plante. Aussi, on aurait dû observer, comme pour la matière azotée, une augmentation de la concentration entre P0 et P6 à mettre en lien avec l'écoulement des jus. Ici, nous observons le contraire. (Hypothèse peu probable selon Mr Huyghe car une partie des minéraux (proportion ?) est liée au calcium qui dans la paroi cellulaire est lui-même lié à la pectine)

Point(s) inexplicé(s) :

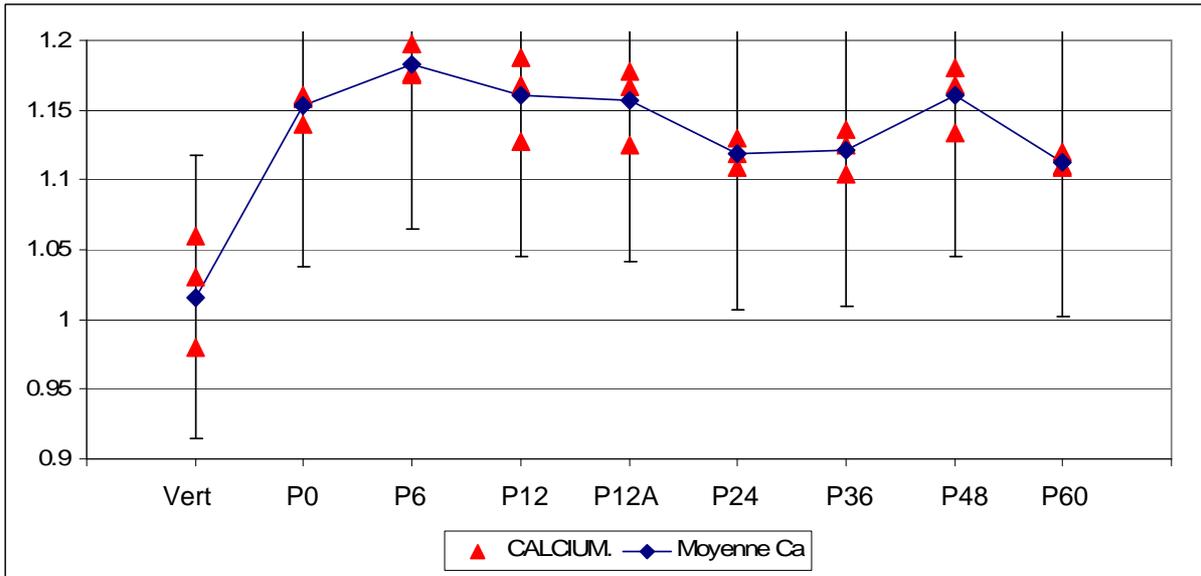
Evolution en lien avec la présence de cailloux, terre, cendres, biais lié à l'échantillonnage, l'analyse chimique ?

Diminution à 60 heures ?

4. 11. Le phosphore et le calcium (en %)



Résultats difficilement interprétables suite à l'incertitude d'analyse.



Résultats difficilement interprétables suite à l'incertitude d'analyse.

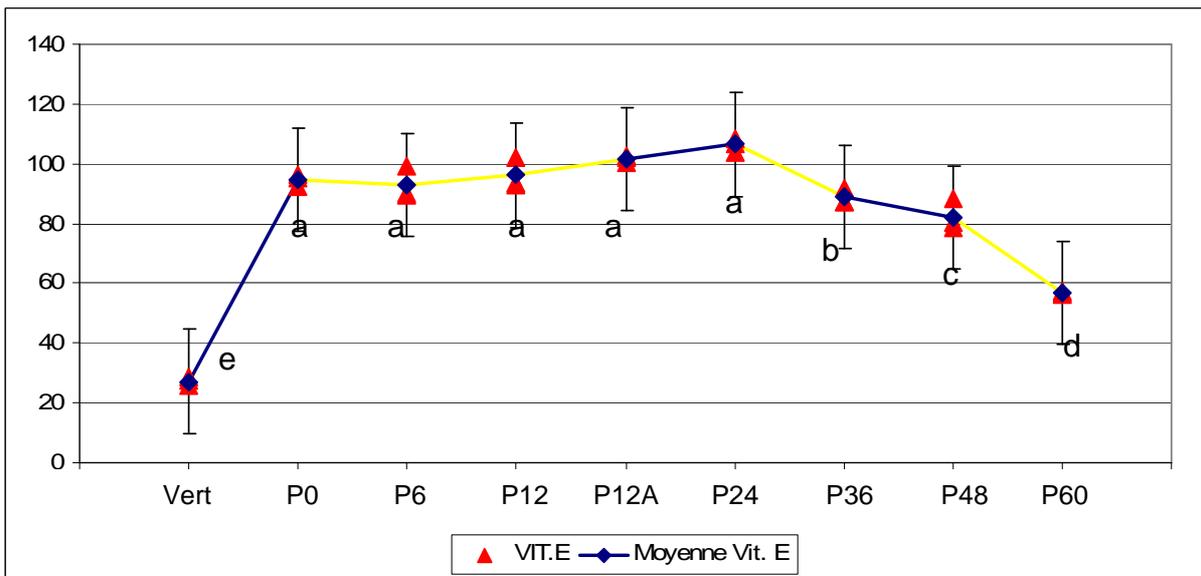
Hypothèse(s) :

Pas de lien avec le temps de préfanage.

Point(s) inexplicé(s) :

Point Vert déconnecté des autres.

#### 4. 12. La vitamine E (en mg/kg)



Hypothèse(s) :

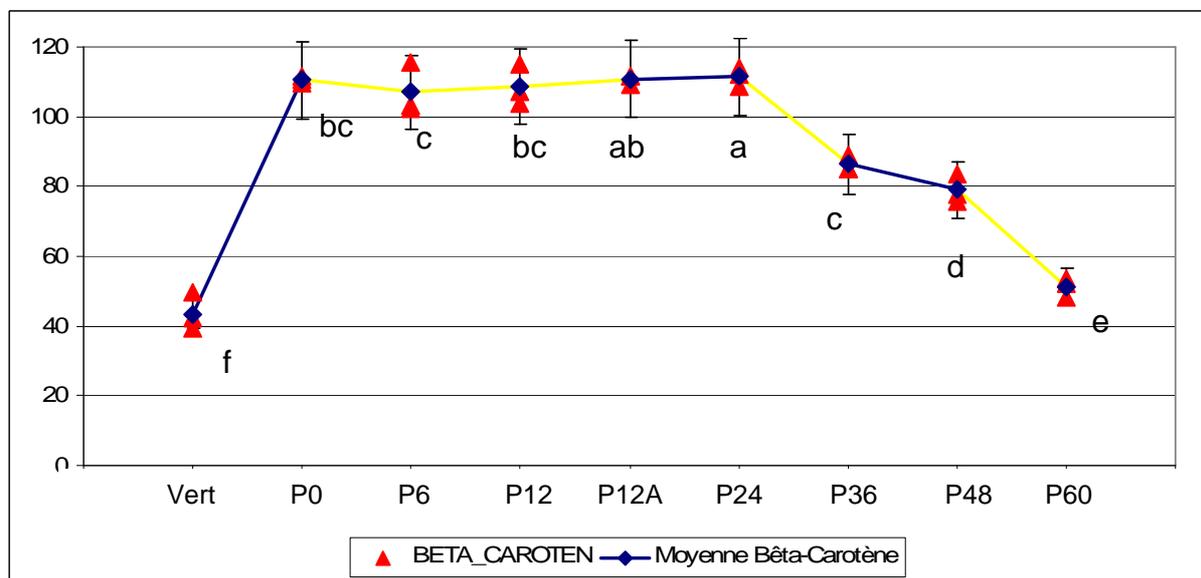
La vitamine E joue le rôle d'antioxydant. La photosynthèse produit des protons, neutralisés par des antioxydants comme la vitamine E. Au cours du préfanage, le niveau de vitamine E est resté stable pendant les 24 premières heures. Lorsque la plante entre en sénescence, elle ne peut plus « régénérer » ses antioxydants. Aussi pour « se protéger », elle dégrade les antioxydants (diminution à partir de 24 heures).

Par ailleurs les variations sont légèrement plus importantes le jour, ce qui pourrait confirmer un lien avec l'activité photosynthétique.

Point(s) inexplicé(s) :

Point Vert déconnecté des autres.

4. 13. Le bêta carotène (en mg/kg)



Hypothèse(s) :

Comme pour la vitamine E, le bêta-carotène joue le rôle d'antioxydant. Les hypothèses pour expliquer les évolutions sont alors les mêmes.

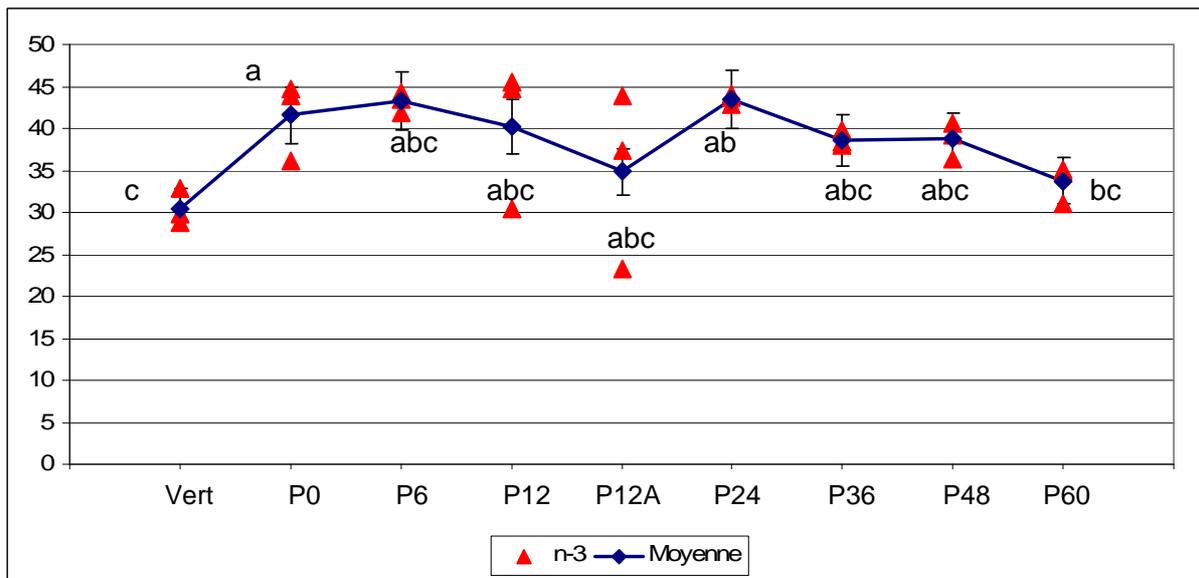
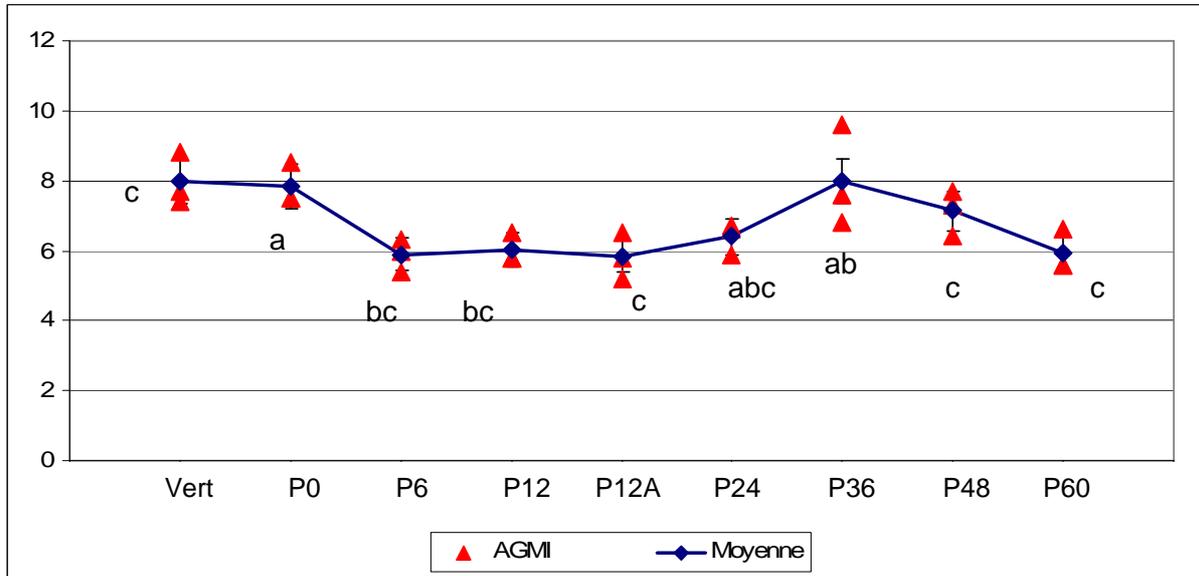
De plus, le carotène est un pigment chlorophyllien. Il est acquis qu'une corrélation existe entre la diminution de chlorophylle verte et de carotène (INRA, 1988). Ceci est confirmé dans cette étude par le changement de couleur des bouchons à P24.

Point(s) inexplicé(s) :

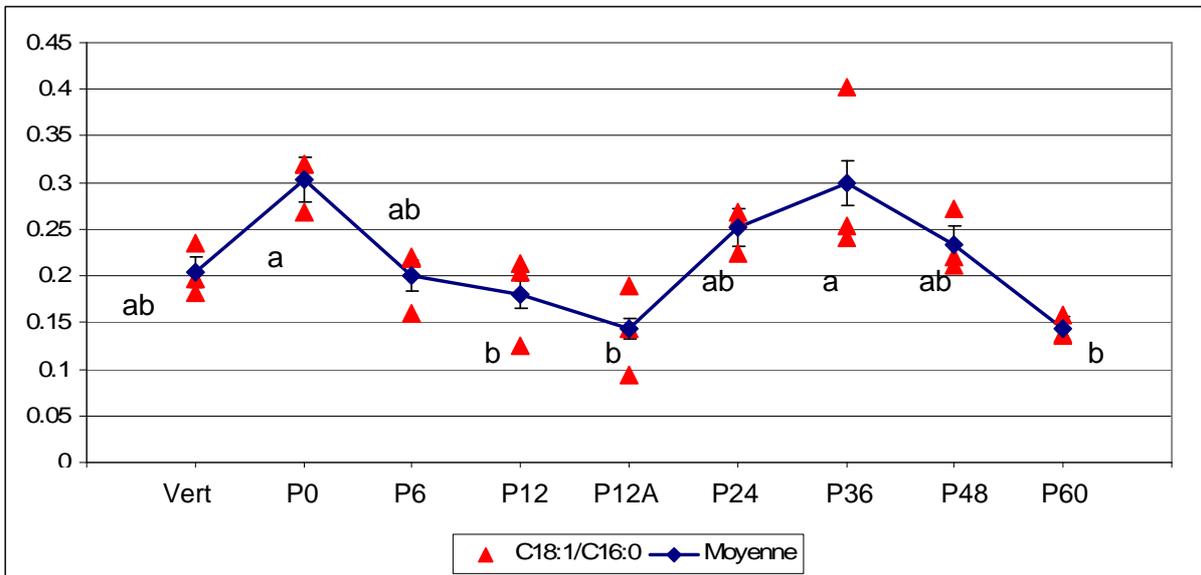
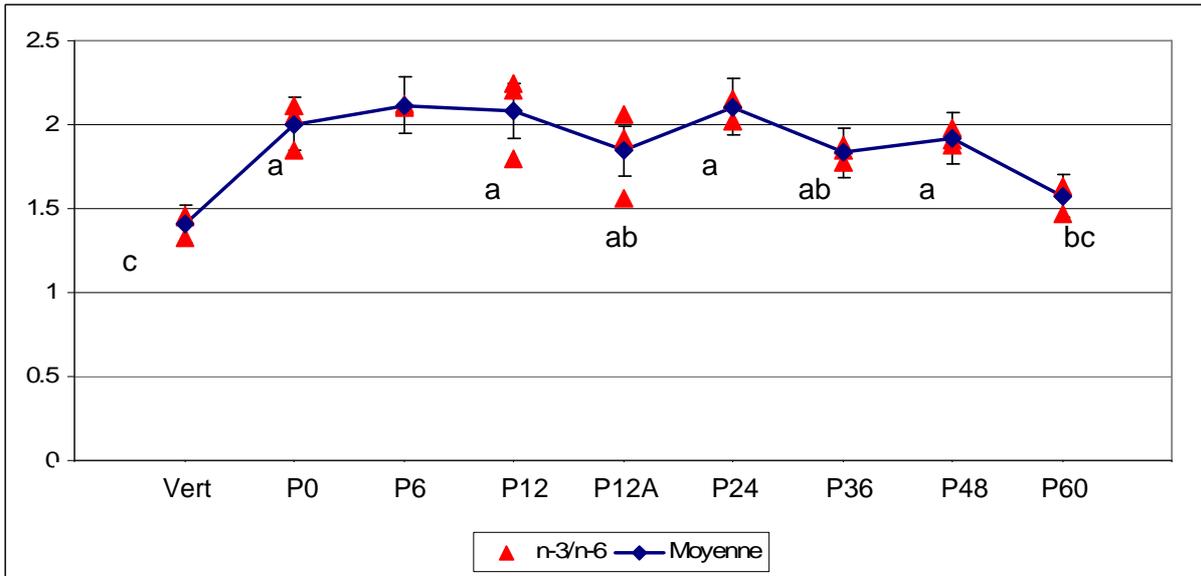
Point Vert déconnecté des autres.

#### 4. 14. Les Acides Gras (AG, en % relatif)

Seuls les critères avec des moyennes significativement différentes seront présentés.



Les valeurs sont les mêmes pour acide alpha linoléique étant donné qu'il est le principal oméga-3 de la luzerne.



Hypothèse(s) :

Les évolutions observées restant faibles, nous pouvons penser que le préfanage n'a pas d'incidence sur le profil de la matière grasse.

Point(s) inexplicé(s) :

Point « Vert » inférieur aux autres pour les oméga-3.

### III. Discussion générale

#### 1. Principaux résultats

L'objectif de cet essai était d'étudier les variations des caractéristiques alimentaires de la luzerne déshydratée en fonction du temps de préfanage.

L'essai a été réalisé début juillet 2009 sur une 2<sup>ème</sup> coupe de luzerne. Les conditions météorologiques étaient à dominante nuageuse.

Le préfanage sur les 60 heures a permis gagner 36 points de matière sèche à l'entrée de l'usine. D'un point de vue énergétique, ceci correspond à environ 80% d'économie.

A travers l'analyse des résultats de cette étude et par ordre de validité, il apparaît que :

✓ Les quantités de vitamines E et de Bêta-carotène (fonction anti-oxydative) diminuent progressivement à partir de 24 heures de préfanage ;

✓ Aucune relation évidente entre la MAT et le préfanage n'apparaît ;

✓ Les constituants pariétaux augmentent de manière limitée tout au long du préfanage (+3-4 points). Au final, les mécanismes de protection de la plante face aux agressions extérieures semblent peu probables. Une fois la plante coupée, la photosynthèse est très faible car la diminution de la teneur en eau provoque progressivement la mort de la plante. De plus, comme la plante est fauchée à plat sur le sol, la surface foliaire exposée au soleil est plus faible. L'augmentation des constituants pariétaux serait plutôt à relier avec une diminution des constituants solubles. ;

✓ Le profil en acides gras évolue peu au cours du préfanage. Les quantités d'ALA restent stables.

En conséquence, jusqu'à 24 h, aucun des composants ne varie réellement. Les premiers changements apparaissent sur les vitamines après 24 h.

En ce qui concerne le mode de préfanage (12 heures en andain ou 12 heures à plat), aucune différence significative n'a été mise en évidence. Ceci confirme l'intérêt du préfanage à plat.

#### 2. Limites

Entre la luzerne en vert dans le champ et les valeurs analytiques des bouchons de luzerne déshydratée, plusieurs éléments peuvent venir biaiser la compréhension des résultats. Dans cette partie, nous allons reprendre par ordre chronologique ces différents éléments.

La météo : Au cours de cette étude la météo était à dominante nuageuse. Un temps très ensoleillé ou pluvieux aurait probablement eu des conséquences différentes. En théorie, un

temps ensoleillé aurait généré une perte d'eau beaucoup plus forte mais pas de différence importante sur les composants. A côté de cela, l'impact du jour et de la nuit est un effet qui ne peut être contrôlé lors d'un essai terrain. Pour autant, il semblerait que celui-ci entraîne des modifications importantes du métabolisme cellulaire tout au long du préfanage.

La luzerne en « Vert » : Pour un grand nombre des critères mesurés, le point « Vert » se trouve déconnecté des autres. En théorie, la lyophilisation n'impacte pas la valeur alimentaire du produit. Aussi, seul un biais lié à l'échantillonnage peut être évoqué (une partie correspondait au tour de parcelle ; la luzerne en « Vert » a été prélevée sur le carreau de l'usine : conséquence du transport ?)

Le matériel de récolte : Les dommages physiologiques (écrasement, déchirure, etc.) subies par les plantes altèrent leur métabolisme. Dans cet essai, nous ne connaissons pas les dommages causés à la luzerne, aussi bien au niveau des tissus qu'au niveau des cellules, par les conditionneuses et les andaineurs.

Activité bactérienne : Des bactéries ont pu se développer au champ pendant le préfanage mais aussi sur le carreau avant déshydratation (temps d'attente inférieur à 1h30). Même si l'activité bactérienne reste certainement très faible, son ampleur est inconnue.

L'usine de déshydratation : La conduite des fours peut influencer les valeurs alimentaires de la luzerne. Il y a notamment deux phénomènes qui n'ont pu être mesurés. D'une part, il se peut qu'une partie de la luzerne brûle lors de la déshydratation en fonction de la température. La matière brûlée se retrouve dans les émissions de CO<sub>2</sub>, d'oxyde d'azote ou de COV. D'autre part, une partie de la matière azotée a pu se lier aux constituants pariétaux (réaction de Maillard). Ceci viendrait alors biaiser les analyses chimiques.

En effet, dans un four, la température réelle des tissus est abaissée via l'évaporation de l'eau. S'il y a moins d'eau en tête de four, la température réelle peut être différente entre les traitements et donner une idée erronée des conséquences du préfanage.

Echantillonnage : Pour prendre les échantillons, il fallait que l'usine soit stabilisée au niveau de ses réglages (éviter les débuts et fin de lots). Seulement, comme les lots étaient de petites tailles, les 3 échantillons ont souvent été collectés ensemble.

Les analyses chimiques : Plusieurs limites sont à prendre en compte :

- Niveau d'incertitude élevé pour certaines analyses (ex. : Ca, P, MG)
- Interaction entre les éléments, notamment pour la partie constituants pariétaux et matières azotées (réaction de Maillard)
- Sous-traitance et/ou changement de réactif pour une partie des analyses (6 échantillons Van Soest sous-traités)

### 3. Perspectives

Au cours de prochaines études, les éléments suivants pourraient être pris en compte :

Pour la météo :	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Etudier les variations sous d'autres conditions météorologiques (ensoleillé et pluvieux) ;</li><li>▪ Avoir un enregistrement des températures toutes les 30 minutes sur le terrain. Avoir aussi les données sur l'humidité relative ;</li><li>▪ Contrôler l'effet du temps (en heures ou en sommes de températures) par rapport à l'effet de la teneur en matière sèche résiduelle.</li></ul>
Pour l'échantillonnage :	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pour mesurer les conséquences de la déshydratation, prendre des échantillons <u>avant</u> et après déshydratation (inconvenient : deux fois plus d'analyses à réaliser) ;</li><li>▪ Analyser les écoulements de jus du premier lot (lot le plus humide) ;</li><li>▪ S'assurer de la taille des lots pour avoir une bonne représentativité lors de la collecte des échantillons ;</li><li>▪ Voir le mode de conservation pour les échantillons collectés avant usine : lyophilisation, étuve (48 heures, 80 °C avec ventilation<sup>1</sup>) ou autres.</li></ul>
Pour le process :	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ A l'avenir, il pourrait être intéressant de vérifier ces données sur un sécheur basse température ;</li><li>▪ Enregistrer précisément les évolutions des paramètres de l'usine (suivi du monitoring four).</li></ul>
Pour les analyses laboratoires :	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Analyser l'azote sur le résidu NDF dans le but de vérifier l'impact de la réaction de Maillard ;</li><li>▪ Ajouter l'analyse quantitative des pigments chlorophylliens (chlorophylle A, chlorophylle B, Carotène, Xanthophylles, voire des chloroplastes ?) pour suivre l'évolution du potentiel photosynthétique ;</li><li>▪ Supprimer les analyses avec un taux d'incertitude qui empêche les interprétations ;</li><li>▪ S'assurer de la totale reproductibilité des analyses : pas de changement de réactif, ni de matériel.</li></ul>

<sup>1</sup> Il faut une étuve ventilée montée en température au moment de l'introduction des échantillons. La température ne doit pas excéder 80 °C pour éviter les réactions de Maillard.

Pour finir et dans le but de se concentrer sur les conséquences du préfanage, il pourrait être envisagé de mettre de la luzerne coupée dans des conditions contrôlées (exemple d'une enceinte climatisée ou d'un tunnel ventilé avec suivi de la température, du débit d'air et de la luminosité). Ceci permettrait de se couvrir des biais liés à la météo, à l'échantillonnage et au matériel de récolte.

Les modalités de cet essai en station pourraient être les suivantes :

<b>Effet Conditionneuse</b>	<b>Effet Jour/nuit</b>	<b>Effet Durée du préfanage</b>
Fauche sans conditionneuse	Jour	P0, P6, P12, P24, P36, P48 et P60
	Alternance : 12h Jour et 12h Nuit	P0, P6, P12, P24, P36, P48 et P60
	Nuit	P0, P6, P12, P24, P36, P48 et P60
Fauche avec conditionneuse	Alternance : 12h Jour et 12h Nuit	P0, P6, P12, P24, P36, P48 et P60

Jour : 16°C avec un débit d'air de 3m/s (11 km/h)

Nuit : 10°C avec un débit d'air de 3m/s (11 km/h)

## IV. Annexes

### 1. Moyennes ajustées calculées

Variable	Vert	P0	P6	P12	P12A	P24	P36	P48	P60	ET	Proba
MAT_sec	16.68	17.63	18.64	18.44	18.13	17.55	17.96	18.09	17.36	0.34	0.0001
MG	1.61	2.77	2.18	1.98	2.12	2.61	2.44	1.84	1.64	0.26	0.0004
SUCRES	4.27	4.12	3.99	3.86	4.35	5.04	4.92	5.16	5.12	0.28	0.0001
ACIDE MALIQUE	0.78	1.13	0.87	0.76	0.84	0.86	0.75	0.78	0.86	0.04	0.0001
DEGRADABILITE MA	50.24	35.58	33.35	32.38	34.10	40.62	39.88	38.82	42.28	1.00	0.0001
NDF	45.84	46.93	47.68	49.05	49.98	50.47	50.42	49.24	49.54	1.68	0.0322
ADF	36.21	37.34	38.24	38.84	39.33	39.95	39.74	37.49	39.97	1.86	0.2102
ADL	7.05	9.01	9.69	9.92	10.08	9.03	9.84	9.30	9.14	0.74	0.0038
NDF-ADF	9.63	9.60	9.43	10.20	10.65	10.52	10.69	11.75	9.57	0.97	0.1365
ADF-ADL	29.17	28.32	28.56	28.92	29.25	30.92	29.90	28.19	30.83	1.24	0.1035
CELLULOSE	33.48	32.26	33.67	33.10	35.34	33.79	35.70	35.18	36.88	1.16	0.003
MM	9.60	12.01	10.52	11.61	9.98	9.77	9.87	9.88	8.85	0.48	0.0001
CALCIUM	1.02	1.15	1.18	1.16	1.16	1.12	1.12	1.16	1.11	0.02	0.0001
PHOSPHORE	0.27	0.30	0.31	0.30	0.31	0.29	0.31	0.30	0.31	0.01	0.0001
VIT.E	27.21	94.71	92.96	96.11	101.63	106.45	88.75	82.27	56.76	3.34	0.0001
BETA CAROTENE	43.45	110.58	107.04	108.56	110.72	111.53	86.34	78.95	51.21	4.10	0.0001
DIGESTIBILITE MO	60.27	61.64	60.34	60.73	58.54	62.77	57.93	60.13	57.68	1.28	0.0021
AGS	39.87	29.20	29.87	33.97	40.03	29.27	31.80	33.47	38.37	5.86	0.1616
C16:0	27.73	20.27	20.70	23.40	27.43	19.57	21.23	22.23	25.77	4.06	0.1487
AGI	60.27	70.63	70.10	66.00	59.93	70.97	68.27	66.43	61.63	5.82	0.1571
C18:1	5.67	6.07	4.10	4.00	3.63	4.90	6.27	5.20	3.73	0.68	0.0006
AGMI	7.97	7.83	5.90	6.03	5.83	6.40	8.00	7.13	5.93	0.72	0.0022
AGPI	52.30	62.80	64.20	59.97	54.10	64.57	60.27	59.30	55.70	6.14	0.2133
n-3	30.43	41.57	43.20	40.20	34.83	43.50	38.63	38.70	33.73	4.96	0.0549
ALA	30.43	41.57	43.20	40.20	34.83	43.50	38.63	38.70	33.73	4.96	0.0549
n-6	21.57	20.70	20.43	19.17	18.57	20.67	21.10	20.13	21.40	1.42	0.2296
LA	21.53	20.53	20.23	18.97	18.37	20.50	20.93	20.03	21.27	1.42	0.1946
n-3/n-6	1.41	2.00	2.11	2.08	1.85	2.11	1.83	1.92	1.58	0.14	0.00006
C18:1/C16:0	0.20	0.30	0.20	0.18	0.14	0.25	0.30	0.23	0.14	0.04	0.00142
AGS/OMEG 5	1.30	0.73	0.70	0.90	1.33	0.70	0.83	0.87	1.17	0.35	0.2101
HUMIDITE Bouchons	11.07	8.67	8.13	7.57	5.77	10.63	5.80	7.53	6.27	0.42	0.0001

ET : Ecart-type résiduel ; Proba : Résultat analyse de variance à un facteur

Variable	Vert	P0	P6	P12	P12A	P24	P36	P48	P60	ET	Proba
AGS	39.87	29.20	29.87	33.97	40.03	29.27	31.80	33.47	38.37	5.86	0.1616
C16:0	27.73	20.27	20.70	23.40	27.43	19.57	21.23	22.23	25.77	4.06	0.1487
AGI	60.27	70.63	70.10	66.00	59.93	70.97	68.27	66.43	61.63	5.82	0.1571
C18:1	5.67	6.07	4.10	4.00	3.63	4.90	6.27	5.20	3.73	0.68	<b>0.0006</b>
AGMI	7.97	7.83	5.90	6.03	5.83	6.40	8.00	7.13	5.93	0.72	<b>0.0022</b>
AGPI	52.30	62.80	64.20	59.97	54.10	64.57	60.27	59.30	55.70	6.14	0.2133
n-3	30.43	41.57	43.20	40.20	34.83	43.50	38.63	38.70	33.73	4.96	<b>0.0549</b>
ALA	30.43	41.57	43.20	40.20	34.83	43.50	38.63	38.70	33.73	4.96	<b>0.0549</b>
n-6	21.57	20.70	20.43	19.17	18.57	20.67	21.10	20.13	21.40	1.42	0.2296
LA	21.53	20.53	20.23	18.97	18.37	20.50	20.93	20.03	21.27	1.42	0.1946
LA/ALA	0.73	0.50	0.50	0.47	0.53	0.50	0.53	0.50	0.63	0.04	<b>0.0001</b>
n-3/n-6	1.41	2.00	2.11	2.08	1.85	2.11	1.83	1.92	1.58	0.05	<b>0.0003</b>
C18:1/C16:0	0.20	0.30	0.20	0.18	0.14	0.25	0.30	0.23	0.14	0.05	<b>0.0054</b>
AGS/OMEG 3	1.30	0.73	0.70	0.90	1.33	0.70	0.83	0.87	1.17	0.35	0.2101
C 12:0	0.37	0.23	0.30	0.27	0.37	0.30	0.33	0.40	0.40	0.06	<b>0.0473</b>
C 14:0	0.83	0.67	0.80	0.77	0.80	0.77	0.80	0.87	0.90	0.09	0.2039
C 15:0	0.77	0.47	0.50	0.57	0.70	0.50	0.53	0.57	0.67	0.13	0.1219
C 16:0	27.73	20.27	20.70	23.40	27.43	19.57	21.23	22.23	25.77	4.06	0.1487
C 16:1	2.00	1.47	1.53	1.80	1.97	1.27	1.40	1.63	2.00	0.35	0.1185
C 17:0	0.43	0.33	0.37	0.40	0.53	0.40	0.40	0.43	0.50	0.09	0.2009
C 18:0	4.20	3.27	3.37	3.83	4.57	3.37	3.67	4.00	4.50	0.67	0.1967
C 18:1	5.67	6.07	4.10	4.00	3.63	4.90	6.27	5.20	3.73	0.68	<b>0.0006</b>
C 18:2 n-6	21.53	20.53	20.23	18.97	18.37	20.50	20.93	20.03	21.27	1.42	0.1946
C 18:3	0.30	0.37	0.40	0.37	0.33	0.37	0.40	0.40	0.43	0.06	0.3619
C 18:3 n-3	30.43	41.57	43.20	40.20	34.83	43.50	38.63	38.70	33.73	4.96	<b>0.0549</b>
C 20:0	1.27	0.87	0.83	1.03	1.20	0.97	1.10	1.20	1.33	0.17	<b>0.0216</b>
C 22:0	1.80	1.20	1.23	1.50	1.73	1.33	1.47	1.57	1.73	0.26	0.0904
C 23:0	0.60	0.53	0.50	0.63	0.80	0.60	0.67	0.63	0.77	0.12	0.1247
C 24:0	1.87	1.37	1.27	1.57	1.90	1.47	1.60	1.57	1.80	0.29	0.1676

ET : Ecart-type résiduel ; Proba : Résultat analyse de variance à un facteur