

---

# Utilisation du fourrage vert hydroponique en production de viande bovine et ovine à la Réunion : une alternative pour pallier aux déficits fourragers futurs, liés aux changements climatiques et au manque de foncier agricole?

---



<b>Titre</b>	<b>Utilisation du fourrage vert hydroponique en production de viande bovine et ovine à la Réunion : une alternative pour pallier aux déficits fourragers futurs liés aux changements climatiques et au manque de foncier agricole?</b>
<b>Auteur</b>	Maëva MIRALLES-BRUNEAU <sup>1</sup> avec la participation de Charles-Emile BIGOT <sup>1</sup> , Jean-Luc BENARD <sup>3</sup> , Sao BARREIRA <sup>4</sup> , David FORGET <sup>2</sup> , David GRANGETTE <sup>1</sup> , Samuel GRONDIN <sup>3</sup> , Alex MICHON <sup>2</sup> , Mickael PAYET <sup>5</sup> , Yoann PELLIER, Anne-Marie PICARD, Guy-Noël PICARD, Jean-Philippe PICARD, Tony PICARD, Jean-Louis REBOULE, Dominique VALIN <sup>6</sup> ,  <i><sup>1</sup>Sicarévia, <sup>2</sup>ARP, <sup>3</sup>SEDAEL, <sup>4</sup>OVICAP, <sup>5</sup>Chambre d'Agriculture, <sup>6</sup>fr2ca révision</i>
<b>Date de parution</b>	31/04/2015
<b>Mots clés</b>	fourrage, hydroponie, bovin, ovin, viande, île de la Réunion,
<b>Résumé</b>	L'île de la Réunion a subi des déficits fourragers importants et récurrents, ces quatre dernières années, liés à des incidents climatiques. En réponse, la filière ruminants viande a souhaité évaluer l'opportunité de développer la production de fourrage hors sol dans ses élevages. La culture de fourrage vert hydroponique repose sur la mise en germination de graines, en condition de culture hors-sol, pour obtenir en 6 à 10 jours, un tapis végétal composé de jeunes plantules et de leurs racines. Cette technique de production permet de fournir aux animaux un fourrage vert de très bonne qualité, tous les jours, indépendamment des conditions climatiques. Ce fourrage est riche en protéines, vitamines (A, E), $\beta$ -carotène et minéraux. Son mode de production fait que la qualité est constante toute l'année. Une étude visant à évaluer cette technique, a été mise en œuvre de janvier 2014 à mars 2015. Elle cherchait à déterminer si cette production peut représenter une alternative viable pour sécuriser la production de fourrage locale et si elle peut apporter un bénéfice technico-économique aux élevages de ruminants. L'étude a permis de valider les résultats agronomiques annoncés par la littérature. Elle a également permis de préciser la valeur alimentaire de ce fourrage et les coûts de production à la Réunion. Il ressort que cette technique pourrait être une voie envisageable d'intensification de la production. Les rendements sont excellents, le fourrage de très bonne qualité nutritionnel et cela de façon définie, continue et constante. Cependant les coûts de productions sont élevés. Les marges de manœuvre, en termes de choix d'équipement et d'itinéraire technique, pour optimiser la production (qualité et quantités produites, temps de travail journalier, coût de production) sont malgré tout importantes. Il a été observé des résultats positifs sur la croissance et l'état général des animaux, notamment chez les femelles reproductrices. Cependant, il reste de nombreux questionnements sur les modes d'alimentation. Cela demande un travail complémentaire plus approfondi en terme d'expérimentation et de définition de référentiels (équipement, itinéraire technique, rations, coûts d'investissement et de production), ainsi qu'une réflexion de la filière sur sa stratégie d'affouragement à moyen et long terme.
<b>Organismes partenaires</b>	ARP, SicaRévia, Ovicap, Sedael, Chambre d'Agriculture de la Réunion, AD2R, ARIBEV, Cirad, Urcoopa.
<b>Financement</b>	Etude financée à hauteur de 95 901,48 € par l'Etat et l'Union Européenne (Feader) à travers le programme Leader.

## Table des matières

1. INTRODUCTION.....	4
2. TOUR D’HORIZON DE LA PRODUCTION HORS-SOL DE FOURRAGE .....	6
2.1. Introduction à la production hors sol de fourrage.....	6
2.1.1. Historique .....	6
2.1.2. Recherche et développement.....	6
2.1.3. Diffusion de la production.....	7
2.2. Production hors sol de fourrage.....	7
2.2.1. La germination, la base de toute production.....	7
2.2.2. Systèmes de production utilisés.....	8
2.2.3. Espèces cultivées .....	9
2.2.4. Conditions de culture.....	9
2.2.5. Temps de travail et niveau technique requis .....	13
2.2.6. Potentiel de production.....	14
2.3. Alimentation des ruminants et résultats zootechniques.....	18
2.3.1. Alimentation du bétail .....	18
2.3.2. Influence sur les performances du bétail .....	19
2.3.2. Effets sur la santé et le bien-être animal du bétail.....	21
2.4. Performances économiques de la production hors sol de fourrage .....	21
2.5. Bilan des connaissances actuelles .....	22
3. DISPOSITIF D’EVALUATION MIS EN ŒUVRE.....	25
3.1. Matériel de production de fourrage hydroponique utilisé .....	25
3.2. Dispositif d’évaluation de la production en station expérimentale .....	26
3.3. Dispositif d’évaluation en élevage .....	26
3.4. Dispositif de formation et d’animation.....	27
3.4.1. Formation .....	27
3.4.2. Animation et communication .....	27
4. RESULTATS .....	29
4.1. Potentiels de production hors-sol de fourrage .....	29
4.1.1. Rendements .....	29
4.1.2. Impacts de l’itinéraire technique .....	30
4.1.3. Potentiels de production annuelle.....	32
4.1.5. Evaluation du système hydroponique EleusisEC2T.....	33
4.1.5. Perspectives de développement.....	34
4.2. Valeurs bromatologiques et alimentaires du fourrage hydroponique.....	34
4.2.1. Composition bromatologique .....	34
4.2.2. Valeurs alimentaires .....	36
4.2.3. Bilan cations anions et électrolytique.....	37

4.2.4. Bilan et perspectives.....	37
4.3. Coûts de production du fourrage hors sol.....	38
4.3.1. Coûts de production du FVH à la Réunion.....	38
4.3.2. Comparaison avec les productions locales .....	39
4.3.3. Perspectives d'améliorations .....	39
4.4. Alimentation du bétail et résultats zootechniques .....	40
4.4.1. Consommation des animaux.....	40
4.4.2. Performances de croissance des ruminants .....	41
4.4.3. Résultats à l'abattoir .....	42
4.4.4. Performances reproductrices des ruminants .....	43
4.4.5. Santé et le bien-être des animaux .....	44
4.4.6. Coûts de rationnement.....	45
4.4.7. Perspectives d'amélioration.....	46
4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	48
6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	51
7. ANNEXES .....	54
Annexe 1 : Fiche technique unité de production de fourrage hydroponique EC-2-T®, Eleusis Int. S.A.....	54
Annexe 2 : Actions d'animation et de communication réalisées dans le cadre de l'étude .....	55
Annexe 3 : Composition et valeur alimentaire de différents types de fourrage hydroponique .....	56
Annexe 4 : Modélisation du cout de revient du fourrage vert hydroponique.....	58
Annexe 5 : Utilisation du fourrage vert hydroponique en production de viande bovine – Essai sur jeunes bovins limousins, réalisé à l'EARL PICARD .....	60
Annexe 6 : Utilisation du fourrage vert hydroponique en production de viande bovine – Essai sur jeunes bovins croisés limousins, réalisé au GAEC REBOULE .....	67
Annexe 7 : Utilisation du fourrage vert hydroponique en production de viande bovine à la Réunion - Essai sur femelles reproductrices, réalisé à la SEDAEL .....	75

## 1. INTRODUCTION

Les filières animales de l'île de la Réunion sont jeunes et toujours en pleine expansion. La filière bovine s'est fixée comme objectif d'augmenter le cheptel de Ruminants de 40 % d'ici 2021 (installations de 40 ateliers viande et 50 lait), pour répondre à la demande locale de viande et de lait (Projet Défi). Pour pérenniser durablement ce programme de développement, il est nécessaire d'assurer une production fourragère locale à la hauteur de ces objectifs.

La production herbagère de la Réunion souffre de manière systémique d'irrégularités de la quantité et de la qualité des fourrages produits au cours de l'année. Cela entraîne des situations de déséquilibre entre l'offre alimentaire et la demande des troupeaux. Ces problématiques de déficit fourrager se sont accentuées ces dernières années, avec des épisodes de sécheresse de plus en plus marqués au cours de l'hiver austral. Dans les années à venir, le fort développement démographique risque d'accentuer une pression foncière urbaine déjà problématique dans le contexte insulaire du département, ce qui peut impacter les surfaces fourragères disponibles. Ces contraintes, de plus en plus prégnantes dans les années à venir, imposent d'assurer et de sécuriser la production fourragère à moyen et long terme. Cela passe par une optimisation du système herbager existant et une diversification des ressources alimentaires.

La profession s'est fortement mobilisée, ces dernières années, pour trouver des voies de diversification, avec la mise en place de nouvelles prairies et la structuration d'une filière de commercialisation de foin, l'importation de fourrage, et la valorisation des parcelles de cannes sucrières non exploitées par la filière canne. Depuis le début des années 2000, on observe, dans les régions présentant des problématiques de déficit fourrager, le développement de techniques de production de fourrage hors-sol. Basé sur le principe de la graine germée, ces techniques permettent de faire pousser des tapis de jeunes plantes de céréales dans des plateaux, et d'obtenir en 7 à 10 jours une biomasse importante et de qualité constante. La production de fourrage hors-sol, pourrait être une alternative, et représenter une voie d'intensification de la production de biomasse de qualité, en étant plus efficient en terme de surfaces et d'utilisation d'eau, et tout en se dédouanant des contraintes climatiques.

Au-delà de ces performances agronomiques prometteuses, le fourrage vert hydroponique possède des propriétés bromatologiques qui pourraient répondre à des problématiques alimentaires locales. C'est un fourrage riche en énergie, sous une forme peu acidogène. Il est riche en protéines, enzymes, vitamines et minéraux, présents sous une forme facilement assimilable par l'animal. Les fourrages tropicaux produits à la Réunion, se caractérisent quant à eux par une valeur alimentaire faible, et des insuffisances en vitamines et minéraux à certaines périodes de l'année (saison des pluies). Ce qui peut impacter les performances zootechniques (croissance, fertilité, production de lait) et la santé des ruminants. Le fourrage hydroponique pourrait présenter une solution, pour assurer l'autonomie fourragère des exploitations, et alimenter les animaux en période de déficit fourrager, ou à des périodes clés du cycle de production.

Cette technique est ancienne et il existe un grand nombre de systèmes commercialisés sur le marché. Cependant on possède globalement peu d'informations sur ce type de production, sur le matériel existant, l'itinéraire technique adapté, les performances agronomiques, son coût de production, les préconisations de rationnement ou encore les bénéfices réels pour les animaux. Un nombre non négligeable d'études ont été réalisées en Amérique latine, dans les Pays du Golf, en Australie, ou en Inde, mais c'est une technique qui est particulièrement peu documentée et vulgarisée en France. Cela peut s'expliquer aisément par des systèmes fourragers peu contraints en termes de surfaces et de conditions pédoclimatiques, ainsi que des sources

alternatives (pailles de céréales) facilement mobilisables. A la Réunion, le développement de la production de fourrage hors sol pourrait être pertinent étant donné ses contraintes spécifiques (insularité, contexte pédoclimatique, foncier limité et non extensif, surcoût de l'importation) et les objectifs de la filière. Toutefois, il est nécessaire d'en vérifier l'intérêt et la faisabilité sur le département au préalable.

L'Association Réunionnaise de Pastoralisme et la Sica Révia, en collaboration avec leurs partenaires locaux, a mis en œuvre, en 2014, une étude visant à évaluer la possibilité de développer la technique de production de fourrage vert hydroponique en élevage de ruminants viande à la Réunion. Celle-ci cherchait à déterminer si cette production pouvait représenter une alternative viable pour sécuriser la production de fourrage locale et si elle pouvait apporter un bénéfice technico-économique réel aux élevages de ruminants. Cette étude s'est déroulée de janvier 2014 à mars 2015, et a été financée par l'Etat et l'Union Européenne (Feader) à travers le programme Leader.

## 2. TOUR D'HORIZON DE LA PRODUCTION HORS-SOL DE FOURRAGE

Cette technique, via la mise en germination de céréales en conditions de culture hors-sol, permet la production de biomasse végétale en 7 à 15 jours. Le tapis végétal produit est composé de jeunes plantules et de leurs racines. Cette herbe, jeune, très appétante et nutritive, est donnée telle quelle aux animaux, associée au fourrage classique et à une complémentation adaptée. Développée dans les années 1930, cette technique est restée très marginale, compte tenu des capacités de productions des systèmes fourragers classiques. Des problématiques actuelles de déficits fourragers liés à des contraintes climatiques et foncières, soulèvent des questions quant à son potentiel de développement dans certaines régions ciblées. Du fait du développement mineur de ce type de culture, les références scientifiques et techniques sont peu nombreuses. Cela rend flou le potentiel de mise en œuvre de cette production. Ce chapitre vise à présenter, de manière synthétique, cette technique de production, ainsi que les connaissances actuelles sur ses potentialités.

### 2.1. INTRODUCTION A LA PRODUCTION HORS SOL DE FOURRAGE

#### 2.1.1. Historique

Le Fourrage Vert Hydroponique (FVH) consiste en la mise en germination de graines de céréales ou légumineuses, jusqu'à la croissance des premières feuilles, dans un milieu contrôlé (lumière, température, humidité), et en conditions hors sol (FAO, 2001).

La technique de production de FVH repose sur une utilisation ancestrale des graines germées (Hübner et Arendt, 2013). Celles-ci sont utilisées depuis des siècles en Asie pour l'alimentation humaine et animale. La germination y est utilisée pour améliorer la composition nutritionnelle des céréales et légumineuses (Chavan *et al*, 1989). En Europe, les fermiers utilisaient les céréales germées dès le 19<sup>e</sup> siècle pour alimenter les troupeaux de vaches en hiver. En France, le blé germé était couramment utilisé pour traiter les animaux faibles. Cette technique est toujours pratiquée en agriculture biologique et en élevage équin.

L'idée de produire du fourrage à partir de graines germées en hydroponie n'est pas récente (Leitch, 1939, cité par Peer et Leeson, 1985). La technique de production de FVH, proprement dite, s'est développée à partir des années 1930, en même temps que se perfectionnaient les techniques de culture hors-sol. Les premiers systèmes commerciaux ont été développés dans les années 1940, en Angleterre, en Allemagne et en Australie. La technique se propage aux USA à partir des années 50.

#### 2.1.2. Recherche et développement

C'est une technique qui a été peu étudiée et pour laquelle on dispose de peu de références (Romero Valdez *et al*, 2009). Le nombre d'études réalisées sur le FVH, depuis les années 30, est faible comparativement à des systèmes de production fourragère plus classiques. Une bonne part des documents disponibles relèvent de la littérature grise (rapports d'études ou de recherches, actes de congrès, thèses, brevets, etc. ...) Elles ont été réalisées, pour l'essentiel, avant les années 80-90. Cela rend difficile l'accès aux documents originaux et donc au détail des études. Malgré un sursaut d'intérêt depuis le début des années 2000, avec notamment un nombre non négligeable d'études en Amérique Latine, en Inde et dans les pays du Golf, les références sont limitées, particulièrement en alimentation animale.

### 2.1.3. Diffusion de la production

Bien qu'une part non négligeable d'études s'accorde pour conclure que ce fourrage est certes de très bonne qualité, mais trop cher pour être intéressant en élevage, on observe une diffusion continue et pérenne de cette technique en exploitations agricoles, ainsi qu'une offre non négligeable de matériels sur le marché.

Bien que restant marginaux, ces systèmes sont utilisés et se développent un peu partout dans le monde (Europe, Canada, USA, Mexique, Irlande, Afrique du sud, Inde, Russie, Nouvelle-Zélande, Australie). On retrouve cette technique de production dans tous les types d'élevages classiques (ruminants, porcs, volailles, lapins et chevaux, Herrera et al, 2007), ainsi que dans des ménageries et des zoos.

La principale raison citée est la recherche d'alternatives à des problématiques de déficits fourragers ponctuels ou systémiques (Garcia-Carrillo et al, 2013), liés principalement à des contraintes climatiques : disponibilité en eau (régions arides, sécheresses ponctuelles ou saisonnières) (Rodrigues Muela *et al*, 2005 ; Romero Valdez *et al*, 2009). Viennent ensuite des contraintes foncières, où des difficultés matérielles ou économiques (Micera *et al*, 2009) pour s'approvisionner quotidiennement en fourrage. Plus marginalement, cette technique va être utilisée dans un objectif d'amélioration de la valeur nutritive des rations (Ref), ou pour réduire l'apport d'aliments concentrés dans un objectif de réduction des coûts d'alimentation.

## 2.2. PRODUCTION HORS SOL DE FOURRAGE

### 2.2.1. La germination, la base de toute production

Le processus de germination, dans la conception courante, est le passage de la graine au repos à la jeune plantule. Du point de vue de la physiologie végétale, la germination *stricto sensu* débute avec la réhydratation de la graine et cesse dès que la radicule (1<sup>er</sup> racine) a percé l'enveloppe de la graine. Les étapes ultérieures d'émergence des feuilles, sont des étapes de croissance.

La germination se fait sous l'influence de trois facteurs essentiels : l'eau, la chaleur et l'oxygène. La première étape de la germination est l'absorption d'eau et la réhydratation des tissus de la graine par le processus d'imbibition (Hopkins, 2003). L'eau, pénétrant par capillarité et endosmose dans la graine, dissout les substances solubles qu'elle contient et qui nourrissent l'embryon de la future plante. La germination génère une transformation physicochimique s'accompagnant de phénomènes physiologiques très complexes, en particulier la synthèse d'enzymes, qui activent les réactions métaboliques et confèrent aux graines germées ses propriétés nutritionnelles. Les enzymes transforment l'amidon en sucres simples, assimilables, permettent la synthèse de nombreuses vitamines (A, B, C), transforment les protéines en acides aminés, permettent la synthèse d'acides aminés non présents dans la graine à l'état sec, transforment les graisses et acides gras, libèrent des minéraux en substances assimilables accessibles aux sucs digestifs.

**Tableau 1 : Temps de germination, selon l'espèce (d'après Buard, 2011 ; Dougoud Chavannes, 2009)**

Espèce	Germination (trempage inclus)
Avoine	36 à 48 h
Blé	36 à 48 h
Epeautre	36 à 48 h
Maïs	4 à 6 jours
Millet	4 à 6 jours
Orge	36 à 48 h
Riz	5 à 7 jours
Sarrasin	36 à 48 h
Seigle	36 à 48 h
Luzerne	4 jours
Lentilles	1 à 3 jours
Pois	2 à 3 jours
Soja	1 à 3 jours
Trèfle	48 h
Tournesol	3 jours
Lin	1 à 3 jours



La graine augmente de volume, se ramollit. La rupture des enveloppes se produit et la radicule émerge. Tant que la radicule ne s'est pas allongée, la semence peut être déshydratée sans dommage. Mais si la croissance a commencé, la déshydratation entraîne sa mort ; le début de la croissance de la radicule marque donc le passage d'un état réversible à un état irréversible. L'émergence de la radicule est suivie de l'allongement de l'axe caulinaire et le développement des premières feuilles.

Ce processus est plus ou moins long, selon l'espèce. Chez l'orge, une fois la graine réhydratée, les racines apparaissent en 24 heures. Au bout de 2-3 jours, les premières feuilles émergent. Au 4<sup>e</sup> jour, le développement racinaire permet l'assimilation minérale. Au 5<sup>e</sup> jour, la photosynthèse est activée.

### 2.2.2. *Systèmes de production utilisés*

Le processus de production du FVH se décompose en deux étapes. Une première phase de « pré germination », durant laquelle les graines sont réhydratées, va permettre de déclencher la germination (sortie de la radicule). Une seconde phase de « germination », durant laquelle les graines, déjà germées, sont mises en culture sur un support neutre, jusqu'à l'apparition des premières feuilles.

Il résulte de ce processus basique, une grande variété de systèmes de production de fourrage en hors-sol. La production peut être réalisée sur des bâches au sol, dans des bassines, ou sur des plateaux étagés. Ces bancs de cultures peuvent être positionnés en extérieur, sous ombrière, sous un bâtiment ouvert ou une serre, dans un conteneur ou en bâtiment fermé. L'ambiance (température, humidité, luminosité) est naturelle, en extérieur, ou elle est partiellement ou totalement contrôlée pour les systèmes clos (serre, conteneurs, bâtiments). L'itinéraire technique (semis, irrigation, apport de nutriments, récolte) peut être entièrement manuel ou partiellement automatisé.

Pour de petites productions, il est possible de construire sa propre unité de production. Les systèmes commerciaux développés ces dernières années, tendent vers des enceintes fermées (chambres, conteneurs, bâtiments) où les conditions d'ambiance et d'irrigation sont entièrement contrôlées et automatisées. Cela permet d'optimiser les conditions de germination et de pousse, en s'affranchissant des aléas climatiques, tout en améliorant l'entretien et la gestion du système. Il existe un grand nombre d'entreprises qui commercialisent ce type d'équipement à travers le monde (FodderTech, Fodder Factory, GreenFeed, Fodder Solution, Premium Fodder, Eleusis, Greenergrass).

La capacité de production dépend principalement du système choisi et de son dimensionnement. Elle varie de quelques dizaines de kilogrammes à plusieurs tonnes de fourrage frais par jour.

Dans les pays occidentaux, la profession s'est essentiellement intéressée aux unités semi automatisées clés en main, dont les coûts d'installation sont élevés, et qui demande un niveau technique plus élevé des opérateurs. En Amérique Latine et en Inde, les organismes de recherche et développement se sont plutôt tournés vers de petites unités manuelles, sous serre, ce qui réduit fortement les coûts et est plus adapté aux dimensions des élevages visés.

### 2.2.3. Espèces cultivées

Les principales espèces utilisées sont l'avoine, le maïs, l'orge, le blé et le riz (Fuentes et al, 2011). D'autres céréales sont utilisées, telle que le millet, le raygrass, le sorgho, ou le sarrasin. On utilise également des légumineuses (luzerne, pois, lupin ou niébé ; Al-Karaki et al, 2013 ; Flores et Omar, 2012), et des associations d'espèces (seigle-avoine-pois ; orge-haricot ; blé-vesces) mais leur usage est peu documenté.

L'espèce et la qualité des semences vont avoir un effet primordial sur le rendement et la qualité du fourrage produit. Les premiers critères de sélection sont une germination rapide, en 48 heures (tableau 1) et un fort taux de germination (> 95 %) (Lorenz, 1980), un rendement et une valeur alimentaire supérieure à la graine et à la culture en plein champ, une disponibilité locale des semences et/ou un prix acceptable.

### 2.2.4. Conditions de culture

**Traitement préalable des semences :** Les graines doivent avoir été stockées dans un endroit sec, propre et aéré. Afin de préserver les semences d'un début de germination, du développement de moisissures ou de l'attaque d'insectes (charançons, mites ...), il est conseillé de les stocker dans un lieu avec une hygrométrie de 10 à 15 %, à une température de 1 à 15 °C. Les principaux facteurs de stockage qui vont affecter la viabilité de la graine et sa germination, sont la moisissure des graines, l'humidité, la température et la concentration en gaz du lieu de stockage (Chavan *et al*, 1989). Il est primordial d'avoir des semences non traitées, saines, débarrassées des graines cassées ou infectées (Lorenz, 1980), afin d'éviter la fermentation, le pourrissement des grains et le développement de moisissures. Il est préférable d'utiliser des semences ayant bénéficié d'un repos de quelques mois après la récolte (2 mois minimum), afin de réduire le phénomène de dormance. Dans un premier temps, les graines sont nettoyées (tri des graines cassées, piquées, abimées ou infectées). Elles sont abondamment lavées à l'eau courante, jusqu'à ce que l'eau de lavage soit transparente. Certains préconisent un bain désinfectant de 10 à 30 minutes, dans une solution d'hypochlorure de sodium à 20% (Al Ajmi et al, 2009), de chlore à 0,5% (Rodriguez Muela *et al*, 2004) ou d'eau oxygénée à 10 % (Askri et al, 2007). Il est préconisé de ne pas dépasser une heure de bain, car cela altère les semences et pénalise le taux de germination et la croissance (Morgan *et al*, 1992).

**Phase de « pré germination », ou de déclenchement de la germination :** La phase de « pré germination » se décompose en deux étapes : une phase d'hydratation des graines et une phase d'aération. Pendant la phase d'hydratation, les semences sont mises à tremper dans de l'eau, jusqu'à saturation en eau de la graine (Chavan *et al*, 1989), afin de lever la dormance et déclencher la germination (Borquez et al, 1992 ; Flores *et al*, 2004 cité par Fuentes *et al*, 2011). Il est conseillé d'apporter 0,8 à 1 litre d'eau par kilo de semences. La durée de trempage est propre à chaque espèce (tableau 1). Elle va affecter directement le rendement en FVH, la composition en nutriments et la perte de matière sèche durant la germination (Chavan *et al*, 1989). Il est recommandé de laisser tremper les petites graines (lin, luzerne, sésame) de 1 à 5 heures, et de 8 à 12 heures pour les autres. Le Haricot Mongot (*Vigna radiata*

Tableau 2 : Durée de trempage selon l'espèce

Espèce	Trempage (heure)
Avoine	4 à 5
Blé	4 à 5
Haricot mongo	16
Lentille	5 à 6
Lin	1 à 2
Luzerne	3 à 4
Maïs	8 à 12
Millet	5 à 6
Orge	8 à 12
Pois	6 à 8
Riz	6 à 8
Seigle	5 à 6
Trèfle	4 à 5

Dougoud Chavannes, 2009

L.) a besoin de 16 heures de trempage. Flores *et al* (2004, cité par Fuentes *et al*, 2011) signalent que pour le maïs, un temps de pré trempage n'augmente pas le taux de germination par rapport à des graines mises à germer directement. Borquez et al (1992) recommandent de ne pas dépasser 12 heures d'hydratation. Pour un temps de trempage de 24 heures, il est conseillé de laisser sécher les graines à l'air libre pendant une heure, après les 12 premières heures de trempage. La température de l'eau va influencer le temps de trempage nécessaire et la rapidité de germination. L'utilisation d'eau tiède va permettre de réduire le temps de trempage. De même, l'utilisation d'une eau tiède (23 °C) va favoriser une germination plus importante après 72 heures (Morgan *et al*, 1992). Un brassage prolongé au moment du trempage favorise une réhydratation uniforme des graines. Il est conseillé de renouveler l'air, en remuant régulièrement ou en installant une pompe à air dans le bac, pendant toute la durée de trempage. S'il apparaît des bulles ou de la mousse blanche en surface, c'est le signe d'un début de fermentation. Il faut vider le bac et laisser s'aérer les semences. En fin de trempage, on enlève les graines flottantes, qui sont défectueuses et ne germeront pas. L'eau de trempage est retirée

et les graines sont rincées abondamment à l'eau claire. Ce rinçage est très important car il

permet d'éliminer les substances qui maintenaient la dormance des graines qui peuvent être néfastes pour la santé. On laisse les graines s'égoutter entre 12 et 24h avant le semis. C'est

pendant cette phase que les radicules vont émerger, pour les espèces les plus rapides (orges, lentilles ...).

**Phase de «germination » ou de culture :** Les graines sont semées dans des plateaux, à une densité de semis de 2,2 à 7 kg.m<sup>2</sup> (poids sec, avant trempage) (FAO, 2001). La densité de semis optimale est fonction de l'espèce, des caractéristiques de sa graine et du système d'irrigation utilisé (tableau 2). Afin de favoriser une bonne germination, et limiter le risque de fermentation et de moisissures, il est préférable que le tapis de graines ne dépasse pas 1,5 cm de hauteur (FAO, 2001). Dans le cas de l'orge, les racines apparaissent en 24 heures. Les premières feuilles émergent au bout de 3-4 jours. Au 4<sup>e</sup> jour, le développement racinaire permet l'assimilation minérale. Au 5<sup>e</sup> jour, la photosynthèse est activée. Selon les systèmes de production, il y a un apport de fertilisants et l'éclairage est plus ou moins contrôlé. L'hygiène est un point essentiel de la production afin d'éviter les risques de moisissures (désinfection du matériel et des semences, contrôle des cultures).

**Conditions de culture :** Différents facteurs vont influencer la germination et le développement des germes. Les principaux éléments qui vont affecter la pousse sont l'apport d'eau, la température, la composition en gaz de l'air, la lumière et l'absence de facteur d'inhibition de la germination (Lorens, 1980). Il est essentiel de maintenir une **température** optimale, pour obtenir sur une courte période, un taux de germination élevé et des plantules vigoureuses (Chavan *et al*, 1989). La gamme de

**Tableau 3 : Densité de semis selon l'espèce**

Espèce	Densité de semis (kg.m <sup>2</sup> )
Avoine	2 - 4
Blé	2,5 - 5
Luzerne	1,8
Maïs	2,5 - 3,5
Niébé	4
Orge	2,5 - 7
Sorgho	4
Triticale	3 - 4

*Al Ajmi et al, 2009 ; Al-Karaki, 2012 ; Dung et al, 2010 a et b ; Espinoza et al, 2004 ; Fazaeli et al, 2011 ; Fazaeli et al, 2012 ; Figueroa et al, 1999 ; Fuentes et al, 2011 ; Lopez-Aguilar et al, 2009 ; Vargas-Rodriguez et al, 2008 ; Garcia-Carillo et al, 2013 ;*

**Tableau 4 : température optimale de germination par espèce**

Espèce	Température (°C)		
	Min	Optimum	Max
Avoine	6	15-24	30
Blé	3-5	20-27	30-43
Haricot mungo	12	28-30	31-40
Niébé	20	35	35-40
Maïs	8-10	32-35	40-44
Millet	33	21-27	35
Orge	3-5	19-27	30-40
Pois	4-7	13-21	24-30
Riz	10-12	30-37	40-42
Seigle	-25	10-15	25-31
Sorgho		27-35	

*Andrews et Kumar, 2006 ; Assefa., 2006 ; Chavan et al, 1989 ; Balole et Legwaila, 2006 ; Brink, 2006 ; Lorenz, 1980 ; Messiaen et al., 2006*

température optimale va dépendre de l'espèce (tableau 3), de la variété, de l'origine de la graine et de son âge. La plupart des céréales vont germer entre 3 et 40 °C. La température optimale, pour une germination maximale et au meilleur taux, est située entre 20 et 30 °C (Chavan *et al*, 1989 ; Lorenz, 1980). Cet optimum va varier selon l'espèce et son caractère tempéré ou tropical. Le maïs et le riz requièrent une température de 35 °C pour un optimum de germination. L'**humidité de l'air** doit être comprise entre 60 et 70 % pour permettre la germination et favoriser le développement des pousses. Le **renouvellement et le brassage de l'air** est essentiel pour maîtriser le taux d'humidité et maintenir le taux de CO<sub>2</sub> dans l'air. Un air confiné va favoriser le développement de moisissures. L'unité de culture doit avoir un volume suffisant, avec un renouvellement convenable de l'air, au moins deux fois par jour (Rodet, 1997). Celui-ci permet le renouvellement en oxygène et dioxyde de carbone, qui sont essentiels aux processus de respiration et de photosynthèse de la plante. La germination est affectée par la **composition de l'air ambiant** (Lorenz, 1980). La majorité des graines germent dans une atmosphère à 20 % d'oxygène et 0,03 % de dioxyde de carbone, soit le niveau normal de l'air (Lorenz, 1980). En pratique, cela demande un équipement spécifique qui génère un surcoût de production, pour un bénéfice qui n'est pas évalué à ce jour.

**Conditions d'éclairage** : Les semences vont germer de manière équivalente en condition éclairée ou non (Chavan *et al*, 1989). Cependant, les jeunes pousses nécessitent de la lumière pour activer leur photosynthèse, et stimuler leur développement. Il est conseillé de laisser les graines dans le noir les 48 premières heures, afin de déclencher la germination. La photosynthèse étant active à partir du 5<sup>e</sup> jour (Wagner, 1982 cité par Morgan *et al*, 1992), un éclairage à ce stade stimule la photosynthèse. Celle-ci va permettre le verdissement des plantules, la synthèse de chlorophylle (Sneath and McIntosh, 2003), de vitamines (beta-carotènes; Trubey *et al*, 1969) et de matière organique. Cela permet de ralentir légèrement la perte de matière sèche liée au processus de germination (El-Deeba *et al*, 2009), et donc d'améliorer le rendement de la culture. La culture peut être conduite sans éclairage. Cela se traduit par une augmentation significative de la matière fraîche (Trubey *et al*, 2009), liée au phénomène d'élongation, mais cela ne s'accompagne pas d'une augmentation de la matière sèche et de la teneur en cendres. L'éclairage devient nécessaire à partir du 8<sup>e</sup> jour, pour l'orge, faute de quoi, la plantule s'étiole. Il faut deux jours d'éclairage pour verdir le FVH (Morgan *et al*, 1992). Les besoins en lumière (intensité, période) des cultures hydroponiques ont été peu étudiés et sont certainement variables selon les espèces. L'intensité lumineuse requise serait de 2000 – 2500 lux (El-Deeba *et al*, 2009). La durée d'éclairage journalière serait de 10 à 16 heures (El-Deeba *et al*, 2009 ; Romero Valdez *et al*, 2009). Le type de lampe utilisé et sa puissance vont influencer la pousse. Ainsi, Leontovich et Bobro (2007) obtiennent de meilleurs rendements (+ 29%) avec un éclairage par lumière fluorescente à flash de 8 W/m<sup>2</sup>, ainsi qu'une teneur en vitamines totales plus élevées (carotène, B1, B2, B5), comparativement à des lampes fluorescentes de 16 et 32 W/m<sup>2</sup>.

**Conditions d'irrigation** : L'irrigation est un point clé du cycle de production. Le pH et la qualité de l'eau, ainsi que la gestion des apports sont parmi les principaux facteurs de rendement. La **qualité de l'eau** est importante pour une bonne germination. On peut utiliser de l'eau de puits, de pluie, ou du robinet. Celle-ci doit être potable et il ne doit pas y avoir de matière en suspension ou de matière organique, afin de limiter les risques sanitaires. Il est préconisé d'utiliser de l'eau filtrée. L'eau utilisée doit être à température ambiante (17 à 20 °C). Le pH doit être compris entre 5,2 et 7 (FAO, 2001). La salinité de l'eau doit être comprise entre 1,5-2,0 mS/cm. Bagsci et Yilmaz (2003, cité par Al-Karaki, 2011) ont mis en évidence qu'en

hydroponique, l'orge tolérait une salinité de l'eau d'irrigation jusqu'à 6 dS/m, sans impact sur son taux de germination et son rendement. Différents **systèmes d'irrigation** peuvent être

utilisés : pulvérisation manuelle, micro aspersion, brumisation, gravitation, inondation. Cette dernière n'est pas recommandée, car elle peut générer un excès d'eau qui peut provoquer de l'asphyxie racinaire, le développement de moisissures et du pourrissement. Celle-ci ne doit pas excéder 20 minutes. Les **besoins en eau** (tableau 4) sont de 1,5 à 4 litres par kilo d'herbe fraîche produit (Al-Karaki et Al-Momani, 2011). Les besoins diffèrent selon l'espèce (Al-Karaki et Al-Hashimi, 2012) et la variété (Al-Karaki et Al-Momani, 2011) et ils évoluent avec l'âge des pousses. Les quatre premiers jours, on ne doit pas appliquer plus de 0,5 litre d'eau par mètre carré et par jour, jusqu'à atteindre une moyenne de 0,9 à 1,5 litres par d'eau par mètre carré et par jour (FAO, 2001). Le tapis de graines doit toujours rester humide, sans pour autant être noyé. Les apports d'eau sont journaliers et peuvent être effectués en 1 à 12 fois par jour selon le mode d'irrigation. Pour les premiers jours de germination, il est préconisé de faire 1 à 3 irrigations par jour (Chavan *et al*, 1989). Un apport fractionné, de quelques minutes (2-3 min), en 6 à 12 fois par jour serait préférable, pour une bonne gestion de l'eau et maintenir le taux d'humidité du couvert, particulièrement pour des unités sous serre ou sans contrôle de la température et de l'humidité de l'air. Certaines études ont évalué de manière positive l'utilisation d'eaux usées retraitées (Al Ajmi *et al*, 2009a ; Al Ajmi *et al*, 2009b ; Al-Karaki, 2011), qui améliorent les rendements grâce à leurs apports de minéraux.

**Tableau 5 : besoins en eau de quelques espèces conduites en hydroponie**

Espèce	Conso. Eau (L/kg MB)
Avoine	1,8 - 4,0
Blé	1,8
Luzerne	1,9
Maïs	1,4 - 2,3
Niébé	1,6
Orge	1,3 - 1,9
Sorgho	1,7

*Al Karaki, 2011 ; Al Karaki et al, 2012 ; Fuentes et al, 2011 ; Lopez-Aguilar et al, 2009*

**Conditions de fertilisation** : L'utilisation d'une solution nutritive n'est pas obligatoire. Les études divergent quant à l'intérêt de fertiliser ce type de culture. Certains essais ont mis en avant un effet sur le rendement et la composition du fourrage (Dung *et al*, 2010, Morgan *et al*, 1992), d'autres n'obtiennent pas d'effet significatif (Al-Karaki & Al-Hashimi, 2010, cité par Al-Karaki, 2011 ; Al Ami *et al*, 2009). La fertilisation augmenterait les rendements en matière sèches et la valeur nutritive du FVH (FAO, 2001). A partir du 4<sup>e</sup> jour, le développement de la racine permet l'assimilation minérale. L'absorption de nitrates, à ce stade, faciliterait le métabolisme des réserves de glucides et de composés azotés (Morgan *et al* 1992, cité par Sneath et McIntosh, 2003). Dung *et al* (2010) ont observé une augmentation du taux de protéines brutes du FVH de 4 %, ainsi que des teneurs en Calcium, Potassium, Magnésium, Na, Sodium et Zinc, quand ces éléments sont apportés dans l'eau d'irrigation. A l'inverse, Al Ami *et al* (2009), ne trouve pas d'effet significatif de l'apport d'azote sur le taux de protéines. Dosal (1987 ; cité par FAO, 2001) a mis en avant une augmentation de la production de matière sèche, ainsi qu'un meilleur ratio de conversion de matière sèche de la graine au fourrage avec l'apport d'azote dans l'eau d'irrigation (IC de 0,94, à 11 jours, avec un apport de 200 ppm d'azote, contre 0,77 sans apport). L'apport d'une solution nutritive réduirait la perte de matière sèche, en favorisant la photosynthèse (13,4 % contre 16,4 % ; Dung *et al*, 2010). Pour l'avoine, l'apport de 200 ppm d'azote dans l'eau d'irrigation permettrait les meilleurs résultats de production de biomasse (Dosal, 1987 ; cité par Figueroa *et al*, 1999). De même, Al Ami *et al* (2009) démontrent un effet de la teneur en azote de l'eau d'irrigation avec la production de fourrage vert d'orge. Al-Karaki (2011), en comparant une culture irriguée avec de l'eau du robinet et de l'eau retraitée, obtient un rendement et une hauteur d'herbe significativement supérieure (eau : 37,9 t/ha/coup ; eau retraitée : 54,5 t/ha/coupe), un ratio fourrage/graine plus élevé (6 contre 4,74), un meilleur taux de protéines (eau : 25,2 % ; eau retraitée : 27,4%), de ADF (eau : 11,7% ; eau retraitée : 13,1%),

meilleure teneur en Na et Mg. Al-Karaki (2011) met en avant, une teneur en Cadmium (eau = 0.020 ppm ; eau retraitée = 0.032 ppm), Nickel (eau = 0.057 ppm ; eau retraitée = 0.47 ppm) et Plomb (eau = 0.433 ppm ; eau retraitée = 0.903 ppm) plus élevée dans le fourrage fertilisé avec de l'eau retraitée, celles-ci restant inférieures aux normes recommandées. Il semblerait que le gain éventuel apporté par la fertilisation ne justifie pas le coût supplémentaire engendré, notamment pour un cycle inférieur à 7 jours (Dung et al, 2010) excepté dans le cas de l'utilisation d'eaux usées retraitées (Al Ajmi et al, 2009a ; Al Ajmi et al, 2009b ; Al-Karaki, 2011).

**Récolte :** La durée du cycle de production varie selon l'espèce, la variété, les facteurs de culture qui vont jouer sur le cycle de germination (eau, température, ...), ainsi que les objectifs de production (quantité, qualité) (tableau 5). Il est possible de récolter après seulement 48 heures de germination. On parle alors de production de graines germées. La récolte peut s'effectuer entre 5 et 15 jours après le semis. A partir du 5<sup>e</sup> jour, on peut avoir une récolte précoce. La période optimale de récolte se situerait entre 7 et 10 jours après semis (Dorsal, 1987 cité par Fuentes *et al*, 2011): la vitesse de croissance du fourrage est homogène et vigoureuse, on a un fourrage de 20 à 25 cm de hauteur avec une bonne valeur alimentaire. Au-delà de dix jours, il est observé une diminution du taux de protéines, ainsi qu'une diminution du rendement en MS, et le fourrage perd son principal atout qualitatif. Aux 10<sup>e</sup> - 12<sup>e</sup> jours, en système non fertilisé, les plantules commencent à montrer des signes de dénutrition (Carballo Mondaca, 20003). Au-delà de 11 jours, il est observé les premiers signes de nécrose racinaire et apicale et le développement de champignons sur les graines non germées. Au-delà de 15 jours, la récolte ne semble pas adaptée compte tenu de la perte de qualité sanitaire du fourrage. Des moisissures ou un début de nécrose peuvent apparaître si les conditions d'hygiène ne sont pas respectées (pureté du grain, qualité du stockage, entretien du matériel, excès d'humidité ...). Les plateaux mois (noir ou bleu) ou présentant un début de fermentation (odeur de foin fermenté) ou d'oxydation (racines brunâtres) doivent être écartés pour éliminer tout risque de contamination. Le tapis végétal, composé de jeunes plantules et de leurs racines, est récolté tel quel et donné aux animaux, de préférence une à deux heures après la récolte, afin de conserver ces propriétés en vitamines (Leontovich et Bobro, 2007). Il est possible de le conserver 1 à 7 jours en chambre froide (Lorenz, 1980).

**Tableau 6 : Stade de récolte de quelques fourrages hydroponiques**

Espèce	Stade (jour)
Avoine	7 - 20
Blé	8 - 12
Luzerne	8
Maïs	9 - 14
Mil	10
Niébé	8
Orge	6 - 10
Riz	10
Sorgho	8 - 10

*Al Ajmi et al, 2009 ; Al Karaki, 2011 ; Al Karaki et al, 2012 ; Dung et al, 2010 a et b ; Espinoza et al, 2004 ; Fazaeli et al, 2011 ; Fazaeli et al, 2012 ; Figueroa et al, 1999 ; Fuentes et al, 2011 ; Lopez-Aguilar et al, 2009 ; Vargas-Rodriguez et al, 2008 ; Garcia-Carillo et al, 2013 ;*

### 2.2.5. Temps de travail et niveau technique requis

Ce type de production nécessite un travail journalier variable selon le système de production (Sneath et McIntosh, 2003) :

- Récolter le fourrage du jour ;
- Préparer les semences pour la prochaine culture (pré-trempe) ;
- Semer les graines pré germées dans les plateaux de germination ;
- Observer les plateaux de germination en croissance ;
- Contrôler l'ambiance et les appareils de contrôle ;
- Effectuer ou déclencher l'irrigation ;
- Laver, sécher et stériliser les plateaux, nettoyer l'unité de production ;

- Distribuer la ration de fourrage aux animaux ;

Le travail journalier pour une personne serait de l'ordre de 2 à 4 heures (NZMC, 2011), pour une unité de production semi-automatique d'une tonne de fourrage frais par jour (150 à 200 kg de matière sèche). Cette technique demande un bon niveau technique de l'opérateur et exige une bonne organisation au niveau de la gestion des stocks et du cycle de production, ainsi que pour le suivi et la maintenance du matériel.

### 2.2.6. Potentiel de production

Pour un kilo de semences mises à germer sur une période de 7 à 10 jours, on obtient de 5 à 12 kilos de fourrage frais (Fazaeli *et al*, 2011). Le rendement va fortement dépendre de l'espèce (Al-Karaki et Al-Hashimi, 2012), de la variété (Al-Karaki et Al-Momani, 2011, Santos *et al*, 2012), des conditions de pré trempage, de la dose de semis, des conditions de culture (température, humidité, éclaircissement, irrigation, fertilisation) et du taux de matière sèche final.

**Tableau 7 : Valeurs de rendements en culture hydroponique**

Espèce (nbr. ref.)	Stade récolte (jour)	Rendement vert (kg /m <sup>2</sup> /coupe)	Rendement MS (kg /m <sup>2</sup> /coupe)	Rendement MS (t/ha/coupe)	Matière sèche (%)
Avoine (3)	7-20	16,9 (12-19)	3,5 (2,3-5,9)	35,4 (22-59)	26,4 (17-37)
Blé (1)	8-12	13,1	2,29	22,9	17,5
Luzerne (1)	8	19,4	1,6	15,9	8,2
Maïs (4)	9-14	14,4 (6-21)	2,8 (1-4,6)	28,3 (10-46)	18,4 (14-22)
Niébé (1)	8	21,7	3,3	32,6	15
Sorgho (1)	8	14,5	2,7	27,6	19
Orge (4)	8-10	25,8 (20-32)	3,6 (2,5-5,4)	16-54	15,54 (8-19)

*Al-Ajami, 2009 ; Al-Karaki, 2011 ; Al-Karaki et Al-Hashimi, 2011 ; Al-Karaki et Al-Momani, 2011 ; Espinoza et al, 2004 ; Fazaeli et al, 2011 ; Fazaeli et al, 2012 ; Figueroa et al, 1999 ; Fuentes et al, 2011 ; Garcia-Carillo et al, 2013 ; Lopez-Aguilar, 2009 ; Pérez Serrudo, 2003 ; Rivera et al, 2010 ; Rodriguez et al, 2005 ; Santos et al, 2012 ;*

La technique de production de fourrage hydroponique permet une production de l'ordre de 6 à 25 kg de matière fraîche par m<sup>2</sup> par jour. Cela équivaut à des rendements de 10 à 50 tonnes de matière sèche par hectare et par récolte (Al-Karaki et Al-Hashimi, 2012 ; Al-Karaki, 2011).

**Tableau 8 : Rendements de quelques espèces fourragères**

Espèce	Rdt (t MS/ha/an)
Luzerne	16-20
Avoine	4-13
Orge	8-12
Maïs	12-24
Sorgho	14-18
Blé	8-10
Triticale	6-14
Ray gras	8-12

*Lopez-Aguilar et al, 2009*

Avec ce système à cycle de production court et étagé, on a une meilleure utilisation de l'espace, et des ressources. Une unité de culture de 130 m<sup>2</sup>, d'une capacité d'une tonne de matière fraîche par jour, peut produire 44 tonnes de matière sèche par an, de qualité constante, contre une production de 8 à 24 tonnes par hectare pour une culture classique (tableau 7). Ainsi, avec 18 à 52 récoltes par an, selon

la durée de cycle choisie (7 à 20 jours), cette technique peut permettre la production de 350 à plus de 1200 tonnes de matière sèche par hectare et par an (Al-Karaki, 2011 ; Lopez-Aguila et al, 2009). Soit un potentiel de rendement bien supérieur à ceux obtenus en parcelles.

**Efficienc e d'utilisation de la ressource en eau :** La culture de fourrage hydroponique est très économe en eau (Al-Karaki, 2011 ; Al-Karaki et Al-Momani, 2011). En plein champ, les besoins en eau d'une culture classique sont de 80 à 160 litres par kilo d'herbe fraîche produit (Al-Karaki et Al-

**Tableau 9 : Efficience d'utilisation de l'eau de quelques espèces fourragères**

Espèce	EUA (kg MS/m <sup>3</sup> )	
	Champ	Hydroponie
Luzerne	1,6-2,1	43
Avoine	1,9-2,0	2360
Orge	0,4-0,7	65-198
Niébé	/	95
Maïs	2,7-2,9	64-111
Sorgho	7,4-8,6	111
Blé	1,5-1,75	97
Triticale	1,8	/
Ray gras	0,7-1,6	/

*Al Ajmi et al, 2009 ; Al Karaki et al, 2012 ; Lopez-Aguilar et al, 2009*

Momani, 2011), en raison de pertes importantes par évapotranspiration, ruissellement et lessivage. La production de FVH étant conduite en circuit fermé, l'eau est apportée au plus près des besoins, pour une évaporation et un ruissellement minime et peut être recyclée. Aussi, elle nécessite de 10 à 50 % de l'eau nécessaire pour produire le rendement équivalent en parcelle réelle (Bradley and Marulanda, 2000 ; Lopez et al, 2009). Aussi, l'efficacité d'utilisation de l'eau est bien supérieure à celle d'une culture classique : un m<sup>3</sup> d'eau permettra de produire 65 à 2360 kg de MS, contre 0,4 à 8,6 pour une culture de plein champ (tableau 8).

### 2.2.7. Qualité du fourrage et valeurs alimentaires

La germination de céréales et de légumineuses est utilisée depuis des siècles en Asie et en Orient, pour améliorer leur composition nutritionnelle. Des changements biochimiques complexes s'opèrent durant l'hydratation et la germination. Les changements nutritionnels bénéfiques qui sont recherchés, sont dus essentiellement à la dégradation des composés complexes en formes simples, leur transformation en constituants essentiels et la dégradation de composés nutritionnels indésirables (Chavan *et al*, 1989). Les réserves en protéines, amidon et lipides sont dégradées, sous l'action d'enzymes, en composants simples qui sont utilisés pour créer de nouveaux composés ou sont transportés vers une autre partie de la graine. La germination sur une courte période, en conditions contrôlées, améliore la composition en acides aminées, la disponibilité en protéines, la teneur en certaines vitamines du groupe B (Chavan *et al*, 1989), ainsi que le taux de fibres (Sneath et McIntosh, 2003). L'augmentation de la teneur en protéines, matières grasses, fibres et cendre est apparente et due uniquement à la dégradation de l'amidon et à la diminution de la matière sèche. L'amélioration de la composition en acides aminées, en vitamines, sucre, protéines et digestibilité, ainsi que la diminution de phytates et facteurs inhibiteurs, sont dues aux effets métaboliques de la germination (Sneath et McIntosh, 2003).

**Tableau 10 : Taux de matière sèche de quelques espèces conduites en hydroponique**

Espèce	n	Stade (j)	MS (%)
			31,7
Avoine	8	7-20	(17,3-37,8)
			10,5
Blé	4	8-12	(6,3-15,5)
Luzerne	1	8	8,2
			18,3
Maïs	6	9-14	(14,5-21,8)
Niebe	1	8	15
			12,6
Orge	16	6-10	(8,1-19,3)
Sorgho	1	8	19

*Al-Ajami, 2009 ; Al-Karaki, 2011 ; Al-Karaki et Al-Hashimi, 2011 ; Al-Karaki et Al-Momani, 2011 ; Dung et al, 2010 ; Fazaeli et al, 2011 ; Fazaeli et al, 2012 ; Figueroa et al, 1999 ; Fuentes et al, 2011 ; Garcia-Carillo et al, 2013 ; Lopez-Aquilar, 2009 ; Tashchilin et al, 1980*

**Evolution du taux de matière sèche :** La teneur en matière sèche du FVH varie entre 8 et 30 %. Elle est fonction de l'espèce, de la variété, du temps de trempage, de la durée de germination et de la température (Chavan *et al*, 1989 ; Nielsen *et al*, 1977 ; Miller, 1987 ; Pathirana *et al*, 1983). Le poids de matière sèche originel de la graine diminue durant le temps de trempage et la phase de croissance. Elle est liée à la respiration et à l'activité métabolique de la graine (Lorenz, 1980). L'énergie requise pour permettre cette dernière est dérivée de la dégradation et de l'oxydation partielle de l'amidon, ce qui explique en grande partie la perte de matière sèche. Celle-ci est de l'ordre de 12 à 25 % (Chavan *et al*, 1989 ; Dung *et al*, 2010 ; Morgan *et al*, 1992). Parallèlement à cette perte de matière sèche, le germe en croissance va gorger d'eau ses cellules, pour croître. Et la matière sèche restante va être « diluée ». D'où l'écart avec la graine initiale (95 % MS). Si la germination se déroule sans lumière ou avec une intensité faible, la photosynthèse est inexistante ou minimale (Hillier et Perry, 1969 ; Bidwell, 1974 cités par Peer et Leeson, 1983). Dans ce cas, la plantule en croissance va puiser d'autant plus dans ses réserves d'amidon et de lipides pour répondre aux besoins énergétiques, d'où une perte de matière sèche plus importante. La perte de matière sèche va augmenter avec le niveau de la température au cours de la germination. Nielsen et al (1977) ont observé sur du blé de 4 jours, une perte de 5-



6 % à 20 °C, contre une perte de 10-16 % à 30°C. La perte de matière sèche va s'accroître avec l'augmentation des temps de trempage et de germination.

Bhise *et al* (1988) ont observé, pour le sorgho, une perte de matière sèche de 7,0-7,6 % de plus pour un trempage de 30h, comparativement à un trempage de 10h. Nielsen *et al* (1977) ont observé une perte progressive de matière sèche de 7,5 ; 13,5 et 23,8 % aux 4<sup>e</sup>, 7<sup>e</sup> et 10<sup>e</sup> jours de germination. Certaines études ont observé que la perte de matière sèche pouvait être légèrement diminuée par l'apport de solutions nutritives (Dosal, 1987 cité par FAO, 2001 ; Dung *et al*, 2010) et l'activation de la photosynthèse (El-Deeba *et al*, 2009). Tudor, Smith et Shallcross (2003; cité par Grant, 2011) ont obtenu un maintien du poids de matière sèche. Morgan *et al* (1992), après une série d'essais, ont conclu qu'il n'était pas possible d'arriver à un gain de matière sèche entre 6 à 8 jours de germination. Afin d'améliorer le rendement, il est nécessaire de minimiser la perte de matière sèche en optimisant et standardisant les conditions de germination. Un rendement de conversion acceptable serait un taux de matière sèche final de 15 – 20 % (Sneath and McIntosh, 2003).

**Tableau 11 : Perte de matière sèche de trois variétés de blé en fonction de la durée de germination et de la température.**

Durée (jour)	T° (°C)	Perte de MS (%)		
		Chris	Sage	Lancota
1	10	2	3	4
	20	3	4	4
	30	3	5	5
4	10	3	5	5
	20	6	5	6
	30	16	12	10
7	10	4	6	7
	20	12	13	11
	30	32	24	16
10	10	14	7	6
	20	9	16	14
	30	59	58	32

Miller, 1978, cité par Lorenz, 1980

**Protéines :** Le FVH a des teneurs en protéines qui varient de 12 à 24 % de MS (Sneath and McIntosh, 2003). Pour l'orge, on obtient des valeurs autour de 14 %, pour une récolte entre 6 et 8 jours après semis (Al-Ajmi *et al*, 2009 ; Fazaeli *et al*, 2012 ; Morgan *et al*, 1992). La teneur en protéines est variable en fonction de la durée de germination, de la température, de l'oxygène, de la lumière, de l'humidité, de la teneur en protéines de la graine, de régulateurs de croissance (Lorenz, 1980). L'apport d'engrais azotés peut impacter cette concentration (Fazaeli *et al*, 2012). De même, la présence de lumière va augmenter significativement la teneur en vitamines brutes (Leontovich et Bobro, 2007 ; Truney *et al*, 1969). Pendant le processus de germination, la concentration en protéines augmente (Fazaeli *et al*, 2012 ; Tudor *et al*, 2003 a). Peer and Leeson (1983) ont observé une augmentation de 17 % entre 0 et 7 jours de germination. Cela est dû essentiellement à une concentration de la teneur en protéines liée à la perte de matière sèche (Sneath and McIntosh, 2003).

**Tableau 12 : Teneur en protéines de quelques espèces de FVH**

Espèce	n	Protéine (%)
		13,7
Avoine	8	(12,7-14,7)
		15,8
Blé	3	(12,6-21,5)
		16
Maïs	6	(14,5-19,4)
Mil	1	12,79
		17
Orge	18	(13,7-25,2)
Riz	1	8,15
Sorgho	1	15,74

Al Ajmi *et al*, 2009 ; Al-Karaki, 2012 ; Dung *et al*, 2010 a et b ; Espinoza *et al*, 2004 ; Fazaeli *et al*, 2011 ; Fazaeli *et al*, 2012 ; Figueroa *et al*, 1999 ; Fuentes *et al*, 2011 ; Lopez-Aguilar *et al*, 2009 ; Vargas-Rodriguez *et al*, 2008 ; Garcia-Carillo *et al*, 2013 ;

**Amidon et sucres :** L'amidon est dégradé, sous l'action de l'amylase, en sucres solubles, pour la respiration et la synthèse des parois cellulaires (James, 1940 cité par Peer et Leeson, 1983 ; Lorenz, 1980). L'évolution de ces teneurs va dépendre de la composition initiale de la graine, et de la durée de germination.

**Taux de fibres, NDF et ADF :** La teneur en fibre brute de l'orge germé de 7 jours est de l'ordre de 14,2 ± 3,1 %. Elle augmente significativement au cours de la germination. Peer and Leeson (1983) ont observé une augmentation de 61 % de la quantité de fibres entre 0 et 7 jours de germination. Celle-ci est due à la synthèse et au grossissement des cellules de la plantule en

croissance. Les teneurs en NDF et ADF de l'orge germé de 6-8 jours sont de l'ordre de 31,25-35,40 et 14,35-17,15 % respectivement (Fazaeli *et al*, 2012).

**Lipides :** La teneur en lipide change durant la germination. Le temps de trempage et les conditions de germination vont influencer sur cette évolution. L'orge germée va contenir entre 1,6 et 2,2 % MS de matière grasse, contre 1,5 % MS dans la graine initiale (Lemar et Swanson, 1976, cité par Lorenz, 1980).

**Minéraux :** La teneur en cendres augmente durant la germination. Cette augmentation est apparente et ne correspond pas à une augmentation de la matière minérale. Elle est liée à la diminution de la matière sèche. Cette évolution va dépendre du temps de trempage et des conditions de germination. L'orge germée va contenir entre 6,0 et 7,1 % MS de cendre, contre 2,4 % MS pour la graine. Les teneurs en minéraux, globalement, augmentent au cours de la germination du fait de leur concentration liée à la perte de matière sèche. Le maintien ou la diminution de la teneur en certains minéraux peut être liée à un « lessivage » au cours des phases de trempage et d'irrigation (Cook, 1962 cité par Peer et Leeson, 1983 ; Lorenz, 1980). Les teneurs finales en minéraux vont dépendre des teneurs initiales de la graine et les conditions de germination. Elles sont affectées par le type d'irrigation et l'apport d'une solution nutritive (Snow et al, 2008). Les teneurs moyennes de l'orge germée en calcium et phosphore, sont respectivement de 0,30-0,31 et 0,07-0,13 % MS (Sneath and McIntosh, 2003). La teneur en calcium nécessite une correction, dans le cas des bovins, afin d'avoir un ratio Ca : P adapté à leurs besoins (1 : 1 à 1 : 2). Les teneurs en Fer et Zinc augmentent alors que celle en Manganèse diminue (Fazaeli et al, 2012).

**Tableau 13 : Teneur en minéraux de l'orge grain et hydroponique**

Minéraux	Graine	FOH 7 j
<b>Ca</b> (g/ 100g)	0,02	0,04
<b>Cu</b> (mg/ 100g)	3,96	12,75
<b>Fe</b> (mg/ 100g)	61,40	89,51
<b>K</b> (g/ 100g)	0,50	0,53
<b>Mg</b> (mg/ 100g)	1,36	1,70
<b>Mn</b> (g/ 100g)	1,85	2,24
<b>Na</b> (g/ 100g)	0,02	0,24
<b>P</b> (g/ 100g)	0,52	0,58
<b>Zn</b> (mg/ 100g)	40,74	80,57

Peer et Leeson, 1983

**Vitamines :** Les teneurs en vitamines augmentent au cours de la germination (Chavan et Kandam, 1989). Seule la vitamine E et le  $\beta$ -carotène sont synthétisés au cours du processus (Cuddeford, 1989 ; Hübner et Arendt, 2014). La teneur en vitamine E serait de l'ordre de 62,4 mg/kg MS. La richesse en  $\beta$ -carotène (précurseur de la vitamine A), varierait de 42,7 à 350 mg / kg MS (Cuddeford, 1989 ; Romero Valdez et al, 2009). Elles vont dépendre de la teneur initiale de la graine mais également le mode et l'intensité d'éclairement, qui stimulent la croissance et la photosynthèse (Leontovich et Bobro, 2007 ; Trubey *et al*, 1969).

**Tableau 14 : Teneurs en vitamine de l'orge germé de 6 jours (Cuddeford, 1989)**

	Graine (mg/kg MS)	FOH (mg/kg MS)
Vit. E	7,4	62,4
$\beta$ -carotène	4,1	42,7
Biotine	0,16	1,15
Acide Folique	0,12	1,05

**Energie :** L'énergie métabolisable du FVH est de l'ordre de 10-13,7 MJME/kg MS (NZMC, 2011; Sneath et McIntosh, 2003). Celle-ci diminue de manière significative durant le processus de germination (Chung et al, 1989, Fazaeli et al, 2012, Peer et Leeson, 1983). Elle est liée à l'augmentation des fibres et à la perte d'amidon, catalysé en sucres solubles pour la respiration et la synthèse de cellules.

**Tableau 15 : Effets de la germination sur le taux de  $\beta$ -carotène de cinq types de blé (équivalent vit. A/LB)**

Type de blé	Jours de germination		
	0	3	7
Dur rouge de printemps	300	300	400
Tendre	300	500	500
Tendre rouge d'hiver	400	400	400
Dur	300	400	400
Dur rouge d'hiver	100	400	600

Miller, 1977 cité par Peer et Leeson, 1983

**Digestibilité :** Le FVH est une herbe jeune et tendre, équivalente à une herbe de printemps. C'est un fourrage à forte digestibilité. La digestibilité in vitro du FVH de 6 à 8 jours est de l'ordre de 72 à 85 % (Cuddeford, 1989 ; Fazaeli *et al*, 2012). Il y a une perte significative de digestibilité entre la

graine et la plantule de 8 jours, de l'ordre de 5 à 9 % (Fazaeli *et al*, 2012 ; Morgan *et al*, 1992). Elle est due probablement à une augmentation de la fraction fibreuse, et une diminution de la part de NFC (Fazaeli *et al*, 2012, Sneath et McIntosh, 2003). La digestibilité serait supérieure à la graine et maximale pour l'orge germé de 4 jours, en terme de matière organique, matière sèche (Dowman *et al*, 1982).

**Activité enzymatique :** La levée de dormance, lors de la germination, permet d'activer des enzymes et d'en synthétiser de nouvelles (amylase, cellulase, protéases, lipases...). Ces catalyseurs biologiques, en permettant de découper les chaînes d'atomes, permettent d'obtenir des molécules plus petites et plus facilement assimilables. L'amidon et la cellulose se transforment alors en sucres simples, les protéines en acides aminés et les lipides en sucres. Elles créent de nouveaux tissus riches en vitamines et bêta-carotène totalement assimilables. L'activité enzymatique serait la plus forte entre le début de germination et le 7<sup>e</sup> jour (Chavan and Kadam, 1989, cité par Fazaeli *et al*, 2012).

**Dégradation des facteurs antinutritionnels :** La germination réduirait la concentration de la graine en facteurs anti-trypsiques, ce qui est vrai aussi pour l'acide phytique par le biais d'une augmentation de la concentration en phytases. A la clé d'une germination donc, une meilleure assimilation des minéraux.

**Valeurs alimentaires :** La valeur alimentaire, ainsi que la valeur d'encombrement du FVH ne sont pas connues. Le peu d'études françaises récentes sur ce type de fourrage explique l'absence de références sur ces indices spécifiques au système de rationnement Français.

Pour conclure, le fourrage vert hydroponique est nutritif. Sa composition est fortement dépendante de la graine initiale et des conditions de culture. Cependant, sa haute teneur en eau (84-91 %) réduit significativement la concentration en énergie et protéines de l'alimentation (Tudor *et al*, 2003 a). Aussi, Peer et Leeson (1983) estiment que la graine germée la plus intéressante d'un point de vue de la quantité de nutriments apportée, est la graine germée de 1 jour. A ce jour, on ne sait pas quel niveau de perte de matière sèche on peut se permettre, dans un objectif d'amélioration de la qualité du produit. Dans une approche conservatrice, si on considère une perte de 5 % comme négligeable, une céréale ne doit pas être trempée plus de 8-10 heures, et germée plus de 24-48 heures. Pour les légumineuses, le bénéfice nutritionnel maximum serait obtenu avec 10 heures de trempage et 24 heures de germination (Chavan *et al*, 1989). Ces réflexions ne prennent pas en compte les apports en enzymes et vitamines, potentiellement intéressantes pour l'alimentation animale, qui seraient intéressants à partir du 7<sup>e</sup> jour de germination chez l'orge et fortement dépendants des conditions de culture (irrigation, éclairage).

## 2.3. ALIMENTATION DES RUMINANTS ET RESULTATS ZOOTECHNIQUES

### 2.3.1. Alimentation du bétail

Le FVH est utilisé en élevage de petits et grands ruminants, de porcs, de volailles, de lapins et de chevaux. Il est également utilisé dans les ménageries et les zoos. Ce fourrage est donné tel quel aux animaux, associé au fourrage classique, et avec éventuellement une complémentation. Il est apporté en plus du fourrage de base, pour pallier un manque de fourrage saisonnier, pour améliorer la digestibilité et la teneur en vitamines et minéraux de la ration, à des moments stratégiques du cycle de production (mise à la reproduction, mise bas, avant la mise à l'herbe)

ou pour répondre à un manque de surface. Il existe peu de documentation sur les quantités de FVH à apporter quotidiennement au bétail. Les distributeurs préconisent un apport journalier de 2-3 % du poids vif. Pour les bovins, l'apport varie de 8 à 20 kg de matière brute par jour, en fonction du type d'animal et de production (tableau 16). Leontovich et Bobro (2007) préconisent de distribuer le FVH une à deux heures après la récolte afin de conserver ses propriétés en vitamines. Les expérimentations sur le FVH en alimentation du bétail ont été faites en complémentation d'un affouragement classique, souvent pauvre (Fayed, 2011 ;) ou de la pâture (Rodriguez Muela et al, 2005), ou en substitution partielle (Marsico *et al*, 2009 ; Micera *et al*, 2009) ou totale de l'aliment concentré.

### 2.3.2. Influence sur les performances du bétail

L'ajout de FVH à la ration, de par sa qualité fourragère et sa teneur en enzymes et vitamines, améliorerait la productivité des cheptels à travers une accélération du processus d'engraissement, une augmentation de la quantité et de la qualité du lait et une amélioration des performances reproductrices. Les études réalisées sur les performances du bétail alimenté avec du FVH obtiennent des résultats contradictoires. Un certain nombre d'études n'ont pas obtenu d'avantages significatifs de l'ajout de ce fourrage dans la ration (Reading, 1925 ; Fishewick, 1937 ; Leitch, 1939 cités par Peer and Leeson, 1985; Fazaeli et al, 2011), notamment quand il remplace une alimentation fortement nutritive à base de céréales (Sneath & McIntosh, 2003 ; Grant, 2011), alors que d'autres mettent en avant des effets bénéfiques de ce fourrage (Canlish and struthers, 1939 ; Tinsley, 1938 cités par Peer and Leeson, 1985).

**Tableau 16 : Rationnement du bétail à base de fourrage vert hydroponique**

Animal	FVH (kg MB/jour)
Vache allaitante	10-15
Vache laitière	15 à 20
Bovin jeune	3 à 8
Bovin à l'engrais < 300 kg	8
Bovin à l'engrais > 300 kg	12
Taureau	20
Ovin adulte	1,5 à 3,5
Ovin jeune	0,5 à 2
Chèvre laitière	2,5
Cheval	10 à 20
Truie	4 à 6
Porc	3 à 4
Lapin adulte	0,2 à 0,3
Lapin jeune	0,05 à 0,1
Oie	0,3 à 0,6
Canard	0,2 à 0,3
Poule pondeuse	0,1 à 0,25
Poulet de chair	0,1 à 0,2

**Effets sur la croissance et les performances d'engraissement :** López-Aguilar et al (2009) ont obtenu un gain de poids journalier significativement supérieur (+ 40 et + 48 g.jour<sup>-1</sup>) pour les brebis alimentées à 70 et 25 % de FVH dans la ration. Espinoza *et al* (2004) ont observé un GMQ supérieur et plus constant sur un lot de taurillons nourri avec 30 % de FVH, dont la ration de base était une herbe coupée pauvre en protéines, dont la composition variait toutes les semaines. Tudor et al (2004), ont évalué sur 20 taurillons à l'engrais, une ration à base de foin et de FVH d'orge de 6-7 jours (20-37 % de la ration), sur une période de 70 jours. Ils ont observé un gain de poids moyen supérieur à celui attendu compte tenu de l'apport nutritionnel apporté par cette ration. Ils expliquent ces performances par une meilleure efficacité d'utilisation de la ration par l'animal, en raison de l'apport par le FVH de nutriments solubles rapidement assimilables et d'un complexe d'enzymes.

**Performances reproductives des mères :** Rodriguez Muela et al (2005) estiment que la complémentation en FVH, en prairie et en période sèche, de vaches suitées en lactation, permet de maintenir le poids et l'état corporel des animaux. Ils ont observé une meilleure croissance du veau sous la mère, ainsi qu'un meilleur pourcentage de retour de cycle des vaches, par rapport aux témoins.

**Production de lait :** Mincera et al. (2009) ont mis en avant une augmentation significative de la production de lait chez des brebis dont une partie de l'aliment a été substituée par de l'avoine hydroponique de 7 jours. Alors que la production de lait est similaire les 20 premiers jours (de l'ordre de 600 g par jour), ils observent une décroissance de la production pour le lot témoin, à partir du 30<sup>e</sup> jour, et une augmentation significative et supérieure pour les lots alimentés avec 1.5 et 3 kg de FVH, par rapport au témoin. Ils ont obtenu une augmentation significative de la production (+ 16 %) et de la qualité du lait de chèvres (taux de Caséines, taux de protéines) dont la ration comprenait 30 % de FVH. Marsico *et al* (2009) n'observe pas d'effet de la substitution du FVH d'avoine au concentré dans la ration, sur des chèvres en lactation. Ayant suivi le même protocole que Micera *et al.* (2009), sur la même période, et ayant observé peu d'appétence des animaux pour ce fourrage, ils posent l'hypothèse que l'absence de différenciation entre les lots est liée au comportement alimentaire sélectif de l'espèce et une durée d'essai trop courte (2 mois) pour habituer les animaux. Grigor'ev et al. (1986 ; cité par Sharif et al, 1991) ont observé une augmentation de 8,7 % du rendement en lait de vaches. Romero-Valdez *et al* (2009) et Lomeli (2000), cités par Garcias-Carrillo *et al* (2013), auraient obtenu respectivement une augmentation de 20 et 4.2 % de la production de lait, en vache laitière. En revanche, Thomas et Reddy (1962, cités par Peer et Leeson, 1983) n'observent pas d'amélioration de la quantité et qualité du lait de vaches nourries à l'orge germé de 7 jours. Rodriguez Muela et al (2005) émettent l'hypothèse que la complémentation en prairie avec du FVH, pendant les périodes de faible production des fourrages, permettrait de maintenir la quantité et la qualité du lait, sans que les vaches aient à puiser dans leurs réserves corporelles. Cela expliquerait les meilleures croissances des veaux, qu'ils ont obtenues par rapport au témoin.

**Appétence et efficacité d'utilisation du fourrage par le bétail :** La majorité des études relèvent une forte appétence de ce fourrage (Micera *et al*, 2009 ; Romero Valdez *et al*, 2009, Garcia *et al*, 2013) qui est vite accepté par les animaux. Seuls Marsico *et al* (2009) ont relevé peu d'appétence pour ce fourrage de la part de chèvres en lactation. Ils l'expliquent par l'inclinaison de cette espèce à sélectionner ses aliments. Il a été observé que, associé à du foin en libre accès, il augmente la consommation totale (Dung *et al*, 2010 ; Tudor *et al*, 2004 ; Garcias-Carrillo *et al*, 2013) et donc la prise de poids des animaux.

Il ressort que l'introduction de FVH dans la ration améliorerait les performances dans les situations où il est associé à un fourrage pauvre et variable dans le temps (Espinoza *et al*, 2004 ; Todor *et al*, 2003). Tudor *et al*, 2003 ont mis en avant une amélioration de l'efficacité d'utilisation de foin pauvre en protéines, avec une croissance supérieure à celle attendue chez des taurillons en engraissement, compte tenu des apports énergétiques et protéiques ingérés. Il permettrait également de pallier les effets négatifs (perte de poids, baisse de la production de lait) liés à un changement brusque de la qualité du fourrage (Espinoza *et al*, 2004) ou des prairies (Rodrigues Muela *et al*, 2005) en apportant une base de qualité constante. L'ajout de FVH dans la ration améliorerait la digestion. Il stabiliserait le pH ruminal à 6,2, ce qui améliorerait le fonctionnement du rumen et favoriserait la digestion. Il apporterait également des enzymes qui éliminent les phytates, ce qui améliorerait l'absorption des minéraux et favoriserait l'activité enzymatique du rumen.

### 2.3.2. Effets sur la santé et le bien-être animal du bétail

Peu d'études se sont intéressées aux bénéfices de ce fourrage en terme de bien-être animal et de santé du bétail.

**Bien-être animal :** Micera *et al* (2009), après avoir alimenté pendant 2 mois, deux lots de brebis en lactation, avec deux niveaux de fourrage d'avoine hydroponique, en substitution d'une partie de l'aliment, ont observé un taux de cortisol sanguin significativement plus faible que ceux des témoins (- 40 ng.ml<sup>-1</sup>). Cette teneur plus faible de l'hormone du stress chez ces animaux, laisserait supposer que l'apport de fourrage hydroponique va avoir un effet positif sur le stress et le bien-être des animaux.

**Santé du bétail :** Micera *et al* (2009) et Marsico *et al* (2009), ont respectivement constaté des profils biochimiques et hématologiques similaires au témoin, chez des brebis et des chèvres dont le FVH avait été substitué partiellement à l'aliment. La majorité des utilisateurs s'accordent sur le fait qu'ils aient observé une amélioration de la santé générale de leurs troupeaux, ainsi qu'une meilleure résistance aux maladies. Celle-ci s'accompagnant d'une réduction des frais vétérinaires. Historiquement, les céréales germées sont utilisées pour traiter les animaux faibles. De nombreux éleveurs, notamment en agriculture biologique, utilisent ponctuellement cette technique pour remettre en état leurs animaux avant une période clé du cycle de production (mise à la reproduction, début de lactation, engraissement). Des cas d'empoisonnement du bétail consommant du FVH ont été observés (Mc Kenzie *et al*, 2004 ; Moreau et Moreau, 1960). Ils sont dus à une contamination du fourrage par *aspergillus clavatus*. Ce champignon peut provoquer chez l'animal, de l'hyperthermie, de l'inappétence, de la nervosité, une dégénérescence du foie, des congestions, l'hypertrophie des reins, voir la mort. Ce type d'empoisonnement est dû à l'introduction de graines souillées dans le système et à un mauvais entretien. Il est évitable si le nettoyage du matériel et des semences et le suivi de la culture soit minutieux.

## 2.4. PERFORMANCES ECONOMIQUES DE LA PRODUCTION HORS SOL DE FOURRAGE

C'est un point qui est peu documenté et souvent partiel. Peu d'études sont allées jusqu'au calcul des coûts de production ou de ration.

Les distributeurs annoncent des **coûts de production** de l'ordre de 45 à 135 € la tonne de fourrage frais. Ces chiffres ne prennent pas en compte les coûts d'investissement, et rarement le temps de travail. Les rares études qui ont chiffrées le coût de production du FVH, obtiennent des coûts de 700 à 1 300 € la tonne de matière sèche (Grant, 2011 ; Sneath & McIntosh, 2003 ; Tranel, 2013), soit un produit à 84 à 156 € la tonne de fourrage frais (à 12 % de MS).

Celles-ci prennent en compte les coûts d'investissement qui vont peser fortement sur le résultat (intérêts 14-19 %, Dépréciation 20-28 %). Or, ils sont difficiles à évaluer compte tenu de la diversité des systèmes existants (système simples « fait main », unités semi automatisées clés en main), de leur niveau de perfectionnement (retraitement de l'eau, alimentation solaire) et de la stratégie de l'éleveur (dimension de l'unité de production, part d'auto-construction, temps de travail consenti, mise en commun du matériel par plusieurs éleveurs). Les deux principaux postes qui vont peser sur les coûts de production sont le temps de travail (20-32 %) et le coût des semences (27 %). Or ce sont deux postes qui ne sont pas forcément pris en compte par les exploitants (temps de travail rarement compté, coût des semences négligé quand elles sont

produites à la ferme). Cela expliquerait, pour partie, le développement de la technique malgré des avis défavorables sur l'aspect économique.

La majorité des études qui se sont intéressées aux coûts de production (Grant, 2011 ; Sneath & McIntosh, 2003 ; Tranel, 2013), concluent que le FVH a un coût trop élevé, particulièrement pour des élevages à faible valeur ajoutée (production de viande, de lait ; Fazaeli *et al*, 2012). Ces coûts ont essentiellement été comparés aux coûts d'achat du grain et de l'aliment (Grant, 2011 ; Sneath & McIntosh, 2003 ; Tranel, 2013) et en aucun cas aux coûts de production d'un fourrage classique. Toutes ces études ont calculé des coûts de production ramenés au kilo de matière sèche. Or sur le marché courant, les ventes de fourrages et d'aliments se font sur la base de la matière brute. La majorité de ces analyses n'ont pas fait de calcul à l'échelle de l'atelier. Or, si certaines études affirment que l'introduction de ce fourrage augmente le coût de la ration (Fazaeli *et al*, 2011), d'autres prétendent qu'elle réduit les coûts de l'atelier en diminuant les apports d'aliments (Kriaa *et al*, 2001) et les coûts de frais vétérinaires.

La généralisation de ce type de calcul économique est délicate, car il est spécifique à chaque territoire, à son contexte socio-économique, aux systèmes d'élevages et aux objectifs des éleveurs. Il nécessite d'être réalisé localement, en effectuant plusieurs simulations, avec différentes hypothèses de départ (taille de module, type de système hydroponique, approvisionnement en graines, etc...).

## 2.5. BILAN DES CONNAISSANCES ACTUELLES

Une analyse approfondie de la **littérature scientifique** existante sur la production de fourrage hydroponique laisse perplexe, tant les points d'interrogation sont nombreux et le poids des parties pris se fait ressentir dans les analyses. C'est une technique qui a été peu étudiée et pour laquelle on dispose de peu de références (Romero Valdez *et al*, 2009), comparativement à des systèmes de production fourragère classique. Une bonne part des documents disponibles relèvent de la littérature grise (rapports d'études ou de recherches, actes de congrès, thèses, brevets, etc...), sont anciens, et l'accès aux documents originaux est difficile. Les résultats de ces études sont difficilement comparables entre eux. Selon le support de communication et le contexte, les protocoles sont plus ou moins détaillés. Ces derniers sont très hétérogènes et orientés en fonction de contextes et d'objectifs très variés. **L'itinéraire technique**, pour ce type de culture, est documenté. Mais il n'y a pas de vision précise des pratiques culturelles les plus adaptées à mettre en œuvre, selon le type de système hydroponique et les espèces choisies, pour optimiser la production de fourrage et sa valeur alimentaire. Les différentes études réalisées sur l'optimisation de l'itinéraire technique (densité de semis, date de récolte, fertilisation ...) sont partielles, les protocoles sont très hétérogènes, ils font des choix très spécifiques de modalités à tester et d'indicateurs à évaluer, et ne vont pas jusqu'au bout de l'analyse (coût environnemental et économique). Cela rend les résultats difficilement comparables entre eux. Enfin, certains points de l'itinéraire technique et leur impact sur la quantité et la qualité du fourrage produit ont été très peu étudiés. Tel que l'impact de la température, de l'éclairage (quantité et qualité de la lumière : composition et distribution énergétique spectrale ; régime lumineux : durée et périodicité de l'éclairage) et de la concentration en CO<sub>2</sub> de l'air. Alors que ce sont des facteurs essentiels de la croissance des plantes. Le **potentiel de rendement** et la **composition bromatologique** du FVH a été très étudié. Toutes les études s'accordent pour dire que le potentiel de rendement est très important et que la qualité de ce fourrage est élevée. Cependant, certains points restent peu documentés. C'est le cas notamment de la *teneur en*

*vitamines et enzymes* du FVH, des facteurs de l'itinéraire technique qui vont les impacter et des bénéfiques que peut générer une optimisation de ces valeurs dans l'alimentation du bétail. De même, on n'a pas, de valeur alimentaire et de valeur d'encombrement pour ce fourrage, qui ont été scientifiquement validées. On a peu de références sur la part que peut prendre ce fourrage dans l'**alimentation des animaux d'élevages** et les bénéfiques qu'il peut apporter sur leurs productions et leur santé. Les études sur l'impact du FVH sur les performances et la santé des animaux sont contradictoires et demandent à être approfondies. A ce jour, les performances potentielles du fourrage germé hydroponique en supplément du pâturage ou d'une ration sèche sont peu connues. Or, certaines études concluent que cela pourrait être l'utilisation la plus efficace de ce fourrage. Cette technique offre de bonnes perspectives en terme de production de protéines de qualité et facilement digestibles. Or, l'emploi de légumineuses en FVH a été très peu étudié. Les **coûts de production** semblent élevés et il n'y a pas, à ce jour, de références à l'échelle de l'atelier d'élevage. C'est une culture qui, au premier regard, semble demander plus de **temps de travail** et d'attention qu'une culture classique. C'est un point qu'il est nécessaire d'approfondir et il serait justifié de ramener le temps de travail fourni à la production de matière sèche, comparativement à une culture en champ. On retrouve, dans la littérature, divers arguments, favorables ou non, au développement de cette technique. Les principaux atouts évoqués sont :

- Une herbe fraîche, de bonne valeur énergétique, à haute valeur protéique, riche en vitamines et minéraux ;
- Une production continue (365 jours par an), constante (rendement, qualité), adaptable aux besoins de l'exploitation et indépendante des aléas climatiques (périodes hivernales, cycloniques, de sécheresses) ;
- Une culture qui consomme très peu d'eau : l'utilisation de cette ressource est optimisée (limitation des pertes par évaporation et ruissellement, apport raisonné au plus près des besoins) et peut être recyclée ;
- Une utilisation réduite, voire nulle d'intrants chimiques (engrais, produits phytosanitaires) : cela réduit les coûts de production de la culture et annule les risques environnementaux liés à leur utilisation ;
- Une réduction des charges de mécanisation et de la consommation de gazole liés aux travaux des champs (travail du sol, semis, fertilisation, protection phytosanitaire, fauche, fanage, andainage, pressage, transport, stockage) ;
- Une optimisation de l'utilisation des surfaces agricoles, avec une production qui mobilise de faibles surfaces pour un rendement important ;
- Une amélioration de l'état sanitaire des animaux et des performances zootechniques (augmentation de la fécondité des géniteurs, accélération de la croissance, une augmentation de la ponte, de la production de viande et de lait) ;

Un certain nombre d'aspects sont cependant un frein à son développement :

- C'est une technique pour laquelle on dispose de peu de références, notamment Françaises, sur i) le fonctionnement technique des modules de production et de leurs consommations en intrants et main d'œuvre ; ii) l'itinéraire technique et les performances qualitatives et quantitatives du fourrage ; iii) la valeur alimentaire du fourrage et son rationnement ; iv) les bienfaits sur la santé et les performances des animaux ;



- C'est une production qui demande une main d'œuvre et un temps de travail journalier important ;
- Les coûts d'investissement et production restent flous, à priori élevés comparativement à une culture fourragère classique ;
- C'est une technique qui présente peu d'intérêt dans un contexte où les surfaces fourragères sont suffisantes et dont la production peut encore être optimisée ;

Cependant, cette approche alternative de production est simple et rapide. Elle se prête particulièrement bien aux périodes critiques de déficit fourrager, notamment en situation de sécheresse. Elle permet une production intensive toute l'année. Aussi, elle est particulièrement adaptée au contexte de foncier limitant. Si cette production semble peu compétitive à l'heure actuelle, face aux systèmes fourragers conventionnels, elle pourrait répondre, dans les années à venir, à des enjeux agronomiques émergents (aléas climatiques, diminution des ressources, augmentation du coût des intrants, pression foncière). Et il n'est pas anodin que le fort regain d'intérêt pour cette technique est émergé dans des régions contraintes en terme de ressource en eau et en foncier. Il ressort des différentes études réalisées depuis les années 1930, qu'il reste encore des zones de flou sur les performances de cette technique de production. Les performances agronomiques, environnementales et économiques de cette production étant fortement dépendantes des conditions locales, cela nécessite une évaluation à cette échelle (Fazeaeli *et al*, 2012). Dans l'optique d'un développement de cette technique en systèmes d'élevage de ruminants à la Réunion, il est essentiel de l'évaluer localement, sur ces différents points, afin de définir si elle répond bien aux enjeux spécifiques de la filière.

### 3. DISPOSITIF D'ÉVALUATION MIS EN ŒUVRE

Le chapitre précédent a souligné le manque de références sur la production de fourrage hydroponique et la nécessité de tester et d'évaluer localement cette technique afin de considérer l'intérêt de son développement dans le département. Ce chapitre vise à présenter le dispositif d'expérimentation et d'expertise mis en œuvre afin d'évaluer la technique de production de fourrage hydroponique. Cette étude vise à répondre à trois questions : i) la technique de production de fourrage hors-sol est-elle viable ? ii) peut-elle répondre aux problématiques de déficit fourrager de la Réunion ? iii) elle adaptée aux besoins spécifiques de la filière ruminants viande ? Pour répondre à ces questions, un dispositif expérimental a été mis en œuvre, en station expérimentale et en élevages, sur la période de juin 2014 à septembre 2015.

#### 3.1. MATERIEL DE PRODUCTION DE FOURRAGE HYDROPONIQUE UTILISÉ

Pour la réalisation des essais, cinq unités de production mobiles ont été acquises. Le choix s'est porté sur les unités de culture fermées EC-2-T, développées par Eleusis Int. S.A<sup>1</sup>. Ce sont des chambres en polyester de fibre de verre, de 3 m de large, sur 1,5 m de profondeur et 2,5 m de hauteur (4,5 m<sup>2</sup> d'occupation au sol). Deux parois latérales sont dotées de portes vitrées doubles. Elles sont équipées de 6 étagères de 8 plateaux chacune, soit 48 plateaux de 0,36 m<sup>2</sup> de surface. Cela correspond à une surface de culture totale de 17,28 m<sup>2</sup>.



La température, l'humidité, la circulation et le renouvellement de l'air à l'intérieur du module sont contrôlés ( $18 \pm 1,5$  C° ; 60-100 % H). Le module est éclairé par la lumière naturelle perçue à travers les portes vitrées, ainsi qu'avec un éclairage artificiel. Celui-ci est effectué à l'aide de lampes fluorescentes de 58 W. La durée d'éclairage est de 12 heures par jour, par cycles de deux heures. La luminosité perçue par les plateaux est variable selon l'heure de la journée et le positionnement du plateau au sein de l'appareil. Elle varie de 0 à 1192 lux, avec une valeur moyenne de  $52,28 \pm 6,16$  lux en période d'éclairage naturel, et de  $514,74 \pm 33,26$  lux en phase d'éclairage artificiel. La consommation d'électricité journalière de l'appareil est de  $9,85 \pm 0,36$  kWh. Le système d'irrigation est entièrement automatisé. L'appareil va consommer en moyenne  $251 \pm 13$  litres d'eau par jour, pour la phase de pré-trempage, l'irrigation et l'entretien de l'appareil.

Ces cabines sont conçues, pour que chaque jour une étagère soit récoltée et semée (8 plateaux, soit une surface de culture de 2,88 m<sup>2</sup>). Chaque jour, 20 kg de graines d'orge sont mis à tremper pendant une nuit (12 - 18 h) dans un bac de réhydratation, avec 26 litres d'eau. Par la suite, le bac est vidé de son eau et les graines y sont maintenues pendant 24 heures. Après une journée de germination dans le bac, les graines sont « semées » dans les plateaux, à une dose de 2,5 kg de grain sec par plateau (soit une densité de semis de 7 kg / m<sup>2</sup>). Les plateaux sont inondés une fois par jour, pendant 30 minutes. Au bout de 6 jours de pousse, soit à un stade de 7 jours de germination, les plateaux sont récoltés, et les tapis végétaux, composés des jeunes plantules, de leur graine et racines, sont donnés dans leur entièreté aux animaux. Ces modules, d'après le fabricant, ont une capacité de production de 120 kg de fourrage vert par jour, à 12 % de matière

<sup>1</sup> <http://www.eleusis.es/>

sèche. Ils ont été conçus pour compléter en fourrage 10 vaches ou 10 chevaux ou 100 moutons. Cela correspond à un apport journalier de 1,44 kg MS par vache ou cheval, ou 0,144 kg MS par mouton, soit une couverture de l'ordre de 8 à 10 % des besoins journaliers en fourrage.

### 3.2. DISPOSITIF D'ÉVALUATION DE LA PRODUCTION EN STATION EXPERIMENTALE

Afin d'évaluer le potentiel de production du fourrage hydroponique, deux modules EC-2-T ont été utilisés en station expérimentale (SEDAEL).

Une quinzaine d'essais ont été mis en œuvre afin de tester le système de production et évaluer :

- différents itinéraires techniques afin de définir les conditions optimales de culture;
- la productivité et qualité du fourrage (rendements, valeurs nutritives, constance de production, risques sanitaires, efficacité d'utilisation de l'eau) ;
- la technicité requise (complexité de gestion, temps de travail journalier, main d'œuvre) ;

Les essais ont porté sur la production d'orge, de blé et de maïs conduits en hydroponie, selon différentes modalités de stades de récolte, de densité de semis et d'éclaircissement. Cette première approche a consisté à tester des variations de l'itinéraire technique proposé par le constructeur du module, tel qu'il a été décrit au paragraphe 3.1. Cela, afin d'évaluer les potentiels de production, et d'identifier les facteurs de variation.

Dans le cadre des essais de production et du suivi en élevage, 21 échantillons de graines et de fourrage hydroponique, à différents stades de récolte et sous différentes conduites, ont été prélevés pour réaliser des analyses chimiques en laboratoire (Invivo Labs). Elles ont permis de déterminer la composition bromatologique, la teneur en minéraux et vitamines et la valeur alimentaire du fourrage hydroponique produit dans le cadre des essais.

### 3.3. DISPOSITIF D'ÉVALUATION EN ÉLEVAGE

Le dispositif d'évaluation en élevage visait à évaluer la faisabilité d'une complémentation en fourrage hydroponique en ateliers de ruminants viande. Ces essais, réalisés dans quatre élevages, ont porté sur deux types d'atelier, naisseur et engraisseur et deux types de ruminant, bovin et ovin.

La première série d'essais (3) a porté sur de l'engraissement de taurillons (EARL PICARD, GAEC REBOULE) et d'agneaux (Mr. Guy-Noël PICARD). Elle cherchait à évaluer l'utilisation de ce fourrage en tant que complément fourrager, en engraissement en bâtiment, en terme d'alimentation, de performances d'engraissement, de santé et de bien-être animal.

Suite aux premiers résultats obtenus dans le cadre de ces essais, il a été mis en avant que le FVH, de par sa richesse en vitamines et minéraux, serait peut-être plus approprié en atelier allaitant. Aussi, il a été décidé de mettre en œuvre une seconde série d'essais sur des femelles reproductrices.

Cette seconde série d'essais (2) a porté sur des ateliers naisseurs vache (SEDAEL) et brebis (Mr. Guy-Noël PICARD). Elle visait à évaluer l'utilisation de ce fourrage, en tant que complément fourrager, en terme d'alimentation, de performances de reproduction, de santé et de bien-être animal.

Pour chaque essai, deux lots d'animaux ont été évalués : un « témoin » avec une ration conduite selon les pratiques de l'éleveur, et un « FVH » où on ajoutait à la ration 15 à 30 % des besoins en fourrage sous la forme de fourrage hydroponique. Le FVH venait en plus de la ration de base, en tant que complément fourrager. Dans le cas de l'essai sur vaches allaitantes, on a ajusté les apports de concentré de sorte que les apports d'énergie et d'azote fournis par le FVH et le concentré soient identiques pour les deux lots.

Chaque site d'essai était équipé d'une unité de production EC-2-T® (Eleusis Int. S.A) d'une capacité de production d'une centaine de kilogrammes de fourrage vert par jour (Annexe 1).

Le détail des protocoles expérimentaux est détaillé en Annexes 5,6 et 7.

### 3.4. DISPOSITIF DE FORMATION ET D'ANIMATION

Un travail de formation et d'animation a été mis en place autour du projet d'évaluation, afin d'assurer le bon déroulement de l'étude, de communiquer sur les avancées du projet et de débiter le travail de transfert.

#### 3.4.1. Formation

Deux sessions de formation d'une demi-journée ont été réalisées à la SEDAEL afin d'initier les personnes impliquées dans le programme d'expérimentation, à la technique de production du fourrage hydroponique et à l'utilisation du module hydroponique EC2T.

Une première session a été réalisée le 11 juillet 2014 pour former les éleveurs et les techniciens impliqués dans les essais en élevages, sur l'engraissement de taurillons et d'agneaux.

Une seconde session a été réalisée le 27 novembre 2014 pour former les ouvriers et techniciens de la SEDAEL, pour la mise en place des essais sur la ferme expérimentale.

L'étude d'évaluation du fourrage hydroponique a servi de cadre à la réalisation de stages étudiants. Ils visaient à initier les étudiants à l'expérimentation végétale et animale, ainsi qu'à la technique de production de fourrage hydroponique :

La SicaRévia a accueilli un stagiaire en BTSA Agronomie et Productions Végétales, de l'Institut Sandar, sur une période de 4 mois. Le stagiaire a participé au lancement du programme d'expérimentation et a réalisé les premiers essais de production effectués sur les modules hydroponiques de la SEDAEL.

La SicaRévia et la SEDAEL ont accueillis trois stagiaires en BTS DARC, du L.E.G.T.A. de Saint Paul, sur une période de deux semaines. Les stagiaires ont réalisé trois essais de production sur les modules hydroponiques de la SEDAEL.

La SEDAEL a encadré le stage d'un de ses salariés, dans le cadre de la validation de son BTSA en candidat libre. Ce stage a porté sur la mise en œuvre et l'évaluation de l'essai alimentaire sur vaches allaitantes réalisé à la SEDAEL.

#### 3.4.2. Animation et communication

De nombreuses visites et animations ont été mises en œuvre, afin de communiquer sur la technique de production de fourrage hydroponique et sur l'avancée de l'étude. Ces actions ont

été menées en direction de la profession et de la recherche agricole, des lycées agricoles, des partenaires techniques et institutionnels. La liste des actions est présentée en annexe 2.

Il y a eu, également, une communication auprès de la presse locale, qui a abouti à la diffusion de :

- deux articles dans Le journal de la Réunion (De l’herbe sur un plateau, Véronique Tournier, 24/10/2014, p 13) et le Quotidien de la Réunion (Le fourrage du futur, Thomas ARCENS, 03/11/2014, p 14) ;
- un reportage dans le journal d’outre-mer de France inter (29/10/2014) ;
- trois reportages dans le magazine Terre d’ici, sur Antenne Réunion;

## 4. RESULTATS

Ce chapitre présente une synthèse des résultats acquis dans le cadre du programme d'expérimentation mis en œuvre de juin 2014 à mars 2015. Il vise à répondre aux questions suivantes : i) est-ce que cette production a des rendements supérieurs aux cultures fourragères locales ? ii) est-ce que ce type de fourrage présente des valeurs alimentaires supérieures à la graine et aux fourrages locaux ? iii) est-ce que l'introduction de ce fourrage dans les rations de ruminants allaitants apporte une plus-value par rapport aux rations utilisés actuellement ? iv) est-ce que le prix de cette production est acceptable ? v) est-ce que son développement est souhaitable et techniquement réalisable à ce jour ?

### 4.1. POTENTIELS DE PRODUCTION HORS-SOL DE FOURRAGE

Les essais réalisés à la SEDAEL ont porté sur la production d'orge, de blé et de maïs conduits en hydroponique, selon différentes modalités de date de récolte, de densité de semis et d'éclaircissement. Différents facteurs ont été identifiés comme influant sur les rendements obtenus, tel que l'espèce et la variété, le temps de trempage, la densité de semis, la date de récolte et l'éclaircissement.

#### 4.1.1. Rendements

Une série d'essais, réalisée sur 152 échantillons d'orge, conduits selon différents itinéraires techniques, ont permis de déterminer les indicateurs de production suivants :

Un kilogramme de graines d'orge mis à germer, va donner entre 2,31 et 4,89 kilogrammes de fourrage vert (kg MB), au bout de 6 à 10 jours de germination. Soit une valeur moyenne de  $4,05 \pm 0,12$  kg MB. On obtient des **ratios FVH / Grain** légèrement inférieurs à ceux obtenus dans la littérature (moyenne : 5,23 ; gamme : 2,76 à 7,21). Durant le processus de germination, il a été observé une **perte de matière sèche** de 20,1 à 58,4 % par rapport à ce qui a été semé initialement, soit une valeur moyenne de  $35,9 \pm 1,6$  % (cf. 4.2.1.).

Ramenés à la surface cultivée, les **rendements en vert** varient de 16,15 à 36,04 kg MB/m<sup>2</sup>, pour une récolte entre 7 et 10 jours. Soit un rendement moyen de  $27,60 \pm 0,59$  kg MB/m<sup>2</sup>. On obtient des valeurs similaires à celles de la littérature, soit 20,65 à 32 kg MB/m<sup>2</sup> produites en 8 à 10 jours, pour un rendement moyen de 25,87 kg MB/m<sup>2</sup>. Avec des taux de matière sèche variant de 10,49 à 32,8 % (cf. 4.2.1.), on obtient des **rendements en sec** qui varient de 2,87 à 5,80 kg MS/m<sup>2</sup>, avec une valeur moyenne de  $4,58 \pm 0,09$  kg MS/m<sup>2</sup>. Les valeurs sont équivalentes à celle de la littérature (moyenne : 3,64 kg MS/m<sup>2</sup> ; gamme : 2,46 à 5,44 kg MS/m<sup>2</sup>).

Tableau 17 : Performances de production du fourrage hydroponique d'orge à différents stades de récolte

	Stade de récolte					
	6 jours	7 jours	8 jours	9 jours	10 jours	11 jours
<b>Rendements (kg /m<sup>2</sup>) :</b>						
<i>Vert</i>	24,68 ± 0,64	28,66 ± 0,8	28,93 ± 0,79	31,99 ± 0,37	34,10 ± 0,42	35,11 ± 0,79
<i>Sec</i>	5,13 ± 0,13	4,95 ± 0,14	4,36 ± 0,12	3,93 ± 0,04	3,71 ± 0,05	3,72 ± 0,08
<b>Hauteur d'herbe (cm)</b>	5,6 ± 0,3	6,9 ± 0,4	8,2 ± 0,3	10 ± 0,3	12,1 ± 0,2	11,2 ± 0,4
<b>Ratio FVH/grain</b>	3,36 ± 0,09	3,89 ± 0,11	3,93 ± 0,11	4,35 ± 0,05	4,63 ± 0,06	4,78 ± 0,11
<b>Perte MS (%)</b>	23,38 ± 1,83	25,97 ± 1,96	34,73 ± 1,68	41,30 ± 0,64	44,50 ± 0,68	44,44 ± 1,20

La **hauteur d'herbe** varie de 6,9 et 12 cm, pour une récolte entre 7 et 10 jours. On est sur des valeurs inférieures à celles obtenues dans la littérature scientifique où, pour une récolte à 9-10 jours, on obtient des valeurs de l'ordre de 15,3 à 22,7 cm. De manière générale, il a été observé

que les plantules d'orge récoltées à 7-8 jours étaient à des stades de développement moins avancés que ce qui avait été observé pour d'autres études. Il semblerait que le mode de culture freine la vitesse de croissance par rapport à d'autres systèmes. Il est possible que ce « retard » de croissance soit lié à la forte densité de semis et au mode d'irrigation (une seule irrigation jour).

Les indicateurs de rendements vont varier selon un ensemble de facteurs et de combinaisons de facteurs de l'environnement et de l'itinéraire technique. Aussi, il a été obtenu des performances différentes, selon l'espèce (tableau 21), la variété (tableau 18), le mode de conduite et le stade de récolte (tableau 17).

#### 4.1.2. Impacts de l'itinéraire technique

**Espèce :** Il est nécessaire d'adapter l'itinéraire technique pour chaque espèce, celles-ci ne nécessitant pas les mêmes conditions de trempage, densité de semis, de température, d'éclairage, d'irrigation et de temps de pousse. A conduite de culture identique, on observe des différences de rendements.

**Variété :** Les relevés de rendements effectués sur trois variétés d'orge ont mis en avant une production différenciée (tableau 18) selon la variété. La catégorie du grain a pu jouer

**Tableau 18 : Rendements de l'orge hydroponique pour trois variétés, récoltées à quatre stades différents**

Stade	Rendements (kg/m <sup>2</sup> )					
	Matière brute			Matière sèche		
	<i>Zeppelin</i>	<i>Arturio</i>	<i>Fourragère</i>	<i>Zeppelin</i>	<i>Arturio</i>	<i>Fourragère</i>
<b>6</b>	23,8 ± 0,3	23,8 ± 0,8	/	4,5 ± 0,05	4,5 ± 0,2	/
<b>7</b>	28,4 ± 0,3	23,6 ± 0,6	19,5 ± 1,7	5,5 ± 0,1	4,6 ± 0,1	3,8 ± 0,1
<b>8</b>	28,8 ± 0,4	27,4 ± 0,9	24,7 ± 0,7	5,2 ± 0,1	4,9 ± 0,2	4,5 ± 0,1
<b>9</b>	31,95 ± 0,2	28,2 ± 0,2	23,1 ± 1,1	4,5 ± 0,03	3,9 ± 0,02	3,2 ± 0,2

également : les graines zeppelin, arturio et « fourragère » étant respectivement des semences, de l'orge de qualité brassière et de l'orge de qualité fourragère. Cette dernière présentait une grande quantité de « déchets » (glumes et glumelles, tiges, poussières) qui ont certainement impacté le rendement et ont causé un pourrissement des racines, à plus de 9 jours de germination. Cela souligne l'importance d'avoir des graines propres.

**Pré germination :** Aucun essai spécifique n'a été effectué sur la durée de trempage. Cependant, il ressort des différents suivis que les graines d'orge peuvent être réhydratées pendant 4 à 18 heures, sans qu'il n'y ait d'effets notables sur la production. Pendant la phase d'hydratation, un kilo de graines d'orge, de blé ou de maïs absorbe entre 1,2 et 1,45 litres d'eau.

**Densité de semis :** La densité de semis va impacter le développement de la plantule, en ayant un effet sur les conditions d'humidité au sein du tapis de graines, ainsi que sur les obstacles à la croissance du germe. Une densité trop faible, sans continuité du tapis de graines, ne permet pas de maintenir un bon niveau d'humidité. Cela peut nuire au développement des plantules, en générant des phases d'humidité et de sécheresse, et pénalise le rendement. En fonction du type de graine (grosse, petite, ronde, allongée) et de la fréquence d'irrigation (une à 12 fois par jour), il faut définir une densité de semis qui permet un maintien de l'humidité au sein du tapis de graines. Une densité de semis trop dense peut impacter la pousse des plantules, en limitant leur croissance, créer des retards de stade et limiter ainsi le rendement. Ainsi, pour l'orge irriguée une fois par jour, une densité de semis inférieure à 4 kg de grains/m<sup>2</sup> entraîne un mauvais taux de germination, une hétérogénéité de couvert et un retard de stade. Les rendements sont très inférieurs aux densités plus élevées (6,1 à 13,5 kg de MB/m<sup>2</sup> contre 22,3 pour le témoin ; 1,6 à 2,6 kg MS/m<sup>2</sup> contre 4,4 pour le témoin). On notera que les densités de semis qui sont ici

pénalisantes, sont celles qui sont préconisées dans la bibliographie (2,5 à 3 kg grains/m<sup>2</sup> pour l'orge). Cela s'explique par le fait que la majorité des essais ont été réalisés avec plusieurs irrigations par jour. Ce qui permet de maintenir l'humidité du tapis sans recourir à une augmentation de la densité de semis. On observe des rendements équivalents voir supérieurs (20 à 32 kg MB/m<sup>2</sup> pour une DS de 4-4,7 kg/m<sup>2</sup>, contre 13,5-16,8 pour une DS : 4-5 kg/m<sup>2</sup>), notamment en vert, avec une hauteur d'herbe supérieure (14,9 à 22,7 cm, contre 5,5-9,7 cm). Cela peut s'expliquer par une croissance plus rapide et plus importante, liée à une irrigation plus adaptée aux besoins des plantules, associé à moins de contraintes mécaniques à la croissance. Les résultats de nos essais, confrontés à ceux de la littérature scientifique, laissent penser qu'une irrigation fractionnée, associée à une densité de semis plus faible, serait plus intéressante pour ce type de culture. Pour le système hydroponique testé, la densité de semis la plus adaptée est de 7-8 kg grains/m<sup>2</sup> pour l'orge, et de 5 kg grains/m<sup>2</sup> pour le blé.

**Besoins en eau :** Le suivi de la consommation d'eau du module hydroponique a mis en avant que la production d'un kilo de matière brute de FVH nécessite l'apport de 3,7 à 4,6 litres d'eau (tableau 19). On obtient des valeurs supérieures à celles citées par la littérature (Al Ajmi et al, 2009 ; Al Karaki et al, 2012 ; Lopez-Aguilar et al, 2009), qui sont de l'ordre de 1,3-1,9 l/ kg MB. Ce résultat est dû essentiellement au mode d'irrigation du système hydroponique utilisé. Celui-ci utilise la force mécanique de l'eau pour irriguer successivement les différents plateaux du module, par gravitation. Aussi, il nécessite un certain volume d'eau qui est supérieur aux besoins réels des plantes. Sur les 227 ± 1 litre d'eau utilisés journalièrement pour irriguer le module, 157 sont rejetés. De même, quand on déduit cette portion d'eau et qu'on ne garde que celle qui se maintient réellement dans les plateaux (70 ± 1 l), on obtient des valeurs de 1,4 à 1,6 l/ kg MB, qui sont du même ordre que celles de la littérature scientifique. Cela met en avant le caractère « peu économe en eau » du système hydroponique utilisé.

**Tableau 19 : Consommation d'eau en fonction du stade de récolte**

Stade (jour)	Conso. Eau (l/m <sup>2</sup> /cycle)	Ieau (L/kg MB)
6	10,8	3,8
7	12,4	3,7
8	14,0	4,2
9	15,6	4,2
10	17,2	4,4
11	18,8	4,6

**Eclairage :** Un essai mené sur de l'orge récolté à 6,7 ou 8 jours, avec deux types d'éclairage différenciés (100 % naturel, 100 % artificiel), a mis en avant de meilleurs résultats de production avec un éclairage naturel. En moyenne, le ratio FVH/grain est supérieur de 21 %, les rendements en vert et sec sont supérieurs de 20 et 10 %. La perte de matière sèche est inférieure de 10 %. Ainsi, l'éclairage naturel serait préférable à un éclairage classique à base de néons.

**Tableau 20 : Effet du mode d'éclairage sur les indicateurs de rendement de l'orge hydroponique à différents stades**

	Eclaire naturel				Eclaire artificiel			
	6 jours	7 jours	8 jours	moy	6 jours	7 jours	8 jours	moy
<b>Rendement (kg/m<sup>2</sup>) :</b>								
vert	25,4 ± 0,7	29,7 ± 0,1	27,5 ± 0,1	27,3 ± 0,1	22,2 ± 0,7	23,5 ± 0,5	22,4 ± 1,2	22,7 ± 0,4
sec	4,6 ± 0,1	4,6 ± 0,02	4,5 ± 0,2	4,5 ± 0,1	4,1 ± 0,1	4,4 ± 0,1	3,8 ± 0,2	4,1 ± 0,1
<b>Ratio FVH/GR :</b>	4,0 ± 0,1	4,6 ± 0,02	4,3 ± 0,1	4,2 ± 0,1	3,4 ± 0,1	3,7 ± 0,1	3,5 ± 0,2	3,5 ± 0,1
<b>Perte de MS (%) :</b>	79 ± 2	78 ± 0,3	77 ± 3	78 ± 1	70 ± 2	75 ± 1	65 ± 4	70 ± 2

Des essais complémentaires sont nécessaires pour évaluer les bénéfices d'un éclairage artificiel. Cependant, il semblerait que pour une récolte à 7-8 jours, un éclairage naturel soit suffisant. L'éclairage LED, qui permet de programmer la fréquence et l'intensité d'éclairage dans le rouge, le bleu et la lumière naturelle, en fonction des besoins de la plante, pourrait présenter une option intéressante. C'est un mode d'éclairage qui s'est développé ces dernières années en horticulture car il permet de piloter l'éclairage en fonction des besoins de la plante, et peut stimuler préférentiellement la croissance de certains organes (racines, feuilles, déclenchement



de floraison). En production de fourrage hydroponique, ce mode d'éclairage pourrait permettre de stimuler la croissance des feuilles, la photosynthèse et la synthèse de vitamines.

**Fertilisation :** Ce point de l'itinéraire technique n'a pas été exploré. La littérature scientifique présente des rendements et des hauteurs d'herbe supérieures à nos résultats, en systèmes fertilisés avec des compositions bromatologiques parfois améliorées. Cela laisse penser que c'est un point à évaluer.

**Stades de récolte :** Pour l'orge, une récolte à 7-8 jours apparaît comme la plus intéressante, pour ce système hydroponique, en terme de production de biomasse, de conversion grain/FVH, de perte de MS et de durée du cycle (temps de travail & occupation de surfaces, utilisation d'intrants) (tableau 17). A 6 jours de germination, les premières feuilles ne sont pas ouvertes et le stade n'est pas assez avancé pour une récolte. A partir du 10<sup>e</sup> jour de germination, il a été observé un jaunissement des extrémités des feuilles, signe d'un début de carence minérale. Une fertilisation devient nécessaire à ce stade. Compte tenu du niveau de perte de matière sèche et les coûts de production actuels (§ 4.3.1), cela ne semble pas pertinent de pousser la culture au-delà du 8<sup>e</sup> jour de germination. Le blé et le maïs semblent nécessiter un temps de germination plus important que l'orge. Le blé atteint un bon stade de récolte à partir du 8<sup>e</sup> jour de germination (tableau 21). Le maïs demande plus de temps pour faire émerger ses premières feuilles. Il peut être récolté à partir du 10<sup>e</sup> jour de germination.

**Tableau 21 : Rendements du blé et du Maïs conduits en culture hors sol**

Stade (j)	Blé			Maïs		
	% MS	Rdt MV m <sup>2</sup>	Rdt MS m <sup>2</sup>	% MS	Rdt MV m <sup>2</sup>	Rdt MS m <sup>2</sup>
7	23,5 ± 2,3	21,8 ± 0,3	5,1 ± 0,06	56,4 ± 2,3	9,6 ± 0,03	5,4 ± 0,02
8	20,1	24,8 ± 0,3	4,9 ± 0,05	41,2	11,8 ± 0,21	4,9 ± 0,09
9	19,7	23,2 ± 0,3	4,6 ± 0,05	38,5	11,1 ± 0,05	4,3 ± 0,02
10	14,2 ± 0,4	25,5 ± 0,4	3,6 ± 0,04	34,3 ± 0,8	12,4 ± 0,05	4,3 ± 0,02

Compte tenu du développement plus lent du maïs, il pourrait être intéressant de l'utiliser en mélange avec de l'orge ou du blé, pour une récolte à 7-8 jours. Ainsi, il enrichirait le mélange en amidon et énergie, tout en élevant le taux de matière sèche du tapis végétal.

#### 4.1.3. Potentiels de production annuelle

La première particularité de la production de fourrage hydroponique est qu'en se dédouanant des contraintes pédoclimatiques locales, on peut faire se succéder les cycles de production sans interruption. Aussi, sur une surface de culture de 1 m<sup>2</sup> où l'on sème et récolte tous les sept jours, on peut réaliser 52 cycles de culture successifs par an. Cela équivaut à une production de 1490 kg de matière verte, soit **283 kg de matière sèche par an et par m<sup>2</sup> cultivé**. La seconde

**Tableau 22 : Production annuelle d'unités hydroponiques**

Matériel (m <sup>2</sup> )	t MS/an	t MS/ha/an
EULEUSIS EC2T (20)	5,3	2670
EULEUSIS EC6T (50)	20,8	4161
EULEUSIS EC9T (85)	34,7	4079
PREMIUM FODDER FT 1000 (200)	69,4	3468
PREMIUM FODDER FT 500 (120)	34,7	2890

particularité de cette production est qu'elle peut être étagée, ce qui permet de multiplier les surfaces de culture en hauteur. Aussi, avec 8 étages, une surface de culture de 1 m<sup>2</sup> au sol, va donner **2,26 t MS/m<sup>2</sup>/an**. La majorité des systèmes de production de fourrage hydroponique fonctionnent selon un système de rotation des surfaces de culture (plateaux), afin d'assurer une récolte journalière de fourrage, adaptée au type et au nombre d'animaux à alimenter. Le module EC2T Eleusis ® produit de l'ordre de 78 ± 2 kg de fourrage vert par jour, soit 28,5 ± 0,6 t MB/an. Cela équivaut à **5,60 ± 0,2 t MS/an**, sur une surface de culture de 17,28 m<sup>2</sup>, avec une emprise au sol de 4,5 m<sup>2</sup> de la cabine (20 m<sup>2</sup> en prenant en compte le bâtiment). Ramené au m<sup>2</sup>, on a un rendement de 0,28 t MS/m<sup>2</sup>/an. Rapporté à l'hectare, en fonction de l'unité de production et de

nos résultats, nous estimons les rendements de l'ordre de 2 670 à 4 670 t MS/ha/an. Ce sont des résultats plus élevés que ceux obtenus dans la littérature scientifique (351 à 2612 t MS/ha/an). Cela peut s'expliquer par une densité de semis beaucoup plus élevée, et une meilleure optimisation de la surface avec le système utilisé. Les potentiels de production sont donc très importants, et bien au-dessus de ceux d'une culture fourragère classique. A la Réunion, la production fourragère varie entre 9 et 40 t MS/ha/an, en fonction de l'espèce, le mode de gestion et du secteur géographique (tableau 23). Cependant, il faut rappeler que les rendements sont élevés artificiellement par l'apport à forte dose de semences. Si l'on compare la production de FVH à celle de céréales fourragères produites à la Réunion pour l'ensilage, tel que le triticale ou le maïs, on a une dose de semis 78 et 350 fois supérieure (respectivement de 90 et 20 kg/ha, contre 7 kg/m<sup>2</sup> pour le FVH). Si l'on veut prendre en compte l'emprise réelle de cette production sur les sols agricoles, il faut prendre en compte les surfaces nécessaires à la production des semences (tableau 24). En additionnant les rendements et les surfaces, on obtient des rendements de l'ordre de 13,5 à 14,6 t MS/ha/an. Ce qui correspond aux rendements moyens des fourrages sur l'île. En prenant en compte l'emprise réelle, il apparaît que c'est une production qui présente peu d'intérêt, en terme de rendements, en Métropole. A la Réunion, comme les semences ne sont pas produites localement, il y a une réelle économie de surfaces agricoles.

**Tableau 23 : Rendement de différentes espèces fourragères de la Réunion**

Espèce	MS (%)	Rdt (t MS/ha/an)
Prairie kikuyu	15	9-20
Prairie Chloris	26	15-40
Avoine	/	7-10
Triticale	/	12-15
Maïs	26-30	14-20

**Tableau 24 : Emprise réelle de la production de FVH sur les sols agricoles**

Matériel hydroponique	Surface Céréales (ha)	Emprise au sol "réel" (ha)	Rdt "réel" (t MS/ha/an)
EULEUSIS EC2T	0,8	0,8	14,3
EULEUSIS EC6T	3,4	3,4	13,9
EULEUSIS EC9T	5,2	5,2	14,6
PREMIUM FODDER FT 1000	12,4	12,5	13,5
PREMIUM FODDER FT 500	6,2	6,2	13,5

#### 4.1.5. Evaluation du système hydroponique EleusisEC2T.

Le système de production Eleusis a été conçu autour d'un système d'irrigation original, développé par le fabricant, pour produire de l'orge hydroponique en 7 jours. Il répond bien à cette commande, avec des rendements élevés, et un taux de matière sèche très intéressant pour ce type de production. Le fournisseur annonçait des rendements de l'ordre de 120 kg de biomasse par jour, à 12 % de matière sèche. Il a été obtenu un rendement plus faible, de l'ordre de 72 ± 2 kg MB/jour, mais avec un taux de matière sèche plus élevé (19,5 ± 0,6 % MS). Aussi, on obtient un rendement en matière sèche correspondant aux valeurs annoncées. Le système Eleusis présente un certain nombre d'inconvénients techniques qu'il est nécessaire de souligner. La technologie Eleusis a été conçue autour d'un système d'irrigation par submersion successive des plateaux, du haut vers le bas. Ce système est bien adapté pour une production « basique » d'orge hydroponique de 7 jours. Cependant il n'offre pas suffisamment de souplesse pour pouvoir faire évoluer les pratiques, moduler et raisonner les apports d'eau. Les besoins en eau vont être différents selon l'espèce et le stade de développement. Ils deviennent plus importants à mesure que la plantule grandit. Le système, tel qu'il est conçu, en apportant toujours la même quantité d'eau à tous les plateaux, risque d'engendrer un gaspillage, voire de limiter le développement de la culture à certains stades, en ne fournissant pas la quantité d'eau requise. Pour les mêmes raisons, le système ne permet pas de mettre en place une fertilisation qui pourrait éventuellement répondre à des objectifs spécifiques de production. A ce jour, le constructeur ne prévoit pas de système de récupération et de recyclage de l'eau pour ces unités de production. Or, il ressort de notre évaluation, que 70 % de l'eau utilisée lors d'un cycle d'irrigation sert au fonctionnement mécanique du système et non à la culture. Il y a donc un

gaspillage important d'eau et un gain de productivité non négligeable à ce niveau. Enfin, le système demande de nombreuses manipulations, pour la récolte, le semis et l'entretien des plateaux. Cela génère, à priori, un temps de travail supplémentaire par rapport à d'autres systèmes à plateaux fixes. C'est un inconvénient que le fabricant a su régler sur les grosses unités de production, en proposant des systèmes de gestion à la chaîne. Pour une unité « à taille élevage », l'estimation du temps de travail journalier apparaît élevé. Il risque de nécessiter une main d'œuvre supplémentaire, ce qui être un frein à la mise en place de cette production. La synthèse des témoignages des différents utilisateurs laissent penser qu'il serait préférable de tester d'autres systèmes, plus ergonomiques, plus économe en eau et permettant plus de souplesse au niveau de l'irrigation.

Quand on confronte nos résultats de productions à ceux de la littérature scientifique, il apparaît que les rendements sont équivalents, voire plus faibles que des systèmes où la densité de semis est plus basse, l'irrigation est fractionnée et où il y a une fertilisation. Le système Eleusis, pour une consommation de graines et d'eau plus importante, semble produire moins de FVH que d'autres systèmes. Aussi, il serait pertinent de les évaluer.

#### 4.1.5. Perspectives de développement

Il ressort de la bibliographie et des essais menés à la SEDAEL, que le type d'appareillage et l'itinéraire technique vont avoir un impact important sur les rendements obtenus. En terme d'itinéraire technique, il semble important de définir l'impact de la température, de l'irrigation, de la fertilisation et de l'éclairage, combinés au stade de récolte, sur les rendements et la qualité du fourrage. Cela, afin d'optimiser les itinéraires techniques et la production. Il est également nécessaire d'évaluer différentes espèces et variétés, afin de déterminer lesquelles sont les plus intéressantes d'un point de vue technico-économique, et afin de déterminer les itinéraires les plus adaptés. Le maïs semble une espèce intéressante à étudier. Elle est riche en amidon et énergie. Elle se développe dans une gamme de température (15-30 °C) adaptée à une culture sous serre dans les bas de l'île. De par la proximité avec Madagascar, il serait envisageable de mettre en place une importation à coûts réduits. Il serait également pertinent d'évaluer des mélanges de céréales associées à des légumineuses, afin de travailler sur la valeur nutritive de ce type de fourrage, notamment sur le taux de protéines. La production sous serres, avec régulation dynamique de l'ambiance et système automatisé de l'irrigation et recyclage de l'eau, semble un système intéressant à étudier sous nos climats. Il pourrait permettre de réduire les coûts d'investissement et de fonctionnement (éclairage, climatisation).

## 4.2. VALEURS BROMATOLOGIQUES ET ALIMENTAIRES DU FOURRAGE HYDROPONIQUE

### 4.2.1. Composition bromatologique

**Matière sèche :** Il a été obtenu, lors des essais, des taux de matière sèche variant de 10,49 à 32,8 %, avec une valeur moyenne de  $18,37 \pm 0,96$  % MS (82 échantillons analysés). On obtient des taux de matière sèche légèrement supérieurs à ceux cités dans la littérature pour le même stade de récolte (valeur moyenne de 15,54 % MS, pour une gamme de 8,08 à 19,26 %MS). Le taux de matière sèche obtenu dans le cadre des essais (variété et température constante), va principalement dépendre du stade de récolte (tableau 25), et du temps de trempage. Le taux de

**Table 25 : Taux de matière sèche de l'orge hydroponique en fonction du stade de récolte**

Stade de récolte (jours)	n	Matière sèche (%)
Graine	6	90,96 ± 0,40
7	54	19,49 ± 0,55
8	19	18,03 ± 0,85
9	3	14,04 ± 1,50
10	6	11,52 ± 0,47

n : nombre d'échantillons

matière sèche est équivalent à celui observé en moyenne en prairies tropicales au cours de l'année.

**Protéines :** Le taux de protéines d'une orge hydroponique (FOH) de 7-8 jours est de  $13,2 \pm 0,6$  g/100g MS. Cela correspond aux valeurs annoncées par la littérature scientifique pour des FVH non fertilisés (13,6-14,7 g/100g MS). Il y a une augmentation de 21 % de la teneur pendant le processus de germination, essentiellement due à un processus de concentration lié à la perte de matière sèche.

**Amidon :** Le taux d'amidon d'une FOH de 7-8 jours est de  $17,1 \pm 0,8$  g/100g MS. On observe une perte de 70 %, entre la graine et la plantule. Cela est lié à la mobilisation des réserves de la graine pour la croissance des racines et des feuilles. Le taux d'amidon final laisse supposer un aliment moins acidogène que le grain initial.

**Cellulose et NDF :** Les taux de cellulose et NDF sont respectivement de  $12,4 \pm 0,5$  et  $33,9 \pm 1,6$  g/100g MS. Ils sont du même ordre que ceux annoncés dans la littérature scientifique. Leurs teneurs ont augmenté de 45 et 80 % respectivement pendant la germination, en lien avec le développement du système racinaire et des premières feuilles. La valeur NDF du FVH est intéressante car elle est proche des niveaux recherchés dans la ration globale (35-40 %).

**Digestibilité :** La digestibilité de la matière sèche (DMS) est de  $76,7 \pm 1,6$  g/100g MS. La digestibilité du FOH est plus faible que celle de la graine. Elle diminue de 12 % pendant la germination.

**Minéraux :** Durant le processus de germination (7-8 jours), les teneurs en calcium, cuivre et zinc restent identiques. Les teneurs en potassium (- 18 %) et chlore (- 38 %) diminuent. Les teneurs en magnésium (+ 11%), manganèse (+ 14 %), phosphore (+ 17%), fer (+ 37 %) et sodium (+ 149 %) augmentent. On soulignera la teneur élevée en sodium et phosphore dans le grain, qui augmente de manière importante durant la germination. En tant qu'ions forts, cela pourrait être bénéfique au bilan anion-cation (BACA) de la ration (cf. 4.2.3). Les teneurs en calcium, de l'ordre de  $0,07 \pm 0,0$  g/100g MS, sont inférieures aux valeurs moyennes des fourrages de l'île (0,3-0,45 g/100 g MS) et présente une carence primaire prononcée. Les teneurs en phosphore, avec une valeur moyenne de  $0,44 \pm 0,02$  g/100g MS, sont supérieures aux valeurs moyennes des fourrages de l'île (0,16-0,34 g/100g MS) et sont à la limite de la subcarence (Mandret et al, 2000). Le rapport Ca/P, de l'ordre de  $0,15 \pm 0,0$ , est déséquilibré et doit être corrigé. Les teneurs en cuivre sont faibles (carence primaire). Les teneurs en zinc et magnésium sont à la limite de la carence.

Tableau 26 : Composition chimique et valeur alimentaire de l'orge grain et hydroponique de 6 à 8 jours

	n :	Graine (2)	FVH 6j (3)	FVH 7j (3)	FVH 8j (2)
<b>Bromatologie :</b>					
MS (g/100g MB)		93,5	19,1	17,3	17,0
AMIDON (g/100g MS)		57,5	17,5	17,9	15,2
MAT. GRASSE (g/100g MS)		2,2	2,5	2,8	3,5
CENDRES (g/100g MS)		2,7	2,6	2,8	3,1
CELLULOSE (g/100g MS)		6,9	10,5	12,8	14,7
ADF (g/100g MS)		8,8	12,0	15,3	18,4
ADF (g/100g MS)		2,1	2,1	2,4	3,0
NDF (g/100g MS)		23,4	29,4	34,8	39,2
PROTEINE (g/100g MS)		10,9	12,7	12,9	14,5
DM (g/100g MS)		87,0	80,9	75,8	71,9
<b>Minéraux :</b>					
Ca (g/100g MS)		0,07	0,06	0,07	0,07
Mg (g/100g MS)		0,12	0,13	0,13	0,14
P (g/100g MS)		0,37	0,40	0,44	0,49
K (g/100g MS)		0,57	0,46	0,45	0,53
Na (mg/kg MS)		29,6	55,3	80,7	90,0
Cl (g/100g MS)		0,2	0,1	0,1	0,1
Cu (mg/kg MS)		5,0	<6	5,0	5,0
Fe (mg/kg MS)		47,0	59,0	73,3	59,5
Zn (mg/kg MS)		30,0	31,7	28,3	31,0
Mn (mg/kg MS)		20,5	22,5	22,7	25,5
<b>Vitamines :</b>					
D (ui/kg)		<150	<150	<150	<150
E (mg/kg MS)		9,4	6,6	8,0	13,3

n : nombre d'échantillons

**Vitamines :** Globalement, les teneurs en vitamines sont restées équivalentes entre la graine et la plantule. Les valeurs en vitamine E d'un FOH de 7-8 jours, sont de  $9,28 \pm 1,8$  mg/kg MS. Pour la vitamine D, elles sont inférieures à 150 ui/kg MS. Les teneurs en vitamines obtenues sont inférieures à celles citées dans la littérature scientifique. Cela pourrait s'expliquer par les conditions de culture (irrigation, éclairage) et le stade de récolte qui ne sont pas favorables à une synthèse par la plantule. L'absence de synthèse de vitamine E pourrait s'expliquer par une luminosité insuffisante pour la stimuler.

#### 4.2.2. Valeurs alimentaires

L'étude a permis de déterminer les valeurs alimentaires du FVH. Les valeurs UF et PDI (indices énergétiques et protéiques de référence dans le système de rationnement français) de ce fourrage, n'étaient pas référencées en raison de la production anecdotique de ce fourrage en France.

**Tableau 27 : Valeurs alimentaires de l'orge (*Hordeum vulgare*) grain et hydroponique de 6 à 8 jours**

	GRAIN (n : 2)	FVH 6j (n : 3)	FVH 7j (n : 3)	FVH 8j (n : 2)
UFL (u/kg MS)	1,04 ± 0,1	0,99 ± 0,0	0,97 ± 0,0	0,93 ± 0,0
UFV (u/kg MS)	1,01 ± 0,1	0,94 ± 0,0	0,92 ± 0,0	0,88 ± 0,0
PDIA (g/kg MS)	32,0 ± 1,0	37,3 ± 0,9	37,7 ± 0,9	42,5 ± 3,5
PDIE (g/kg MS)	99,5 ± 4,5	101,7 ± 1,5	102,7 ± 0,9	106,0 ± 2,0
PDIN (g/kg MS)	74,5 ± 2,5	86,3 ± 2,4	88,3 ± 2,2	99,0 ± 8,0

**Tableau 28 : Valeurs alimentaires de différents fourrages hydroponiques**

Valeur alimentaire	Orge		Blé		Maïs		Orge & lentille
	Grain (n : 2)	FOH 7-8J (n : 5)	Grain (n : 1)	FBH 7 j (n : 1)	Grain (n : 1)	FMH 11 j (n : 1)	FVH 6j (n : 1)
UFL (u/kg MS)	1,0	0,95	1,17	1,11	1,2	1,1	1,045
UFV (u/kg MS)	1,0	0,90	1,18	1,10	1,3	1,1	1,012
PDIA (g/kg MS)	32,0	40,08	28	30	60,0	68,0	49
PDIE (g/kg MS)	99,5	104,33	104	103	133,0	111,0	113
PDIN (g/kg MS)	74,5	93,67	75	82	83,0	93,0	113

Les valeurs UFV de l'orge hydroponique de 7-8 jours, varient de 0,82 à 0,91 u/kg MS, pour une valeur moyenne de  $0,92 \pm 0,02$  u/kg MS. Il y a une légère perte de valeur (8,5 %), par rapport au grain, qui est à  $1,0 \pm 0,1$  u/kg MS. Les valeurs PDIA, PDIE et PDIN de l'orge hydroponique de 7-8 jours, sont respectivement de  $38,8 \pm 1,7$ ,  $103,1 \pm 1,1$  et  $90,3 \pm 3,8$  g/kg MS. Ces valeurs augmentent avec la durée de germination (respectivement + 21, 3,6 et 21 %). L'écart PDIN/PDI diminue et tend à s'équilibrer. C'est un aliment avec une bonne concentration énergétique (91 UFV/kg MS) et un rapport PDIE/PDIN équilibré.

Les valeurs alimentaires sont différentes selon l'espèce, la variété et la durée de germination (tableau 28). Les FVH de blé de 6 jours et de maïs de 11 jours, obtiennent de meilleures valeurs UFV que celles de l'orge. L'association Orge & Lentille (70/20), de 6 jours, obtient des valeurs énergétiques et azotées très intéressantes, avec une valeur UFV de 1 u/kg MS et des valeurs PDIN et PDI très équilibrées, à 113 g/kg MS. Cela démontre l'intérêt d'évaluer différentes espèces et de travailler sur des associations céréales/légumineuses, pour obtenir des valeurs adaptées aux objectifs de production.

**Tableau 29 : Valeurs alimentaires moyennes des fourrages Réunionnais (Barbet-Massin *et al*, 2004)**

	UFL	UFV	PDIN	PDIE	PDIA
<b>Prairies :</b>					
Graminées tempérées	0,83	0,77	121	122	44
Graminées tropicales	0,74	0,67	105	113	38
Tempérées + tropicales	0,78	0,71	101	114	36
Kikuyu	0,76	0,69	105	115	38
<b>Fourrages conservés :</b>					
Ensilage graminées tempérées	0,76	0,68	81	79	/
Ensilage gr. tempérées / kikuyu	0,70	0,61	86	88	/
Ensilage de chloris	0,72	0,64	75	82	/
Ensilage de maïs	0,83	0,76	44	71	/
Foin de chloris	0,63	0,53	72	93	/
Paille de canne à sucre	0,54	0,45	25	56	/

Les valeurs énergétiques du FVH sont supérieures à celles des prairies tropicales et tempérées de la Réunion (tableau 29). Celles-ci varient de 0,72 à 0,88 u/kg MS et sont variables entre la

saison chaude et fraîche. Les valeurs PDIN et PDIE des FVH en céréale pure, correspondent aux valeurs basses de nos prairies, qui varient entre 93-128 g/kg MS et 108-128 g/kg MS respectivement. Cependant, l'association Orge/lentille obtient des valeurs équivalentes, ce qui confirme l'intérêt d'association pour ce type de production. Les valeurs énergétiques et azotées des FVH sont très supérieures à celles des fourrages conservés (ensilage, foin, paille) produits et commercialisés à la Réunion, qui varient respectivement de 0,45 à 0,83 UFV/kg MS et 25-96 PDIN et 56-96 PDIE. On remarquera que les valeurs alimentaires du maïs hydroponique (UFV : 1,1 ; PDIN : 111 ; PDIE : 93) sont supérieures à celles du maïs ensilage produit à la Réunion (UFV : 0,76 ; PDIN : 44 ; PDIE : 71).

Globalement, on a un fourrage de très bonne valeur alimentaire, supérieure aux productions locales et avec l'avantage d'être constant tout au long de l'année. On remarquera également que c'est un fourrage qui est donné vivant, sans transformation. Aussi il ne subit pas, à priori, de pertes de qualité (vitamines, minéraux, protéines) liée à la fauche, au fanage, au conditionnement (foin, ensilage) et au stockage.

#### 4.2.3. Bilan cations anions et électrolytique

L'équilibre ionique des rations peut être un facteur d'optimisation des performances des ruminants (Meschy et Peyraud, 2004). Il va influencer sur l'ingestion de matière sèche et les risques de sub-acidose métabolique (Apper-Bossard et al, 004). Cet équilibre peut s'exprimer par le bilan électrolytique ( $BE=K+Na-Cl$ ), ou par le bilan alimentaire cations-anions ( $BACA=(k+Na)-(Cl+S)$ ). Les valeurs de BACA et de BE du FOH de 7-8 jours sont respectivement de  $272 \pm 15$  et  $338 \pm 17$  mEq/kg MS. Ces valeurs augmentent de 5 % durant la germination (tableau 30), du fait de l'évolution des teneurs en Na et K et dépendent de la valeur de la semence initiale (tableau 31). Ces valeurs sont équivalentes à celles de l'herbe verte, ensilée et séchée estimées à la Réunion par Bony et Légier (2007).

Tableau 30 : Bilan « anion cation » (BACA) et électrolytique (BE) du fourrage hydroponique à différents stades

	GRAIN (n : 2)	FVH 6j (n : 3)	FVH 7j (n : 3)	FVH 8j (n : 2)
BACA (mEq/kg MS)	262	245	266	319
BE (mEq /kg MS)	327	308	332	392

Tableau 31 : Bilan « anion cation » (BACA) et électrolytique (BE)

	Orge		Blé		Maïs		Orge & lentille
	Grain (n : 2)	FOH 7-8J (n : 5)	Grain (n : 1)	FBH 7 j (n : 1)	Grain (n : 1)	FMH 11 j (n : 1)	FVH 6j (n : 1)
BACA (mEq/kg MS)	262	272	247	217	173	212	288
BE (mEq /kg MS)	327	337	310	275	225	270	357

#### 4.2.4. Bilan et perspectives

Les résultats d'analyses chimiques sont conformes aux valeurs annoncées par la littérature scientifique. Ils ont confirmés que le FVH était un fourrage de très bonne qualité nutritionnelle. Ils ont également souligné une très bonne régularité de la composition bromatologique de ce produit. Enfin, ils ont permis de définir les premières références de valeurs alimentaires, qu'il reste à préciser.

Le FVH de céréales est un fourrage riche en énergie, avec de bonnes valeurs azotées, qui pourrait être amélioré, via une augmentation des teneurs et un léger rééquilibrage du rapport PDIN/PDIE. C'est un point qui peut être amélioré en travaillant sur l'itinéraire technique (fertilisation, éclairage, irrigation) et sur l'association de graines, aux propriétés énergétiques et azotées complémentaires (valeur énergétique, taux de protéines, teneurs en minéraux et

vitamines). Les associations céréales - légumineuses apparaissent comme très prometteuses. L'utilisation du maïs, comme base de mélanges, pourrait être intéressante, de par sa richesse en amidon, et de la possibilité d'une importation à bas coûts de Madagascar. Le processus de production du FVH pourrait permettre potentiellement, de maîtriser et de moduler les apports énergétiques et azotés, en fonction du fourrage de base et de ses variations, du type d'animaux et de production et des objectifs de performances. On peut donc parler ici de complémentation fourragère.

#### 4.3. COÛTS DE PRODUCTION DU FOURRAGE HORS SOL

Cette sous partie présente les résultats d'un travail de simulation des coûts de revient de la production de fourrage hydroponique. Le détail des calculs est présenté en Annexe 4.

##### 4.3.1. Coûts de production du FVH à la Réunion

Le coût de production du fourrage vert hydroponique a été défini pour cinq types d'unités :

**Tableau 32 : Caractéristiques du matériel hydroponiques sélectionné**

MATERIEL	Production (t MB/an)	Taille bâtiment (m <sup>2</sup> )	Consommation				
			Graines (t/an)	Electricité (kW/an)	Eau (m <sup>3</sup> /an)	Prod. entretien (l/an)	Main d'œuvre (h/j)
EULEUSIS EC2T	28	20	7	3650	91	182,5	00:45
EULEUSIS EC6T	118	50	30	3650	274	365	01:00
EULEUSIS EC9T PREMIUM	178	85	46	12775	548	547,5	02:00
FODDER FT 500 PREMIUM	214	120	55	12775	128	365	01:00
FODDER FT 1000	427	200	110	12775	256	547,5	02:00

celle utilisée dans le cadre de l'étude (module Eleusis EC2T), ainsi que quatre unités de production adaptées aux tailles d'exploitations de la Sicarévia (tableau 32).

Pour déterminer le coût de production pour ces différents types de matériel, il a été pris en compte le coût d'investissement et les charges d'utilisation et d'entretien des unités de production. Il a été pris comme hypothèses de départ que i) l'investissement bénéficie aides publiques à hauteur de 70 % sur l'ensemble de l'unité de production, ii) l'achat de graines bénéficie d'une aide à l'importation RSA à hauteur de 71,5 € la tonne.

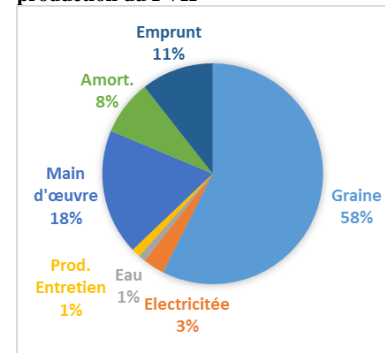
**Tableau 33 : Coûts de revient du FVH :**

Unité	Production (t MB/an)	Coût (€/an)	Coût à la tonne	
			(€/t MB)	(€/t MS)
EULEUSIS EC2T	28	6 409	228	1 200
EULEUSIS EC6T	110	18 143	166	872
EULEUSIS EC9T	183	30 286	166	873
PREMIUM FODDER FT 1000	365	57 849	158	834
PREMIUM FODDER FT 500	183	29 949	164	864

On obtient un cout de revient qui varie de 158 à 228 €/t MB. Le prix est le plus élevé pour la cabine EC2T. C'est un résultat attendu, car on utilise une technologie sophistiquée pour réguler l'ambiance de culture (température, humidité, éclairage), pour une production réduite. Pour ce niveau de production (moins de 100 kg/jour), il serait préférable d'investir dans des systèmes sous serre ou ombrière où l'éclairage est naturel et la gestion de la température et du renouvellement de l'air peut se faire de manière manuelle et mécanique. Plus on monte en production, plus les coûts de revient sont réduits. Aussi, avec un module d'une capacité de production de 1000 kg/jour, on arrive à un prix de revient de 158 € la tonne de matière brute.

Les deux principaux postes de charge (graph. 1) sont le grain (58 %) et la main d'œuvre (18 %). Le grain représente la principale dépense. Celui-ci étant importé, faute de production locale conséquente, le coût de transport pèse beaucoup sur le coût d'achat (46 % avec RSA, 65 % sans RSA). Dans le cadre de l'étude, pour des raisons techniques et pratiques, le coût d'achat des semences n'a pas été optimisé (fournisseur métropolitain, graine de qualité brassière, achat de petites quantités, conditionnement en sac). C'est un poste de dépense qui peut être abaissé, en jouant sur l'espèce, la qualité (alimentaire, fourragère) et l'origine des graines (Madagascar, Afrique, Australie), le conditionnement (big bag, conteneurs) et les volumes commandés. Si le coût d'achat de la graine pouvait être réduit à 200 € la tonne, contre 333 actuellement, le coût de revient du FVH serait abaissé à 105 €/t MB (555 €/t MS). Cela le rendrait plus intéressant par rapport aux autres productions fourragères de l'île (§ 4.3.2). Le coût de la main d'œuvre peut également être abaissé en sélectionnant des systèmes de production plus ergonomiques, et demandant moins de manipulations que ceux utilisés dans le cadre de l'évaluation. Le système utilisé pour l'étude (tech. Eleusis) semble mal adapté à des niveaux de production « élevage » car il demande beaucoup de manipulation des plateaux de culture. Sur de grosses unités de production (> 10 tonnes jour), ce frein est levé par le fabricant, en automatisant la chaîne. La technologie commercialisée par Premium Fodder, à plateaux fixes, semble plus ergonomique pour une production en élevage.

Graphique 1 : Postes de charges du coût de production du FVH



#### 4.3.2. Comparaison avec les productions locales

Le coût de revient moyen du FVH (164 €/ t MB) est 2,4 fois supérieur à celui d'une prairie de kikuyu (tableau 34), à taux de matière sèche équivalent. Le coût de revient du FVH, ramené à la matière sèche (834 €/t MB), est beaucoup plus élevé que ceux des fourrages conservés commercialisés localement.

Tableau 34 : Prix de production/d'achat du fourrage commercialisé à la Réunion

FOURRAGE	MS (%)	Prix (€/ t MB)	Prix (€/ t MS)
Prairie kikuyu	15	68	453
Ensilage	40	185	463
Foin Chloris	85	320	376
Foin Luzerne import	90	490	544
Paille de canne	85	110	129

Tableau 35 : Coût de l'UFV ou de la protéine produite, par type de fourrage.

	UFV (€/u)	Protéine (€/kg)
FVH	0,92	6,24
Prairie kikuyu	0,62	2,40
Ensilage	0,70	4,47
Foin Chloris	0,56	2,89
Paille de canne	0,29	2,04
BV58	0,45	2,47
BV 82	0,39	3,14
BV 60	0,45	1,97

Le coût de l'unité d'UFV produite est de 0,92 € (tableau 35). On a toujours un prix supérieur à ceux des productions locales. De même que pour le kilo de protéines produit, qui est à 6,24 €. Il est à noter que les coûts de revient des fourrages produits à la Réunion n'ont pas été réactualisés depuis 11 ans.

Les résultats de l'étude ont démontré une qualité fourragère du FVH supérieure à celle des fourrages locaux. Cela pourrait justifier un surcoût dans certaines situations.

#### 4.3.3. Perspectives d'améliorations

Il est à souligner qu'à ce jour, les coûts de production du FVH, tels qu'ils ont été déterminés dans le cadre de l'étude, ne sont pas optimisés. Et qu'il y a là un gain de rentabilité à ne pas négliger. Le type d'appareil et son dimensionnement va fortement influencer le coût de revient final, en impactant l'investissement et le coût de production (intrants, main d'œuvre,



rendements). C'est un point à regarder dans le détail pour déterminer le modèle d'unité de production le plus adapté aux besoins des élevages bovins locaux. Deux options n'ont pas été explorées :

- 1) La conception d'usines qui alimenteraient plusieurs élevages (CUMA, société), ce qui permettrait d'abaisser les coûts par un effet d'économie d'échelle.
- 2) Pour les petits ateliers (< 10 vaches/ 50 brebis), l'auto construction d'unités de production sous serre ou ombrière, sans régulation automatisée de la température et de l'humidité, pourrait être plus économique, en réduisant les coûts d'investissement (coûts d'unité moins importants, pas d'emprunt).

La comparaison des coûts de production du FVH avec ceux des systèmes fourragers locaux reste difficile compte tenu de l'absence de référentiel local récent.

#### 4.4. ALIMENTATION DU BETAIL ET RESULTATS ZOOTECHNIQUES

Cette sous partie présente la synthèse des différents essais alimentaires réalisés dans le cadre de l'étude. Les rapports d'essais détaillés sont présentés en annexes 5, 6 et 7.

##### 4.4.1. Consommation des animaux

Il ressort des différents essais conduits en élevage, que le FVH est très appétent. Il a été rapidement accepté par les animaux (1-2 jours), et peu de refus ont été observés.

Le FVH a été consommé différemment selon la proportion à laquelle il a été apporté dans la ration. Au-delà de 25 % des besoins en fourrage couverts par le FVH, il a été observé une diminution de la consommation de foin. A hauteur de 20 % pour les vaches allaitantes de la SEDAEL, de 29 % pour les taurillons du GAEC REBOULE et -31 % pour le lot d'agneaux. Pour l'EARL PICARD où le FVH représentait 21 % des besoins en fourrage, la consommation de foin a été identique au lot témoin, et donc, l'ingestion globale de fourrage et de matière sèche a été plus importante (respectivement + 14 % et + 12%). La présence ou l'absence d'écart de consommation de foin entre les lots FVH et témoins, peut s'expliquer par la quantité de FVH apportée, qui devient suffisante pour impacter la capacité d'ingestion des animaux. Cela vérifiait que le fourrage hydroponique à une valeur d'encombrement. On peut se demander si cette différence est liée au type génétique des animaux, ou si cela est dû à la proportion à laquelle est apporté le FVH dans la ration.

Selon les situations, la consommation globale de matière sèche journalière est impactée ou non par l'ajout de FVH. Pour le lot FVH du GAEC REBOULE, le FVH vient se substituer au foin et la consommation totale de matière sèche est équivalente. Pour le lot de l'EARL PICARD, le FVH s'ajoute à la ration de base et l'ingestion globale de matière sèche est plus importantes (+ 12 %). Pour le lot de vaches de la SEDAEL et le lot d'agneaux, la matière sèche totale ingérée est diminuée pour le lot FVH (respectivement - 14 et - 8 %) du fait de la baisse de consommation de foin.

Pour l'essai sur vaches de la SEDAEL, il a été observé des indices de consommation des animaux meilleurs pour le lot FVH. L'indice de consommation en matière sèche était inférieur de 18 % au témoin et l'indice de consommation en UF était inférieur de 15 %. Ainsi, pour une même quantité de matière sèche et d'énergie, il a été obtenu une meilleure croissance des animaux. Pour les essais en engraissement, les écarts étaient moins marqués.

En engraissement le manque de données sur la consommation journalière de foin des animaux n'a pas permis une analyse fine de la qualité chimique et nutritionnelle de la ration ingérée. Globalement, l'ingestion en UFV et PDI des lots de taurillons du GAEC REBOULE, et des lots d'agneaux sont équivalents. Pour l'EARL PICARD, le lot FVH a un apport journalier supplémentaire de 1 UFV et de 102 g de PDI. Il ressort de ces essais que la complémentation n'était pas la plus appropriée et qu'il y avait un « gaspillage » d'azote, lié à un mauvais équilibre PDI/UFV. Dans le cas de l'essai sur vache réalisés à la SEDAEL, le FVH a été substitué à 3 kg d'aliment pour vache (BV58) à « matière sèche équivalente » (apports azotés et énergétiques des rations équivalents) et la consommation de foin a été plus faible. On observe des résultats équivalents au lot témoin, voire légèrement supérieurs (prise de poids : + 10 %). On a donc bien un fourrage très riche et une ration qui est globalement mieux assimilée et mieux valorisée par les animaux. Tout cela en augmentant la part du fourrage dans la ration.

Pour tous les essais, l'apport de FVH a induit une diminution de la consommation d'eau à l'abreuvoir, équivalente à la quantité d'eau que le fourrage contenait.

#### 4.4.2. Performances de croissance des ruminants

Il a été observé, sur tous les essais sur bovins, une tendance à une meilleure croissance pour les lots FVH. Celle-ci était plus rapide et légèrement plus importante. Pour les essais en engraissement (tableau 36) où le FVH était apporté en plus de la ration de base on a observé un GM<sub>essai</sub> respectivement supérieur de + 3% (38 g) et + 15 % (+ 218 g/j) pour le GEAC REBOULE et l'EARL PICARD.

**Tableau 36 : Résultats zootechniques des lots en engraissement évalués**

	EARL PICARD			GAEC REBOULE		
	Témoin	FVH	Signifi. (*0,05)	FVH	Témoin	Signifi. (**0,01, ***0,1)
Durée de l'essai (jour)	149 jours			203		
Age à l'abattage (mois)	16 mois			18 mois		
Poids début d'essai (kg)	421 ± 18	443 ± 13	NS	302,5 ± 18,4	326,5 ± 7,7	NS
Poids vif abattage (kg)	632 ± 24	649 ± 18	NS	591 ± 11,6	608 ± 16,4	NS
Croissance (kg)	176 ± 5	202 ± 22	NS	289 ± 16	281 ± 10	NS
Classe	6,6 ± 0,24	6,8 ± 0,20	NS	5,9 ± 0,2	6,3 ± 0,2	**
GMQ/ période essai (g/jour)	1441 ± 44	1659 ± 182	NS	1423 ± 80	1385 ± 50	NS
Poids de carcasse (kg)	391 ± 14	417 ± 16	NS	358 ± 9	355 ± 14	NS
Rendement carcasse (%)	62 ± 0,95	64 ± 0,77	*	60,7 ± 0,7	58,8 ± 1,2	NS
Conformation (a)	13,8 ± 0,2	13,4 ± 0,24	NS	14 ± 0,22	13 ± 0,33	***
Etat d'engraissement (b)	7,6 ± 0,24	6,8 ± 0,25	NS	8 ± 0,22	7 ± 0,17	NS

(a) 13 : U- ; 14 : U= ; 15 : U+ ; (b) 6 : 2+ ; 7 : 3- ; 8 : 3= ; 9 : 3+

Pour l'essai sur vache, il a été observé un écart de 104 g au bénéfice du lot FVH, soit un gain de 10 % par rapport au témoin. Pour les essais de la SEDAEL et du GAEC REBOULE, l'ingestion en UFV et PDI était équivalente pour les deux lots. Pour l'essai de l'EARL PICARD, il y avait un apport légèrement supérieur en UFV et PDI. Ces résultats laissent supposer qu'il y a une meilleure assimilation et valorisation de la ration pour les lots FVH.

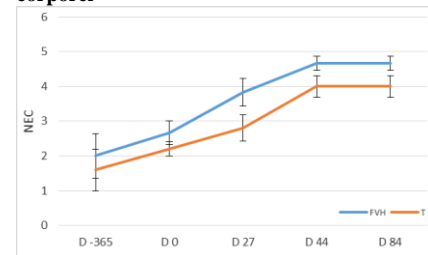
Pour les essais sur agneaux, on note un écart de 13 g, non significatif (tableau 37), en faveur du lot FVH. On observe une tendance à un GMQ légèrement supérieur alors que les animaux ont eu une ingestion en énergie et protéines plus faible, liée à une consommation inférieure en foin.

**Tableau 37 : Résultats zootechniques des lots d'agneaux**

Lot	Témoin	FVH	Significativité
Durée de l'essai (jour)	49-137		
Age à l'abattage (jour)	201 ± 6	200 ± 7	
Poids début d'essai (kg)	21,9 ± 0,7	22,5 ± 0,9	NS
Poids vif abattage (kg)	45,9 ± 0,7	46,9 ± 0,5	NS
Croit (kg)	23,9 ± 0,8	24,4 ± 0,8	NS
GMQ (g/jour)	257 ± 13	270 ± 15	NS
Poids de carcasse (kg)	21,8 ± 0,3	22,5 ± 0,2	NS
Rendement carcasse (%)	47,6 ± 0,7	47,9 ± 1,1	NS

Il a été observé, pour l'essai sur vaches allaitantes de la SEDAEL que la reprise d'état a été plus rapide pour le lot FVH (graphique 2). Alors que les notes initiales étaient de 2= et 2+ pour le lot témoin et FVH, au bout de 27 jours, elles étaient de 3- pour le lot FVH, contre une note 2+ pour le témoin (différence statistiquement significative). Au bout de 44 jours d'essai, les NEC moyennes étaient de 3= et 3-, respectivement pour le lot FVH et témoin (écart non significatif). Ces notes se sont maintenues jusqu'au 84<sup>e</sup> jour d'essai, ainsi que l'écart entre les deux lots.

Graphique 2 : Evolution de la note d'état corporel



1 : 2- ; 2 : 2= ; 3 : 2+ ; 4 : 3- ; 5 : 3= ; 6 : 3+

Sur les deux essais en engraissement de taurillon, il a été observé, une quinzaine de jours après le début de l'essai, que les lots FVH paraissaient plus typé viande avec des meilleurs dessus (épaules, dos, et épaisseur de dessus) et un arrondi de culotte plus marqué. Les lots témoins étaient plus typé élevage avec une note d'état moins importante. Visuellement, les animaux des lots FVH avaient un dos plus large et plus plein. Ils étaient plus massifs et musculairement plus denses. Il a été fait les mêmes observations pour les vaches de la SEDAEL. Sur taurillons, ces observations ont été validées par un rendement carcasse plus élevé (+ 2%), pour les deux essais.

Pour tous les animaux FVH, il a été observé, au bout de 10-15 jours, une modification de l'aspect visuel de leur robe, avec un poil plus brillant.

#### 4.4.3. Résultats à l'abattoir

Pour les essais sur agneaux il n'y a pas eu de différenciation entre les lots au niveau du poids et du rendement des carcasses. Faute de pointeur certifié, il n'y a pas eu de notation sur la qualité des carcasses. Cependant, il a été observé une tendance à des carcasses plus grasses pour le lot FVH. Cela pourrait traduire un déséquilibre au niveau de la ration et un excès d'énergie.

Pour les essais sur taurillons, les poids de carcasse des lots comparés étaient similaires pour les deux essais. Mais il a été observé des rendements carcasse supérieur de 2-2,3 % pour les lots FVH, dans les deux cas. Ce résultat traduit une densité musculaire plus importante, qui vient valider les observations visuelles.

Les résultats de conformation et de note de gras diffèrent pour les deux essais. Pour les essais réalisés à l'EARL PICARD, les notes sont équivalentes pour les deux lots, voire légèrement inférieures pour le lot FVH. Alors que pour le lot FVH du GAEC REBOULE, on obtient une meilleure conformation des animaux et une meilleure note de gras. Cela peut s'expliquer par une complémentation différente en aliment et FVH (proportion BV 60/82, FVH) au cours de l'essai, et par le type génétique de chaque élevage. Les lots FVH présentaient une couche de gras répartie de façon plus homogène sur l'ensemble de la carcasse, comparativement aux lots témoins où le gras était plutôt réparti sur le dos. Le développement musculaire est meilleur pour les lots FVH. L'engraissement des carcasses est meilleur et réparti de façon plus homogène. Ces résultats peuvent s'expliquer par une fabrication de muscle plus rapide des animaux des lots FVH qui auraient atteint plus tôt leur plateau de croissance, ce qui aurait permis un dépôt plus long et plus homogène de gras autour de l'animal. Globalement, on observe des carcasses plus homogènes sur les lots FVH.

Des carcasses de taurillons ont été confiées à un expert Boucher. Celui-ci a observé, comparativement à la carcasse témoin et aux carcasses qu'il a l'habitude de travailler : un

rendement en viande plus important sur la carcasse FVH. Une viande de couleur légèrement plus claire, avec un grain plus fin et moins exsudative, une viande légèrement moins persillée mais sans impact sur le goût et le fondant, enfin, une meilleure tenue en rayon.

#### 4.4.4. Performances reproductrices des ruminants

Un essai a été réalisé sur 6 lots de 10 brebis allaitantes. Les 6 lots ont été mis à la reproduction à 15 jours d'intervalle. Dans chaque lot, 5 animaux identifiés étaient nourris avec 3 kg de FVH (à 18 % de MS), en plus de la ration de base (paille de canne et ensilage à volonté, aliment pour mouton selon la pratique de l'éleveur). Les animaux ont été suivis de la pause d'éponge au sevrage des agneaux. Le FVH a été apporté 15 jours avant la lutte, 1 mois avant l'agnelage, et jusqu'au sevrage. La prolificité des brebis a été similaire.

Sur la durée de l'essai (pose d'éponge-sevrage), les GMQ moyens des deux lots sont de  $-11,4 \pm 4,3$  g/jour et  $-1,8 \pm 5,6$  g/jours respectivement pour le lot témoin et le lot FVH. Il y a une tendance à perte de poids légèrement plus importante pour le lot témoin (9,6 g/ jours).

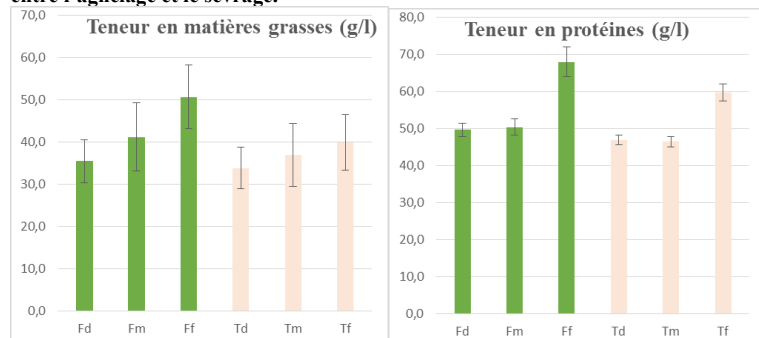
Les agneaux ont été suivis de la naissance au sevrage. On n'observe pas de différence significative entre les deux lots. Le poids des agneaux à la naissance sont équivalents. La croissance des agneaux est similaire. De même, il n'a pas été observé de différences au niveau de la mortalité des agneaux. Les lots n'étant pas séparés au sein de la bergerie, il a été observé que les agneaux avaient tendance à aller téter d'autres mères. Cela peut être une explication de l'absence de différenciation entre les croissances. Il n'y a pas eu de relevé systématique des agneaux morts nés, ce qui fausse pour partie la prolificité et la mortalité.

Des analyses de lait ont été effectuées en début, milieu et fin de lactation (graphique 3). Il apparaît que le lait des brebis FVH est en moyenne (tableau 38) plus riche en matière grasse et en protéines (+ 17,5 et 13 %), et légèrement plus pauvre en lactoses (- 1 %). La teneur en matière grasse du lait des brebis (graph. 2) augmente entre l'agnelage et le sevrage. Cette augmentation est plus importante pour le lot FVH (+ 43 % contre +18 %). De même, la teneur en protéines du lait augmente entre l'agnelage et le sevrage et cette augmentation est plus importante pour le lot FVH (+ 37 % contre + 24 %). Il est possible que l'écart de composition du lait ne soit pas suffisant pour observer une différenciation de la croissance des agneaux.

**Tableau 38 : Résultats d'agnelage par lot**

Lots	Global	Témoin	FVH
Nbr agneaux née	97	51	46
Petit par brebis	$2,2 \pm 0,1$	$2,2 \pm 0,1$	$2,2 \pm 0,1$
Mortalité	16	8	8
Poids naissance	$3,99 \pm 0,1$	$4,03 \pm 0,14$	$3,95 \pm 0,14$
Poids 30 jours	$8,06 \pm 0,2$	$7,98 \pm 0,3$	$8,15 \pm 0,3$
GMQ 30 jours	$134 \pm 7$	$129 \pm 9$	$139 \pm 10$
Poids 70 jours	$14,21 \pm 0,4$	$14,07 \pm 0,45$	$14,37 \pm 0,45$
GMQ 70 jours	$146 \pm 14$	$142 \pm 6$	$149 \pm 6$
Nbr agneaux final	81	43	38

**Graphique 3 : Evolution des teneurs en matière grasse et protéines du lait de brebis, entre l'agnelage et le sevrage.**



F\* : lot FVH ; T\* : lot témoin ; \*d : 1 semaine après l'agnelage ; \*m : après 1 mois ; \*f : au sevrage

**Tableau 39 : Composition moyenne du lait**

Teneur (g/l)	Témoin	FVH
Matière grasse	$36,71 \pm 2,74$	$43,12 \pm 2,74$
Protéines	$51,53 \pm 1,44$	$58,26 \pm 1,44$
lactose	$53,33 \pm 1,15$	$50,12 \pm 1,15$

Les résultats obtenus sont difficiles à interpréter en l'absence de suivi de la consommation de paille de canne des animaux. L'absence de différenciation entre les lots, malgré un apport en plus du FVH, peut s'expliquer par une consommation inférieure en foin qui impacterait les apports en énergie et protéines ou par un déséquilibre au niveau de la complémentation.

Lors d'un essai préliminaire réalisé sur des primipare nourries avec du FVH de blé, il avait été observé une différenciation visuel des agneaux en faveur du lot FVH. Il est probable que le type de graine ait un impact sur la réaction des animaux. En effet, le FVH de blé est plus riche en amidon (+ 12 g/100g MS) il présente une meilleure digestibilité de la matière sèche (+ 12,8 g/100g MS) et une valeur UF plus élevée (+ 0,14 uf / kg). Il est également plus riche en fer et manganèse (Tableau 40). Cela souligne l'importance de travailler sur différents types de graines.

**Tableau 40 : Composition chimique et valeur alimentaire de l'orge et du blé hydroponique de 7 jours**

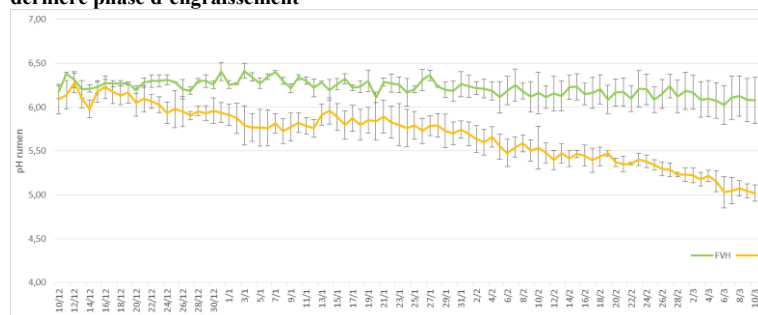
	FVH	Orge	Blé
<b>Bromatologie :</b>			
MS (g/100g MB)	17,8	23,5	
Amidon (g/100g MS)	16,8	29,1	
Mat. Grasse (g/100g MS)	2,9	1,9	
Cellulose (g/100g MS)	12,7	6,3	
NDF (g/100g MS)	34,5	22,3	
Protéines (g/100g MS)	13,4	12,3	
DMS (g/100g MS)	76,2	89,0	
<b>Minéraux :</b>			
Fe (mg/kg MS)	63,00	78	
Mn (mg/kg MS)	23,00	40	
<b>Valeur alimentaire :</b>			
UFL (u/kg)	0,96	1,11	
UFV (u/kg)	0,91	1,10	
PDIE (g/kg MS)	103	103	
PDIN (g/kg MS)	91	82	

#### 4.4.5. Santé et le bien-être des animaux

**Effets sur le pH du rumen :** pour les essais en engraissement réalisés au GAEC REBOULE, il a été placé des capteurs de pH ruminal sur trois animaux par lot, sur la phase de finition (90 jours). Sur les derniers 46 jours de l'essai, les animaux ont été nourris avec une base d'ensilage de kikuyu. Le remplacement du foin par de l'ensilage a abaissé le taux de fibres des rations. Les taux de cellulose et de NDF sont passés en dessous des recommandations pour une bonne rumination (respectivement > 18 %, et > 35 %) et présentaient un risque d'acidose. Il a été observé une évolution différenciée du pH du rumen, suite à ce changement de base fourragère. Le pH du lot FVH est resté stable, alors que celui du lot témoin s'acidifiait. Sur cette période, les valeurs moyennes du pH ruminal des lots témoins et FVH étaient respectivement de  $5,68 \pm 0,02$  et  $6,22 \pm 0,02$ . La différence observée entre les deux lots ( $-0,54 \pm 0,01$  pour lot témoin, soit - 9 %) est significative d'un point de vue statistique.

Sur la période de suivi (graphique 4), on observe un maintien du pH ruminal du lot FVH alors que celui du lot témoin diminue (- 1 point), pour atteindre une valeur qui peut présenter un risque d'acidose (> 5,5). Au cours de la journée, on observe, pour les deux lots (graphique 5), une diminution du pH après les deux repas de concentrés et FVH (~ 6h et 14h), suivi d'une stabilisation et une remontée du pH. Au cours de la journée, le lot FVH va présenter un pH inférieur à 6, en moyenne 3h 50 min par jour, pour une durée maximum de 3 heures. Le lot témoin va présenter un pH inférieur à 6, en moyenne 21h40 par jour, soit 82 % de temps de plus que le lot FVH. Le pH est supérieur à 6, entre 5 et 7 heures du matin, avant le repas.

**Graphique 4 : Evolution du pH du rumen des lots FVH et témoin (T) durant la dernière phase d'engraissement**

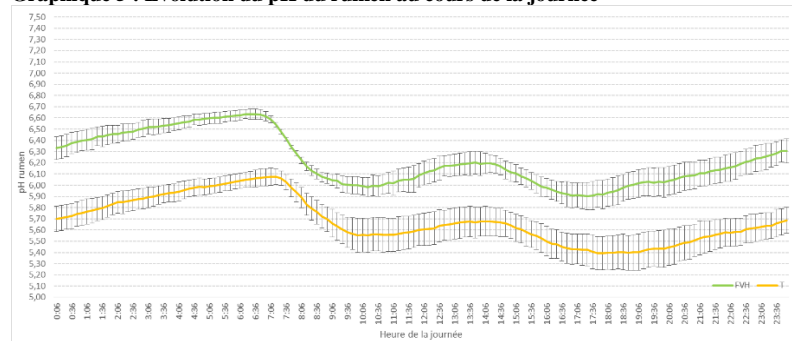


Aucun signe extérieur d'acidose n'a été observé chez les animaux du lot témoin (baisse d'appétit, diarrhée, boiterie, météorisation). Il a été cependant observé une chute de GMQ pour

un des trois animaux suivis, de 1067 à 343 g/jour, celui qui présentait la diminution et la variation la plus importante de pH ruminal. La diminution du pH ruminal observée sur le lot témoin, intervient au moment où il y a eu un changement de fourrage. Le foin de chloris a été remplacé par de

l'ensilage. Cela a modifié la composition chimique de la ration (taux de cellulose, NDF, taux de sucre) et a augmenté le risque d'acidification du pH du rumen. La différence d'évolution du pH observée sur les deux lots pourrait s'expliquer par une action mécanique du FVH. Les animaux ruminent le FVH alors que l'aliment concentré est directement ingéré. Le FVH augmenterait la rumination et donc la production de salive (riche en bicarbonate et phosphate de sodium), d'où un pouvoir tampon plus important sur le pH ruminal. Elle peut s'expliquer également par une digestion plus lente et une concentration en Acides gras volatils (ACV) moindre par rapport au lot témoin. Enfin, les graines germées sont connues pour leurs fortes teneurs en enzymes digestives. Elles pourraient également jouer un rôle sur le maintien du niveau de pH observé. C'est un point qu'il serait pertinent d'approfondir à travers de nouveaux tests.

Graphique 5 : Evolution du pH du rumen au cours de la journée



**Effets sur le taux de cortisol sanguin :** Dans le cadre des essais sur vache allaitante, réalisés à la SEDAEL, un suivi du taux de cortisol sanguin a été effectué, en tant qu'indicateur du stress des animaux. Les taux de cortisol sanguin sont élevés en début d'essai, ce qui peut traduire un stress des animaux. Plusieurs d'entre eux dépassent un taux de 100 ng/ml. Or, un taux à 155 ng / ml peut inhiber l'ovulation chez la vache, via un arrêt du développement folliculaire (Moberg et Stoebel, 1980). Au bout de 46 jours d'essai, il y a une évolution significative du taux de cortisol sanguin qui a diminué pour les deux lots. On observe une nette diminution du taux de cortisol des animaux, qui est significativement plus importante pour le lot FVH (- 87 %, contre - 59 % pour le lot témoin). Le taux de cortisol moyen du lot FVH est de  $9,3 \pm 2$  nmol/l, il est significativement inférieur à celui du lot témoin (- 81 %). Cela peut laisser entendre des animaux moins stressés, avec potentiellement moins de problème de blocage d'ovulation.

Tableau 41 : Bilan sanguin des animaux

Cortisol (nmol/l)	Réf.	Témoin	FVH
J 0	6,4 – 44,5	117,4 ± 49,4	69,5 ± 24,5
J 46		48 ± 20,8	9,3 ± 2

#### 4.4.6. Coûts de rationnement

En engraissement où le FVH a été apporté en plus de la ration de base, sans ajustement de concentrés, on observe des résultats économiques différents selon la réponse des animaux à cette alimentation. Dans le cas de l'EARL PICARD, l'introduction du fourrage hydroponique dans l'alimentation, induit un surcoût de 28 % (0,99 € par animal et par jour). Celui-ci est compensé, presque totalement, par le gain lié à la vente d'animaux dont le rendement carcasse est meilleur (+ 6 %, soit 135 € par carcasse). On obtient ainsi un écart de 0,3 % sur la marge brute finale. Dans le cas du GAEC REBOULE, l'introduction du FVH dans l'alimentation, induit un surcoût de l'alimentation de 20 % (+1,1 €/JB/jour). Celui-ci est compensé en partie,

par le gain lié à la vente d'animaux avec un meilleur rendement carcasse (+ 2 % ; soit + 35,9 € par carcasse). On obtient ainsi un écart de 8 % sur la marge brute finale, en faveur du témoin. Il est à noter qu'il n'y a pas eu d'ajustement des concentrés par rapport à la valeur alimentaire du FVH. Chose qui devrait être faite normalement et devrait compenser en partie le surcoût, mais pourrait également influencer sur les performances des animaux.

Dans le cas des essais menés à la SEDAEL, sur vaches allaitantes, les doses de concentrés ont été ajustées en fonction des valeurs alimentaires du FVH et diminuées de 3 kg par vache et par jour. Le FVH représente un surcoût de 1 €/va/j sur la ration. Ici, il n'y a pas de vente des animaux pour compenser le surcoût. Aussi, pour cet essai, l'utilisation du FVH représente, un surcoût qui n'est pas totalement compensé par un coût d'aliment et de foin plus bas. Cependant, il faut observer que l'on a obtenu une reprise d'état beaucoup plus rapide que pour le lot témoin. Le lot FVH aurait pu être mis à la reproduction dès le 30<sup>e</sup> jour d'essai, contrairement au lot témoin. Cela aurait représenté une économie de 317 € sur l'alimentation, ainsi qu'un gain de temps de 60 jours sur le cycle de reproduction et la production et la vente de veaux.

Les résultats économiques des essais en élevage démontrent qu'il y a un travail d'ajustement à faire sur les rations, pour trouver le juste équilibre technico-économique. Il faut noter également, qu'à ce jour, les coûts de production du FVH, tels qu'ils ont été déterminés dans le cadre de l'étude, ne sont pas optimisés. Et qu'il y a là un gain de rentabilité à ne pas négliger.

#### 4.4.7. Perspectives d'amélioration

Ces essais ont mis en avant un certain nombre de points positifs et de questionnements. Il y a une réflexion à mener sur l'utilisation de ce fourrage. Il serait ainsi souhaitable de renouveler l'expérience, en testant différents niveaux d'apport de FVH, en ajustant le type et le niveau de complémentation, avec un suivi plus précis de l'alimentation. Il serait également intéressant de renouveler l'essai avec d'autres types de fourrage (paille de canne, ensilage, pâture), ou d'autres types d'animaux. On peut tout de même déjà en tirer quelques conclusions :

**En engraissement :** Compte tenu du coût actuel de ce fourrage, il n'est peut-être pas approprié de l'apporter tout au long de l'engraissement, mais peut être sur des phases clés. C'est un fourrage qui à priori pourrait être intéressant en finition sur le dernier tiers de l'engraissement. Il a été observé un effet positif sur le dépôt de gras, qui le rend intéressant en finition. De plus, si l'effet « tampon » sur le pH ruminal du FVH se confirme, il pourrait être très pertinent sur cette phase à risques, en terme d'acidose. Il pourrait être ajouté à la ration de croissance, à partir de 450-500 kg de poids vif. Il reste à définir à quelle hauteur il peut être apporté dans la ration et avec quelle complémentation, dans l'objectif d'un juste équilibre technico-économique. Dans le nouveau plan Révia, qui prévoit l'engraissement de jeunes bovins laitiers, la piste du FVH peut être intéressante de par l'amélioration de la conformation des animaux. Cette piste a été mise en avant par les bouchers qui ont travaillé les carcasses hydroponiques, pour l'amélioration des carcasses de ce type d'animaux (classement supérieur).

**En production :** Le FVH apparaît plus approprié pour l'alimentation de vaches et de jeunes reproducteurs. De par la régularité de sa composition, il serait mieux valorisé sur un usage continu. La régularité de la composition bromatologique et de la valeur nutritive de ce fourrage, en fait un aliment très approprié pour des animaux en lactation. Notamment pour les laitiers qui nécessitent une alimentation équilibrée et continue. Ce fourrage a également montré son intérêt pour la remise en état des animaux (réformes, primipares). Le cheptel réunionnais est

vieillissant et la productivité numérique un peu faible, notamment pour des raisons d'irrégularité de l'affouragement, en quantité et qualité, dans le temps. Apporter de manière continue un fourrage stable, riches en enzymes, minéraux et vitamines pourrait être un moyen d'action. Il serait approprié de réaliser un essai sur vache allaitante en pâture, sur tout un cycle de production, de la préparation à la reproduction, au sevrage du veau. Il serait également judicieux d'évaluer ce fourrage sur un cycle de lactation de vaches laitières, afin de voir l'impact sur la production de lait, la qualité de ce lait, et les risques d'acidose.

**Mode d'affouragement :** C'est un fourrage qui est intéressant, grâce à sa valeur PDIE/PDIN équilibrée, et cela malgré une valeur UF un peu faible. Celle-ci pourrait être améliorée, en jouant sur le type de graine et des mélanges d'espèces. Un apport journalier minimum entre 20 et 30 % des besoins en fourrage apparaît comme le plus pertinent pour avoir un effet sur l'animal. A priori, ce serait un aliment à associer de préférence à un fourrage à valeurs NDF et cellulose élevées, soit un fourrage sec, tel que de la paille de canne ou du foin. Grâce à sa teneur en eau élevée, il pourrait permettre d'augmenter l'ingestion totale de matière sèche, en abaissant le niveau global de la ration. Il serait préférable de le raisonner avec la ration de base, afin d'ajuster le(s) concentré(s) en conséquence. Il reste à définir dans quelles proportions il peut être apporté et avec quel type de concentrés.

En conclusion, le fourrage hydroponique pourrait être une voie intéressante à explorer sur le département. Il pourrait pallier une partie du manque de fourrage, à condition de l'utiliser sur les animaux les plus appropriés. Il reste à définir sur quel type d'animaux l'utiliser, à quelles proportions et avec quelle complémentation, pour avoir les meilleurs résultats technico-économiques possibles.



#### 4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La technique de production de fourrage hors sol est une **production intensive de fourrage**. Elle permet une production de biomasse importante, à grand renfort de graines de céréales. Elle pourrait représenter une option de production de fourrage, dans un contexte de pénurie en surfaces fourragères, si, et seulement si, un certain nombre de leviers techniques et économiques étaient levés.

D'un **point de vue Agronomique**, la technique de production de fourrage hydroponique est viable. Elle permet d'intensifier la production et de produire un fourrage en **quantité et qualité définies, connues et constantes**. Cela peut représenter un levier éventuel pour sécuriser la production de biomasse et améliorer la qualité du fourrage proposé aux animaux. Il reste cependant à approfondir la connaissance technique de cette production, afin de pouvoir améliorer et optimiser les rendements, la qualité du produit, le travail journalier et le coût de production associé. Pour cela, il est nécessaire de mettre en œuvre un programme expérimental approfondi pour évaluer les systèmes de production existants, les espèces et mélanges pouvant être utilisés et les itinéraires techniques les plus adaptés. Ce sont les prérequis nécessaires pour pouvoir proposer un conseil et un suivi adapté des élevages.

D'un **point de vue Zootechnique**, cette technique produit un fourrage de très bonne qualité nutritionnelle et cela, de façon continue et constante. Ce fourrage est très bien accepté par les animaux et il est très appétent. Les différents essais mis en œuvre dans le cadre de cette étude ont mis en avant des tendances à améliorer l'état général des animaux, ainsi que leurs performances de croissance et d'engraissement. Cela pourrait être dû à un meilleur fonctionnement mécanique et chimique du rumen et à une meilleure assimilation globale de la ration, liée à l'introduction de ce fourrage. Pour confirmer ces tendances, il serait nécessaire de mettre en œuvre des essais alimentaires complémentaires, plus approfondis, qui pourraient être à la base d'une réflexion globale sur le rationnement des animaux avec ce produit.

D'un **point de vue technico-économique**, c'est une production qui, à l'heure actuelle, est contraignante en terme de temps et de main d'œuvre, avec un coût de production élevé. Ces deux points sont les principaux freins à un développement en élevage. Cependant, il ne faut pas perdre de vue que c'est une technique qui, bien qu'ancienne, est très marginale. Aussi, elle n'a pas bénéficiée de la même dynamique de Recherche et Développement que les techniques couramment utilisées en élevage. Ces aspects étant fortement dépendant du type de système choisi et de son dimensionnement, cela laisse présager des marges de manœuvre avec le développement et l'optimisation du processus.

D'un **point de vue opérationnel sur le département de la Réunion**, s'il est à présager un développement conséquent de la technique, il sera primordial de s'assurer que la disponibilité en semences est garantie. La technique de FVH est une production intensive de fourrage, qui repose essentiellement sur l'apport à fortes doses de semences. La production de céréales et légumineuses sur l'île étant limitée et essentiellement dirigée vers l'alimentation humaine, l'approvisionnement passera obligatoirement par l'importation. En fonction de l'engouement pour cette production, il faudra s'assurer d'un approvisionnement et d'un stockage conséquent et adapté. Aussi, afin d'optimiser une filière d'approvisionnement en semences, il serait pertinent d'envisager d'élargir cette technique à d'autres types d'élevages.

Concernant le **développement en élevage** de cette technique, il apparaît clairement que ce fourrage est très intéressant en termes de qualité et de rendement. Cependant, il reste des questionnements forts sur le rationnement, le type d'appareil approprié, le temps de travail journalier requis et le coût de production.

En **élevage bovin**, le manque de visibilité sur le mode d'affouragement (part dans la ration, pour quelles visées, continue ou ponctuelle) rend difficile les projections à ce stade. Compte tenu de la taille des ateliers bovins du département, une production continue de FVH pourrait représenter une surcharge de travail importante en élevage, difficilement tenable sans une embauche supplémentaire. Actuellement, c'est un aliment dont le prix est plus élevé que les autres types de fourrages commercialisés sur le département. Aussi, il faut pousser la réflexion sur le mode d'utilisation de cette technique en élevage bovin (pour qui, dans quel contexte, comment, à quel prix), et envisager éventuellement une évaluation sur un atelier à taille réelle, et des essais complémentaires en engraissement (jeunes bovins laitiers) et production (allaitant et laitier). Il se pose tout de même la question de la pertinence du développement de ce type de technologie en élevage bovin viande, alors que c'est une filière qui possède, sur le papier, les surfaces fourragères suffisantes à son approvisionnement en fourrage, actuel ou futur (programmation DEFI). Il serait approprié, à court terme, de chercher à déterminer quels sont les freins, sur le terrain, à l'atteinte des potentiels de rendement. Et de mettre en œuvre les actions nécessaires pour améliorer la production fourragères (formations, animations, expertises, expérimentation ...). Un développement en **élevage laitier** pourrait être envisagé. L'utilisation du pâturage ou l'apport de fourrage vert à l'auge y sont peu répandus, en raison de contraintes techniques. L'herbe verte constitue 26 % de la matière sèche totale de la ration dans les Hauts de l'Ouest, 14 % dans le reste de l'île (Bony et al 2005). De plus, les élevages rencontrent des problèmes liés à la très forte irrégularité de l'affouragement. Le FVH pourrait y être intéressant, afin de réintroduire du fourrage vert dans la ration. Et il serait pertinent d'évaluer si ce fourrage peut répondre à des problématiques de qualité du lait et de risque d'acidose.

A ce jour, cette technique pourrait être pertinente pour répondre aux besoins en fourrage de qualité, de **petits ateliers d'animaux** limités d'un point de vue foncier. Aussi, elle pourrait répondre aux besoins spécifiques des **filières petits ruminants, cunicole et équine**. La technique semblerait particulièrement pertinente pour cette dernière qui rencontre de grosses difficultés à approvisionner ses élevages en fourrage de bonne valeur nutritionnelle, et de qualité constante, deux prérequis essentiels au bon entretien de ces animaux. La filière équine a notamment fait face, en 2014, à un taux anomal de pathologies liées à une carence en vitamine E de l'affouragement. En terme de **bien-être animal**, c'est un fourrage qui pourrait être très intéressant en **élevages hors sols de volailles, lapins et de porcs**, car il pourrait atténuer le stress lié au confinement, en apportant une distraction qui réponde à l'instinct de fouille des animaux tout en apportant un aliment de haute qualité digestive et nutritionnelle. Certaines études ont par ailleurs mis en avant des bénéfices zootechniques, en terme de production, à l'utilisation du FVH pour ce type d'élevage (Bamforth, 1982 ; Hamid, 2001 ; Kriaa et al, 2001 ; Oduguwa et Farolu, 2004).

Au vu de ces résultats, il est recommandé de mener une réflexion au sein des filières animales, afin de déterminer s'il est pertinent d'approfondir les connaissances techniques sur ce type de production et de mettre en place un accompagnement spécifique et adapté des éleveurs

intéressés. S'il est mis en avant un bénéfice fort, à moyen et long terme, à développer ce type de production en élevage, il est préconisé de mettre en place les actions suivantes :

- 1) **Un Programme d'essais** afin de déterminer quels sont les matériels et les itinéraires techniques les plus appropriés pour ce type de production, d'un point de vue technique (production, qualité du fourrage, temps et pénibilité du travail) et économique.
- 3) **Une étude pour définir une base de rationnement adapté**, pour ce type de fourrage, en fonction du type d'animal, du type de production, du cycle de production.
- 3) **Un programme d'accompagnement** des éleveurs (formations, documentation technique, conseil).

Au préalable à toute action, il serait bénéfique de chercher à comprendre les raisons des déficits fourragers observés ces dernières années : sont-ils dus uniquement à des perturbations climatiques, et risquent-elles de s'amplifier dans les années à venir ? Ou il y a-t-il également des freins techniques et structurels qui limitent la production fourragère en-dessous des potentiels de rendement. Les encadrants techniques ont observé, ces dernières années, une baisse des rendements dans les élevages de l'île. Ils ont relevé une diminution des pratiques de fertilisation, des renouvellements des prairies, ainsi qu'une baisse d'intérêt envers la gestion fourragère au bénéfice d'une intensification de la complémentation. Il serait plus efficient, à court terme, de chercher à déterminer quels sont les freins, sur le terrain, à l'atteinte des potentiels de rendement. Et de mettre en œuvre les actions nécessaires pour améliorer la production des systèmes fourragers existants (formations, animations, expertises, expérimentation ...).

## 6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Al Ajmi, A., Ali Salih, A., Kadim, I., Othman, Y., 2009, YIELD AND WATER USE EFFICIENCY OF BARLEY FODDER PRODUCED UNDER HYDROPONIC SYSTEM IN GCC COUNTRIES USING TERTIARY TREATED SEWAGE EFFLUENTS, Journal of Phytology, 1:5, p 342-348.

Al Ajmi, A., Ali Salih, A., Kadim, I., Othman, Y., 2009, CHEMICAL CONSTITUENTS AND HEAVY METALS CONTENTS OF BARLEY FODDER PRODUCED UNDER HYDROPONIC SYSTEM IN GCC COUNTRIES USING TERTIARY TREATED SEWAGE EFFLUENTS, Journal of Phytology, 1:6, p 374-380.

Al-Karaki, Ghazi N., et M. Al-Hashimi. « Green Fodder Production and Water Use Efficiency of Some Forage Crops under Hydroponic Conditions ». International Scholarly Research Network Agronomy, 2012.

Al-Karaki, Ghazi N., et N. Al-Momani. « Evaluation of some barley cultivars for green fodder production and water use efficiency under hydroponic condition ». Jordan Journal of agricultural Sciences 7, n° 3 (2011): 448-457.

Andrews, D.J. & Kumar, K.A., 2006. Pennisetum glaucum (L.) R.Br. In: Brink, M. & Belay, G. (Editors). PROTA 1: Cereals and pulses/Céréales et légumes secs. [CD-Rom]. PROTA, Wageningen, Netherlands.

Assefa, G., 2006. Avena sativa L. [Internet] Fiche de PROTA4U. Brink, M. & Belay, G. (Editeurs). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Pays Bas. <<http://www.prota4u.org/search.asp>>. Visité le 14 avril 2015.

Bony, Legier, 2007. Teneurs en ions forts des fourrages tropicaux à la Réunion et calcul de leur bilan alimentaire « cations anions » et de leur bilan électrolytique alimentaire. Rapport Cirad-KAPPA n° 2007-003.

Boudon, A., H. Khelil-Arfa, J.-L. Ménard, P. Brunshwig, et P. Faverdin. « Les besoins en eau d'abreuvement des bovins laitiers », 3 octobre 2013. <http://www6.inra.fr/productions-animales/2013-Volume-26/Numero-3-2013-pp.239-300/Les-besoins-en-eau-d-abreuvement-des-bovins-laitiers>.

Brink, M., 2006. Secale cereale L. [Internet] Fiche de PROTA4U. Brink, M. & Belay, G. (Editeurs). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Pays Bas. <<http://www.prota4u.org/search.asp>>. Visité le 14 avril 2015.

Buard, Marie. « Les graines germées, un CMV naturel pour les animaux ». L'auxiliaire bio, n° 12 (février 2011): 4-6.

Carballo Mondaca, Carlos Ramon. « Manual de procedimientos para la elaboracion de forraje verde hidropónico ». Ganaderia Holostica, 2003.

Chavan, J.K., Kadam, S.S., 1989, Nutritional improvement of cereals by sprouting. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 28:8, 401:437.

El-Deeba, M., El-Awady, M., Hegazi, M., Abdel-Azeem, F. El-Bourdiny, M., 2009, ENGINEERING FACTORS AFFECTING HYDROPONICS GRASS- FODDER PRODUCTION, The 16th. Annual Conference of the Misr Society of Ag. Eng., 25 July, 2009, 1647-1666

FAO, 2001, Manual tecnico Forraje verde hidropónico, 56p.

Fuentes, F., Poblete, C., Huerta, M., Palape, I., 2011, Evaluación de la producción y calidad nutritiva de avena como forraje verde hidropónico en condiciones de desierto Assessment of production and nutritious quality of oats as green hydroponic fodder under desert conditions, IDESIA, 29:3, p 75-81.

Hübner, F., Arendt, E., 2013, Germination of Cereal Grains as a Way to Improve the Nutritional Value: A Review, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 53:8, 853-861, DOI: 10.1080/10408398.2011.562060

García Carrillo, M., Salas Pérez, L., Esparza Rivera, J. R., Preciado Rangek, P., Romero Paredes, J., 2013, Producción y calidad fisicoquímica de leche de cabras suplementadas con forraje verde hidropónico de maíz, Agronomía mesoamericana, 24 :1, 169-176, ISSN : 1021-7444.

Lorenz, K., 1980, Cereal sprouts : composition, nutritive value, food applications, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, p 353- 385.

Messiaen, C.-M., Seif, A.A., Jarso, M. & Keneni, G., 2006. Pisum sativum L. In: Brink, M. & Belay, G. (Editeurs). PROTA 1: Cereals and pulses/Céréales et légumes secs. [CD-Rom]. PROTA, Wageningen, Pays Bas.

Micera, E., Ragni, M., Minuti, F., Rubino, G., Marsio, G., Zarrilli, A., 2009, Improvement of sheep welfare and milk production fed on diet containing hydroponically germinating seeds, Proc. 18th Nat. Congr. ASPA , Palermo, Italy, Ital. J. A,im. Sci., 8:2, p 634-636.

Moberg, G. P.; Stobel, D. P., 1980, The effect of cortisol on ovulation in the dairy cow. 9th International Congress on Animal Reproduction and Artificial Insemination, 16th-20th June 1980. III. Symposia (free communications). pp. 103. ISBN 84-7391-045-1

Morgan, J., R.R. Hunter, et R. O’Haire., 1992, « Limiting factors in hydroponic barley grass production ». South Africa.

Navarrete Flores, Ricardo Omar. « Estudio de la productividad de dos gramíneas (*Hordeum vulgare* y *triticum aestivum*) y una leguminosa (*Vicia* sp) para forraje verde hidropónico (FVH) con tres cortes sucesivos en la granja ECAA ». 2012, s. d.

Peer, J. ; Leeson, S., 1985, Nutrient content of hydroponically sprouted barley, Animal Feed Science and Technology, 13, 191:202.

Pérez Serrudo, Elsa. « Asociación de *Hordeum vulgare* y *Phaseolus vulgaris* en la obtención de forraje verde hidropónico y el aprovechamiento del espacio de producción ». Thesis, U.S.F.X.CH, 2003. <http://www.tesis.abesca.org:8080/dspace/handle/123456789/8689>.

Rodet, J.C., 1997, Herbage naturel hydroponique et grains germées : des vitamines naturelles pour les animaux. Bio-Bulle, p 12-14.

Rodriguez Muela, C., Rodriguez, H.E., Ruiz, O., Flores, A., Grado, J.A., Arzola, C., 2005, Use of green fodder produced in hydroponics systems as supplement for salers lactating cows during the dry season, Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science, 56, 271-274

Romero Valdez, M.E., Cordova Duarte, G., Hernandez Gallardo, E. O., 2009, Produccion de Forraje Verde Hidroponico y su Aceptacion en Ganado Lechero, Acta Universitaria, Universidad de Guanajuato, 19 : 2. 11 :19

Santos, O. S. dos, A. do Nascimento Junior, D. P. Basso, A. Cargnelutti Filho, J. E. Filipetto, R. da C. Luz, et F. R. Souilljee. « Production of hydroponic fodder of wheat with common vetch. » PUBVET 6, n° 9 (2012): unpaginate

Sneath, R., McIntosh, F., 2003, Review of Hydroponic Fodder Production for Beef Cattle, Meat & Livestock Australia Limited, 55 p.

Trubey, C.R., Rhykerd, C.L., Noller, C.H., Ford, D.R., George, J.R., 1969, Effect of loght, culture solution, and growth period an growth and chemical composition of hydroponically produced oat seedlings, Agronomy Journal, 61, p 663-665.

Tudor, G.D, T. Darcy, PC Smith, F. Shallcross, et J.G Allen. « IS THERE A ROLE FOR HYDROPONICS IN THE BEEF INDUSTRY? ». Animal Production in Australia, 2004, 25 édition. <http://www.publish.csiro.au/paper/SA0401178.htm>.

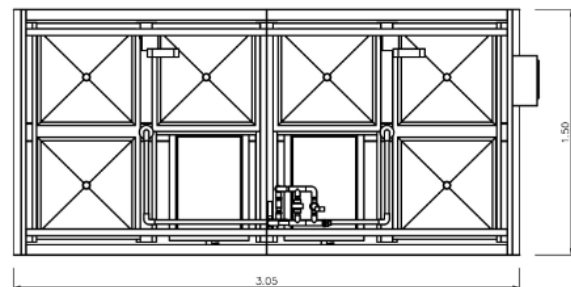
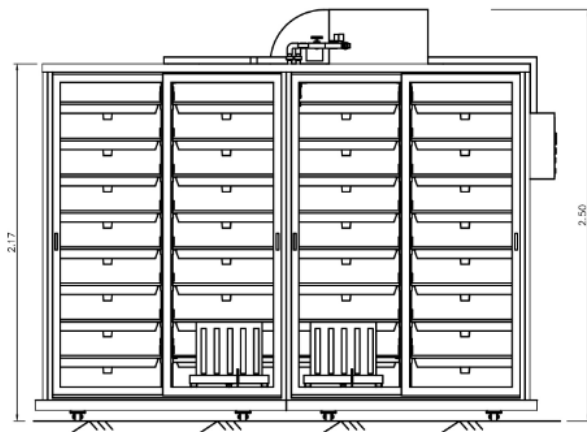
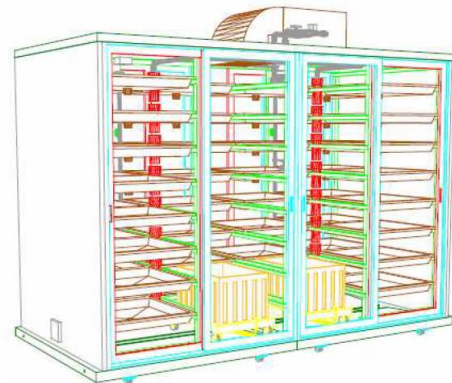
## 7. ANNEXES

ANNEXE 1 : FICHE TECHNIQUE UNITE DE PRODUCTION DE FOURRAGE HYDROPONIQUE EC-2-T®, ELEUSIS INT. S.A.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES	
<b>Dimensions (l x L x h) :</b>	1,5 x 3 x 2,5 m
<b>Superficie :</b>	4.5 m <sup>2</sup>
<b>Poids :</b>	600 kg
<b>Branchement secteur :</b>	230 V, 50 Hz, Puissance du module : 5,5 Kw ; Amperage du module : 25 A
<b>Alimentation en eau :</b>	Débit d'eau : 0,25 litres / seconde; Pression de l'eau minimum : 2 bars
<b>Besoins en graines :</b>	20 kg / jour
<b>Consommation d'eau :</b>	225-78 litres / jour
<b>Consommation d'électricité :</b>	9-12 kWh / jour
<b>Temps de travail :</b>	30-45 min. / jour
<b>Production :</b>	75-80 kg de fourrage vert par jour
<b>Prix d'achat :</b>	16 360 € TTC

### Descriptif du matériel :

- 2 bacs de pré germination ;
- 6 étagères x 8 plateaux de germination ;
- 2 colonnes d'irrigation ;
- 2 éclairages fluorescents ;
- 1 climatisation ;



ANNEXE 2 : ACTIONS D'ANIMATION ET DE COMMUNICATION REALISEES DANS LE CADRE DE L'ETUDE

DATE	PUBLIC	SITE	OBJET
<b>ANIMATIONS</b>			
23/10/2014	Eleveurs OVICAP	GN PICARD	Présentation des essais au cours d'une journée d'Animation OVICAP
<b>FORMATION</b>			
11/07/2014	Eleveurs	SEDAEL	Former les éleveurs du projet à l'utilisation du module hydroponique et à l'application du protocole
27/11/2014	Personnel SEDAEL	SEDAEL	Formation d'initiation à la production de fourrage hydroponique pour les ouvriers de la SEDAEL
<b>VISSITES D'ESSAIS</b>			
18/07/2014	Filière cheval	SEDAEL	Présentation du projet aux référents de la filière cheval (DAAF, Chambre d'Agriculture, éleveurs)
06/08/2014	ARP	EARL PICARD	Présentation du projet aux adhérents ARP
20/08/2014	Partenaires	GN PICARD	Visite de présentation au CIRAD (E. TILLARD, M. VIGNE)
21/08/2014	ERCANE	SEDAEL	Présentation du projet dans le cadre de la mission de R. TROCHARD (ARVALIS)
25/09/2014	Mairie de Saint Paul, conseil Général	EARL PICARD, GN PICARD	Présentation de l'étude à des représentants du conseil général (JP Ramsamy, A Jean-Bart) et de la Mairie St Paul (V Picard)
06/10/2014	Etudiants	GN PICARD, EARL PICARD, GAEC REBOULE	Présentation du projet à des étudiants BTS du LEGPA de Saint Paul
16/10/2014	ARP	EARL PICARD	Présentation du projet au conseil d'administration ARP
08/11/2014	Etudiants	SEDAEL	Présentation du projet à un groupe d'étudiants du BTS DARC
26/11/2014	AD2R	EARL PICARD	Présentation du projet pendant une journée d'animation du CTL plaine des cafres de l'AD2R
23/01/2015	CIRAD	SEDAEL	Présentation du projet dans le cadre des ateliers ArchE-Net
02/02/2015	ODEADOM	SEDAEL	Présentation des essais dans le cadre d'une visite ODEADOM
11/02/2015	CIRAD	GN PICARD	Présentation du projet dans le cadre des ateliers ArchE-Net
23/02/2015	Terre d'ici	SEDAEL	Tournage d'un épisode Terres d'ici
27/05/2015	CIRAD	SEDAEL	Présentation du projet dans le cadre d'une formation ArchE-Net
03/06/2015	CIRAD	GAEC REBOULE	Présentation du projet dans le cadre des ateliers ArchE-Net
18/06/2015	SICAREVIA	SEDAEL	Présentation du projet dans le cadre d'une animation charte



ANNEXE 3 : COMPOSITION ET VALEUR ALIMENTAIRE DE DIFFERENTS TYPES DE FOURRAGE HYDROPONIQUE

**Composition chimique et valeur alimentaire de Céréales :**

**Tableau 2 : Blé (*Triticum aestivum L.*) grain et hydroponique de 7 jours**

	GRAIN	FVH 7 j
<b>Bromatologie :</b>		
H° (g/100g MB)	7,7	76,5
MS (g/100g MB)	92,3	23,5
AMIDON (g/100g MS)	71,1	29,1
MAT GRAS (g/100g MS)	1,6	1,9
MAT MIN (g/100g MS)	2,0	1,8
CELL (g/100g MS)	2,3	6,3
ADF (g/100g MS)	3,7	9,2
ADL (g/100g MS)	0,7	1,9
NDF (g/100g MS)	13,4	22,3
PROT (g/100g MS)	11,3	12,3
DMS (g/100g MS)	96,1	89,0
<b>Minéraux :</b>		
Ca (g/100g MS)	0,05	0,05
Mg (g/100g MS)	0,10	0,11
P (g/100g MS)	0,33	0,35
K (g/100g MS)	0,51	0,42
Na (mg/kg MS)	65,00	69,00
MgCL2 (g/100g MS)	0,13	0,12
Cu (mg/kg MS)	<5	<5
Fe (mg/kg MS)	48,91	78
Zn (mg/kg MS)	27	28
Mn (mg/kg MS)	41	40
<b>Vitamines :</b>		
A (ui/g MS)	1,1	<1,0
D (ui/kg MS)	<150	<150
E (mg/kg MS)	11,3	8,3
<b>Valeur alimentaire :</b>		
UFL (u/kg MS)	1,17	1,11
UFV (u/kg MS)	1,18	1,10
PDIA (g/kg MS)	28	30
PDIE (g/kg MS)	104	103
PDIN (g/kg MS)	75	82

**Tableau 3 : Maïs (*Zea mays*) grain et hydroponique de 11 jours**

	GRAIN	FVH 11 j
<b>Bromatologie :</b>		
H° (g/100g MB)	8,3	66,7
MS (g/100g MB)	91,7	33,3
AMIDON (g/100g MS)	75,4	46,5
MAT GRAS (g/100g MS)	4,1	3,3
MAT MIN (g/100g MS)	1,5	1,9
CELL (g/100g MS)	1,9	4,1
ADF (g/100g MS)	2,3	5,8
ADL (g/100g MS)		0,6
NDF (g/100g MS)	10,7	19,6
PROT (g/100g MS)	10,6	11,9
DMS (g/100g MS)	95,0	89,4
<b>Minéraux :</b>		
Ca (g/100g MS)	0,0	0,0
Mg (g/100g MS)	0,1	0,1
P (g/100g MS)	0,3	0,3
K (g/100g MS)	0,4	0,4
Na (mg/kg MS)	76,0	84,0
MgCL2 (g/100g MS)	0,1	0,1
Cu (mg/kg MS)	<5	<5
Fe (mg/kg MS)	41,3	104,0
Zn (mg/kg MS)	32,0	39,0
Mn (mg/kg MS)	7,0	9,0
<b>Vitamines :</b>		
A (ui/g MS)	<1,0	<1,0
D (ui/kg MS)	<150	<150
E (mg/kg MS)	24,9	26,3
<b>Valeur alimentaire :</b>		
UFL (u/kg MS)	1,2	1,1
UFV (u/kg MS)	1,3	1,1
PDIA (g/kg MS)	60,0	68,0
PDIE (g/kg MS)	133,0	111,0
PDIN (g/kg MS)	83,0	93,0

**Composition chimique et valeur alimentaire d'une association Céréale – Légumineuse :**

**Tableau 4 : Composition chimique et valeur alimentaire du FVH "Orge & lentille" de 6 jours**

		<b>FVH 6j</b>
<b>Bromatologie :</b>		
<b>H°</b>	<i>(g/100g MB)</i>	76,6
<b>MS</b>	<i>(g/100g MB)</i>	23,4
<b>AMIDON</b>	<i>(g/100g MS)</i>	17
<b>MAT GRAS</b>	<i>(g/100g MS)</i>	2
<b>MAT MIN</b>	<i>(g/100g MS)</i>	2,6
<b>CELL</b>	<i>(g/100g MS)</i>	9
<b>ADF</b>	<i>(g/100g MS)</i>	11,2
<b>ADL</b>	<i>(g/100g MS)</i>	1,5
<b>NDF</b>	<i>(g/100g MS)</i>	27
<b>PROT</b>	<i>(g/100g MS)</i>	16,6
<b>DMS</b>	<i>(g/100g MS)</i>	82,4
<b>Minéraux :</b>		
<b>Ca</b>	<i>(g/100g MS)</i>	0,0693
<b>Mg</b>	<i>(g/100g MS)</i>	0,1172
<b>P</b>	<i>(g/100g MS)</i>	0,3992
<b>K</b>	<i>(g/100g MS)</i>	0,5192
<b>Na</b>	<i>(mg/kg MS)</i>	74
<b>MgCL2</b>	<i>(g/100g MS)</i>	0,11
<b>Cu</b>	<i>(mg/kg MS)</i>	6
<b>Fe</b>	<i>(mg/kg MS)</i>	69
<b>Zn</b>	<i>(mg/kg MS)</i>	29
<b>Mn</b>	<i>(mg/kg MS)</i>	20
<b>Vitamines :</b>		
<b>A</b>	<i>(ui/g MS)</i>	<1,0
<b>D</b>	<i>(ui/kg MS)</i>	<150
<b>E</b>	<i>(mg/kg MS)</i>	8
<b>Valeur alimentaire :</b>		
<b>UFL</b>	<i>(u/kg MS)</i>	1,045
<b>UFV</b>	<i>(u/kg MS)</i>	1,012
<b>PDIA</b>	<i>(g/kg MS)</i>	49
<b>PDIE</b>	<i>(g/kg MS)</i>	113
<b>PDIN</b>	<i>(g/kg MS)</i>	113

#### ANNEXE 4 : MODELISATION DU COUT DE REVIENT DU FOURRAGE VERT HYDROPONIQUE

Le coût de production du fourrage vert hydroponique a été défini pour cinq types d'unités. Il a été calculé le coût de production réel de l'unité de production utilisée dans le cadre de l'étude (module Eleusis EC2T). Cette petite unité, choisie pour répondre aux besoins et contraintes de l'expérimentation, n'a pas une capacité de production adaptée à un élevage bovin réunionnais standard. Aussi, il a été simulé le coût de production de quatre unités de production types, adaptées aux tailles des élevages de la Sicarévia.

**Unités de production types :** Pour définir la capacité de production des unités types, on part de l'hypothèse qu'on cherche à couvrir, toute l'année, 20 % des besoins en fourrage des exploitations. Une analyse des effectifs en bovins des 212 ateliers naisseurs et des 91 ateliers engraisseurs de la coopérative, en 2014, a montré que les tailles d'atelier les plus représentées sont de 20 et 40 ( $\pm 10$ ) vaches allaitantes pour les naisseurs et de 20

**Tableau 1 : Estimation des besoins en FVH d'ateliers Bovin Viande Sicarévia types**

BOVIN VIANDE	Coef. UGB	TYPE D'ATELIER			
		NAISSEUR	ENGRASSEUR		
VACHE ALLAITANTE	0,85	20	40	0	0
GENISSE	0,6	12	24	0	0
TAUREAU	1	1	1	0	0
VEAUX	0,2	10	20	0	0
JEUNE BOVIN	0,8	0	0	20	50
NBR ANIMAUX		43	85	20	50
TOTAL UGB		27	53	16	40
BESOIN MS (kg MS/j)		373	732	219	548
BESOIN FVH (kg MS/j)		75	146	44	110
BESOIN FVH (kg MB/j)		414	813	244	609
BESOIN GRAINES (kg/j)		106	208	62	156

ou 50 ( $\pm 10$ ) jeunes bovins pour les engraisseurs. On a estimé les besoins journaliers en fourrage de chaque taille d'atelier, sur la base du nombre d'UGB (Unité Gros Bovin) effectif de l'atelier. Pour les ateliers d'engraissement, on part de l'hypothèse que le quota annuel d'animaux est égal au nombre d'animaux présents en permanence dans l'atelier. On obtient ainsi le calcul suivant :

$$\text{Atelier 20 Taurillons : } 20 \text{ JB} \times 0,8 \text{ UGB} \times 17,59 \text{ kg MS} = 281 \text{ kg MS/j}$$

Pour les ateliers naisseurs, on prend en compte la présence de mâles reproducteurs et de femelles de renouvellement sur l'exploitation. On détermine le nombre de mâles reproducteurs en fonction du cheptel (1 taureau pour 25-30 vaches). Le nombre de femelles de renouvellement représentée sur l'exploitation est déterminé à partir de l'effectif de l'atelier et du taux de renouvellement (fixé à 20 %). On obtient ainsi le calcul suivant :

$$\text{Atelier de 15 vaches : } [(15 \text{ VA} \times 0,85 \text{ UGB}) + (1 \text{ T} \times 1 \text{ UGB}) + (9 \text{ G} \times 0,6 \text{ UGB})] \times 17,59 \text{ kg MS} = 337 \text{ kg MS/j}$$

Sur cette base, on détermine les besoins journaliers en fourrage hydroponique (tableau 1) et la quantité de graines correspondante à semer. C'est ce dernier critère qui va être utilisé pour définir la taille des unités de production.

**Tableau 2 : Caractéristiques du matériel hydroponiques sélectionné**

MATERIEL	Production (t MB/an)	Taille bâtiment (m <sup>2</sup> )	CONSOMMATION				
			Graines (t/an)	Electricité (kW/an)	Eau (m <sup>3</sup> /an)	Prod. entretien (l/an)	Main d'œuvre (h/j)
EULEUSIS EC2T	28	20	7	3650	91	182,5	00:45
EULEUSIS EC6T	118	50	30	3650	274	365	01:00
EULEUSIS EC9T	178	85	46	12775	548	547,5	02:00
PREMIUM FODDER FT 500	214	120	55	12775	128	365	01:00
PREMIUM FODDER FT 1000	427	200	110	12775	256	547,5	02:00

En se référant aux rendements graine/FVH obtenus dans le cadre de nos essais, la quantité de graines semée par jour est un critère d'estimation de la production de fourrage (kg MS/j), plus

fiable que les valeurs annoncées par les fournisseurs. Sur la base de ce calcul, quatre systèmes de production de fourrage hydroponique ont été identifiés (tableau 2).

**Coût d'investissement :** Pour déterminer le coût d'investissement des unités de production (tableau 3), on pose les hypothèses suivantes : un nouveau bâtiment est construit pour accueillir l'unité de production (hypothèse : 1 200 €/m<sup>2</sup>). L'investissement bénéficie d'une subvention FEADER « Diversification végétale » à hauteur de 70 % sur l'ensemble de l'unité de production (matériel et bâtiment). L'amortissement est calculé respectivement sur 10 et 40 ans pour le matériel hydroponique et le bâtiment. On part du postulat d'un emprunt sur 15 ans, calculé sur le montant net de subvention, avec un taux à 4 %.

**Tableau 3 : Coûts d'investissement d'une unité de production de Fourrage Vert Hydroponique (€)**

UNITE DE PRODUCTION	COUT UNITE DE PRODUCTION			COUT POUR ELEVEUR		COUT "FINANCIER" (amortissement + emprunt)
	Matériel hydro	Bâtiment	Total brut	Hors Subvention	Net de subvention	
ELEUSIS EC2T	13016	24000	37016	37016	11105	1409
ELEUSIS EC6T	26646	60000	86646	86646	25994	3183
ELEUSIS EC9T+	38808	102000	140808	140808	42242	5040
PREMIUM FODDER FT 500	37485	144000	181485	181485	54446	6125
PREMIUM FODDER FT 1000	87018	240000	327018	327018	98105	11609

**Frais de fonctionnement :** Pour définir les frais de fonctionnement liés à l'utilisation du matériel (tableau 4), il a été utilisé les informations de consommation d'intrants fournis par les fabricants, ainsi que nos propres résultats d'expérimentation (tableau 2). On pose l'hypothèse que l'achat de graines bénéficie d'une aide à l'importation RSA (Régime spécifique d'approvisionnement) à hauteur de 71,5 € la tonne de matière brute et que la graine est achetée à 333 euros la tonne, aide incluse.

**Tableau 4 : Coûts de fonctionnement (€ HT)**

Unité	Graine		Electricité	Eau	Prod. Entretien	Main d'œuvre	Total ac RSA
	ss RSA	ac RSA					
EULEUSIS EC2T	3 281	2 432	369	93	159	1 947	5 000
EULEUSIS EC6T	13 618	10 094	375	279	318	3 893	14 960
EULEUSIS EC9T	20 508	15 202	1 223	558	476	7 787	25 246
PREMIUM FODDER FT 1000	49 220	36 485	1 231	260	476	7 787	46 240
PREMIUM FODDER FT 500	24 610	18 243	1 241	130	318	3 893	23 825

**Charges annuelles et coût de revient :** Les charges annuelles ont été calculées sur la base de l'amortissement et des frais de fonctionnement net de RSA. Le coût de revient est calculé sur la base de la matière brute produite.

**Tableau 5 : Coûts de revient du FVH :**

Unité	Production (t MB/an)	Coût (€/an)	Coût à la tonne	
			(€/t MB)	(€/t MS)
EULEUSIS EC2T	28	6 409	228	1 200
EULEUSIS EC6T	110	18 143	166	872
EULEUSIS EC9T	183	30 286	166	873
PREMIUM FODDER FT 1000	365	57 849	158	834
PREMIUM FODDER FT 500	183	29 949	164	864

## ANNEXE 5 : UTILISATION DU FOURRAGE VERT HYDROPIQUE EN PRODUCTION DE VIANDE BOVINE – ESSAI SUR JEUNES BOVINS LIMOUSINS, REALISE A L'EARL PICARD

Auteurs : Maëva MIRALLES-BRUNEAU<sup>1</sup>, Charles-Emile BIGOT<sup>2</sup>, David FORGET<sup>3</sup>, David GRANGETTE<sup>4</sup>, Mickael PAYET<sup>5</sup> ; avec la collaboration de Jean-Luc BENARD<sup>6</sup>, Anne-Marie, Jean-Philippe et Tony PICARD<sup>7</sup> ;

<sup>1</sup>Ingénieure d'expérimentation, SicaRévia; <sup>2</sup>Responsable technique, SicaRévia; <sup>3</sup> Conseiller pastoralisme, ARP; <sup>4</sup> Conseiller zootechnique, SicaRévia; <sup>5</sup>Contrôleur de Performance, Chambre d'Agriculture; <sup>6</sup>Responsable technique SEDAEL; <sup>7</sup> Eleveurs, EARL PICARD;

### RESUME

La filière de viande bovine de la Réunion, afin de remplir ses objectifs de croissance et fournir l'offre fourragère nécessaire à la croissance de son cheptel, en contexte contraint, a mis en œuvre une étude d'évaluation de la production de fourrage hors-sol (FVH). Un essai alimentaire a été réalisé, sur deux lots de 5 jeunes bovins Limousins, sur une période d'engraissement 148 jours. Cela, afin d'évaluer les effets de l'introduction de FVH, en tant que complémentation fourragère dans la ration, à hauteur de 20 % des besoins fourragers théoriques. Le FVH s'est avéré être un fourrage très appétent, qui a été rapidement accepté par les animaux. Son introduction a impacté la consommation d'eau (- 9 %). Elle n'a pas eu d'incidence sur la consommation de foin mais a accru l'ingestion totale de fourrage (+ 14 %) et de matière sèche (+ 12 %). La croissance des animaux a été plus rapide (+15 % de GMQ), avec une impression visuelle d'animaux plus massifs et plus musclés. Cela a été confirmé par un rendement carcasse supérieur de 2 %, tendance que l'on retrouve sur les autres essais. L'introduction de FVH induit un surcoût de la ration, qui est presque totalement compensé par la vente de carcasses avec un meilleur rendement. Les résultats de l'essai laissent à penser que le rationnement à base de FVH est à approfondir et qu'il serait souhaitable de renouveler l'expérience en testant différents niveaux d'apport de FVH, en ajustant le type et le niveau de complémentation, avec un suivi plus précis de l'alimentation.

### INTRODUCTION

La filière bovine de la Réunion s'est fixée comme objectif d'augmenter le cheptel de Ruminants de 40 % d'ici 2021, pour répondre à la demande locale de viande (Projet Défi). Pour pérenniser durablement ce programme de développement, il est nécessaire d'assurer une production fourragère locale à la hauteur de ces objectifs. La production herbagère de l'île souffre de manière systémique d'irrégularités de la quantité et de la qualité de fourrages produits au cours de l'année. Cela entraîne des situations de déséquilibre entre l'offre alimentaire et la demande des troupeaux. Ces problématiques de déficit fourrager se sont accentuées ces dernières années, avec des épisodes de sécheresse de plus en plus marqués au cours de l'hiver austral. Dans les années à venir, le fort développement démographique risque d'accentuer une pression foncière urbaine déjà problématique dans le contexte insulaire du département, ce qui peut impacter les surfaces fourragères disponibles. Ces contraintes, de plus en plus prégnantes dans les années à venir, imposent d'assurer et de sécuriser la production fourragère à moyen et long terme. Cela passe par une optimisation du système herbager existant et une diversification des ressources alimentaires. La profession s'est fortement mobilisée ces dernières années, pour trouver des voies de diversification, avec la mise en place de nouvelles prairies et la structuration d'une filière de commercialisation de foin, l'importation de fourrage et la valorisation des parcelles de cannes sucrières non exploitées par la filière canne. On observe depuis le début des années 2000, dans diverses régions du globe présentant des problématiques de déficit fourrager, le développement de techniques de production de fourrage hors-sol. Basées sur le principe de la graine germée, ces techniques permettent de faire pousser des tapis de jeunes plantes de céréales dans des plateaux et d'obtenir en 7 à 10 jours une biomasse importante et de qualité constante. La production de fourrage hors-sol pourrait être envisagée comme une alternative à la Réunion. Elle représenterait une voie d'intensification de la production de biomasse de qualité, en étant plus efficiente en terme de surfaces, d'utilisation d'eau, tout en se dédouanant des contraintes climatiques. Cette production fourragère pourrait être intéressante pour la

filière d'engraissement de jeunes bovins, qui est sensible en terme d'approvisionnement quantitatif et qualitatif de fourrages. Les ateliers d'engraissement sont majoritairement localisés dans « les Bas » de l'île, principalement dans des exploitations diversifiées, en systèmes quasi hors-sol. Ils engraisent à l'auge pendant 10 à 12 mois, les broutards issus des élevages naisseurs « des Hauts ». Ils possèdent peu de surface fourragère et l'en fourrage se fait principalement à base de paille de canne, à la valeur alimentaire faible. Le développement du FVH sur ce type d'atelier, pourrait permettre d'améliorer leur autonomie fourragère, tout en améliorant la qualité nutritionnelle du fourrage apporté. Cet essai, réalisé à l'EARL PICARD, sur deux lots de 5 taurillons limousins, sur une durée d'engraissement, visait à évaluer si le fourrage hydroponique peut être une complémentation en fourrage intéressante, pour de l'engraissement de Taurillon en bâtiment. Il a été réalisé en parallèle d'un autre essai, au GAEC REBOULE, situé sur le même secteur géographique, sur deux lots de 6 taurillons croisés limousins.

## 1. MATERIELS ET METHODES

L'essai visait à évaluer si le fourrage hydroponique peut être un complément en fourrage intéressant, pour de l'engraissement de taurillons en bâtiment. Il a cherché à déterminer si l'introduction de FVH dans la ration avait un effet sur la consommation, les résultats zootechniques et d'abattage des animaux.

### L'ATELIER

L'EARL PICARD est un élevage naisseur et engraisseur en race limousine. Le cheptel est composé de 72 vaches. La surface fourragère est composée de 72 ha de graminées tempérées. C'est un élevage à fort potentiel génétique, aux résultats zootechniques supérieurs à la moyenne de la coopérative. Les animaux entrent dans l'atelier d'engraissement à 8 mois. L'engraissement dure 8 mois et les animaux sont abattus entre 15 et 16 mois. Les résultats de croissance sont de l'ordre de 1300-1400 g/jour. Les animaux sortent avec un poids vifs de 650-700 kg. Le poids carcasse moyen est de  $425 \pm 5,5$  kg, avec une note de conformation U= et une note de gras de 2+. Les épisodes de sécheresse récurrents depuis 2010 ont mis à mal le stock de fourrage de l'exploitation. Cela a eu pour conséquence d'anticiper la réduction du cheptel de vaches allaitantes et a obligé à des achats extérieurs de foin de luzerne pour l'atelier d'engraissement.

### LES ANIMAUX

L'essai a porté sur deux lots de 5 broutards Limousins. Les animaux sont nés sur l'exploitation et ont été sevrés à 7 mois. La mise en lot a été réalisée à 11 mois, sur des critères d'âge, de poids et de classe (tab 1).

### LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

**Tableau 1 : Caractéristiques des jeunes bovins à la mise en lot**

Lot	Témoin	FVH
Effectif	5	5
Age (jours)	$333,4 \pm 9,1$	$337 \pm 13,0$
Poids (kg)	$421,4 \pm 18,0$	$443,2 \pm 12,5$
GMQ naissance- mise en lot	$1136,4 \pm 21,3$	$1197,8 \pm 44,9$
Classe	$2,12 \pm 0,1$	$1,8 \pm 0,3$

**Régimes comparés :** Deux régimes d'engraissement à base de foin de Chloris (*Chloris gayana*) ont été mis en comparaison : 1) **lot témoin** : foin de Chloris « à volonté » et concentré pour bovin, selon les pratiques de l'éleveur ; 2) **lot FVH (Fourrage vert hydroponique)** : foin de Chloris « à volonté » et concentré pour bovin, auxquels ont été ajouté 20 % des besoins théoriques en fourrage sous la forme de FVH d'orge de  $7 \pm 1$  jours;

Le foin a été apporté à volonté. Le concentré a été rationné selon les pratiques habituelles de l'éleveur, à dose équivalente pour les deux lots. Le FVH a été apporté en plus de la ration de base « foin & concentré », en tant que complémentation en fourrage. Aussi, les rations n'étaient pas iso-énergétiques et iso-protéiques. Les caractéristiques des aliments utilisés sont décrites dans le tableau 2.

**Production de FVH :** Il a été utilisé des semences d'orge brassicole (*Hordeum vulgare*), variété ARTURIO. Les graines étaient mises à tremper 8 à 18 heures, égouttées et semées à une densité de 7 kg/m<sup>2</sup>. La germination était réalisée dans une chambre de culture fermée (EC-2-T, Eleusis Int. S.A.). La température et l'humidité étaient contrôlées ( $18 \pm 1,5$  C° ; 60-100 %H) et le module était éclairé 12 heures par jour (lampes fluorescentes de 58 W). La culture était irriguée par immersion une fois par

jour ( $2 \pm 0,1$  l/kg MB). La récolte était réalisée au stade plantule  $7 \pm 1$  jour. Il a été observé un rendement moyen de  $3,89 \pm 0,10$  kg de fourrage vert produit pour 1 kg de grain sec semé, à  $19,67 \pm 0,68$  % MS.

**Logement des animaux :** les animaux étaient logés en box par lot, dans un bâtiment couvert, semis ouvert.

**Mesures et enregistrements au cours de la période de production :** les animaux ont été pesés en entrée et en sortie d'essai, ainsi qu'une fois par mois pendant toute la durée

d'expérimentation. La note d'état a été déterminée à l'entrée et à la sortie. La consommation en foin des animaux a été mesurée ponctuellement par l'éleveur. La consommation d'eau a été suivie à l'aide d'un compteur fixé sur les abreuvoirs. La température et l'humidité au sein du bâtiment ont été enregistrées à l'aide d'un capteur (DL-141TH DATALOGGER, VOLT CRAFT®).

**Contrôle à l'abattoir :** à l'abattage des animaux, le poids de carcasse a été relevé. Les carcasses ont été évaluées selon la grille EUROP sur deux critères : la conformation (développement musculaire) et l'engraissement.

## 2. RESULTATS

L'essai a duré 148 jours sur 210 jours d'engraissement. Pendant cette période, la température moyenne et l'humidité relative au sein du bâtiment étaient de  $17,21 \pm 0,10$  °C et  $71,50 \pm 0,26$  % (tableau 3). L'alimentation en FVH a été arrêtée 15 jours avant l'abattage des animaux, pour cause techniques. Les animaux ont été abattus à 16 mois. Deux animaux du lot FVH ont été abattus une semaine après les autres, pour cause de pathologie.

**Tableau 3 : Conditions de température et d'humidité au sein du bâtiment au cours de l'essai**

	Température (°C)	Humidité (%)
Moyenne	$17,21 \pm 0,10$	$71,50 \pm 0,26$
Min	4,5	25,6
Max	42,1	98,5

### 2.1. CARACTERISTIQUES BROMATOLOGIQUES ET VALEUR NUTRITIVE DU FOURRAGE VERT HYDROPONIQUE

Il y a une transformation de la composition chimique de la graine au cours du processus de germination et on obtient deux produits bien différents. Le taux de matière sèche du FVH est plus faible que celui de la graine, et on observe une perte de matière sèche de  $25,97 \pm 1,96$  % liée à la croissance de la plante et à sa respiration. On observe une perte d'amidon (- 40,6 %) liée à la mobilisation des réserves de la graine pour la croissance des racines et feuilles. Les taux de cellulose, ADF et NDF augmentent (+ 5,75 ; 6,47 et 11,11 %) liés à la synthèse des tiges et des feuilles. Le taux de protéines augmente de 2,46 %. La digestibilité de la matière sèche diminue de 10,75 %. Globalement, les teneurs en vitamines et minéraux restent équivalentes, excepté pour les teneurs en Fer, et Sodium qui augmentent de 16,98 et 45,76 %. C'est un aliment avec une bonne concentration énergétique (91 UFV) et un rapport PDIE/PDIN équilibré. Il présente de meilleures valeurs énergétiques et protéiques que le foin de Chloris (tableau 2), bien qu'ayant un taux de matière sèche plus

**Tableau 4 : Composition de l'orge grain et hydroponique (6-8 j.)**

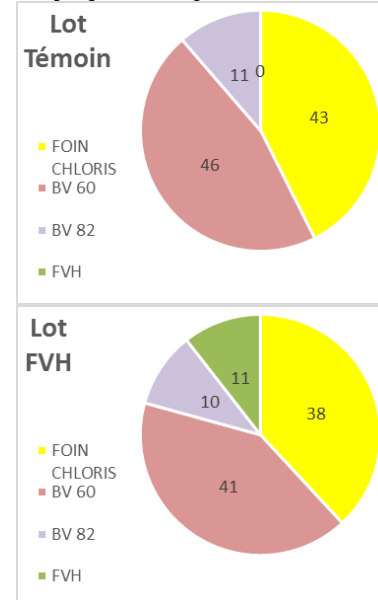
	GRAIN	FVH
<b>Bromatologie :</b>		
matière sèche (g/100g MB)	93,45	17,78
amidon (g/100g MS)	57,50	16,84
matière grasse (g/100g MS)	2,20	2,92
cellulose (g/100g MS)	6,90	12,65
ADF (g/100g MS)	8,75	15,22
NDF (g/100g MS)	23,35	34,47
protéine (g/100g MS)	10,90	13,36
DMS (g/100g MS)	86,95	76,20
<b>Minéraux :</b>		
Ca (g/100g MS)	0,07	0,07
Mg (g/100g MS)	0,12	0,13
P (g/100g MS)	0,37	0,44
K (g/100g MS)	0,57	0,48
Na (mg/kg MS)	29,57	75,33
MgCL2 (g/100g MS)	0,21	0,13
Cu (mg/kg MS)	5,00	5,00
Fe (mg/kg MS)	46,96	63,94
Zn (mg/kg MS)	30,00	30,33
Mn (mg/kg MS)	20,50	23,56
<b>Valeur alimentaire :</b>		
UFV (u/kg)	1,01	0,91
PDIE (g/kg MS)	100	103
PDIN (g/kg MS)	75	91

faible. Le taux d'amidon laisse supposer un aliment moins acidogène que le grain initial. La valeur NDF du FVH est intéressante, car elle correspond au niveau recherché pour la ration globale (35-40 %).

## 2.2. CONSOMMATION DES ALIMENTS

Le FVH a été apporté progressivement aux animaux : à hauteur de  $4,8 \pm 0,1$  et  $5,2 \pm 0,1$  kg /JB/jour ( $0,86 \pm 0,01$  kg /JB/jour et  $0,94 \pm 0,01$  kg /JB/jour), le 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> mois, puis  $5,6 \pm 0,1$  kg /JB/jour ( $1 \pm 0,01$  kg /JB/jour). Sur toute la période de l'essai, le FVH représente 13 % de la consommation de fourrage (MS), et 11 % de la consommation totale de matière sèche (Graphique 1). Le FVH a été rapidement accepté par les animaux (2-3 jours). Il n'a pas été observé de refus. La consommation de foin, de l'ordre de  $4,2 \pm 1,14$  kg MB/JB/jour, était équivalente pour les deux lots de taurillons. Le BV 60 était apporté à hauteur de 1,2 kg/ 100 kg de poids vifs les deux premiers mois ( $5,0$  à  $5,2$  kg/JB/jour). Le BV 82 a été introduit à partir du 2<sup>e</sup> mois, à hauteur de 0,5 kg MB/JB/jour, pour monter progressivement, sur un mois, à 4,5 kg MB/JB/jour. En parallèle, le BV 60 est passé à 2 kg MB/JB/jour. Le dernier mois, en phase de finition, l'apport de BV 60 / BV 82 est de 3 et 4 kg MB/JB/jour respectivement. La complémentation a représenté 57 et 51 % de la matière sèche apportée, respectivement pour les lots témoins et FVH. La consommation de foin a été stable et équivalente pour les deux lots, tout au long de l'essai. Elle était de l'ordre de  $4,2 \pm 0,14$  kg MB/JB/jour. La consommation de foin a représenté 43 et 38 % de la matière sèche ingérée, respectivement pour les lots témoins et FVH. La matière sèche totale ingérée moyenne était de  $8,8 \pm 0,3$  et  $9,9 \pm 0,3$  kg MB/JB/jour, respectivement pour les lots témoins et hydroponiques. Soit 1,1 kg MN/JB/jours supplémentaire pour le lot testé, lié à l'ajout de FVH. Donc, le lot FVH a consommé 14 % de fourrage en plus que le lot témoin, ce qui représente 12 % de matière sèche ingérée en plus. Cela impacte l'apport journalier en énergie et protéines.

Graphique 1 : Composition de la ration



L'apport énergétique journalier est de 8,23 UFV, contre 7,28 pour le lot témoin (tableau 5), soit un apport supplémentaire de 13 %. L'apport journalier en protéines est de 1066 g de PDI, contre 964 g de PDI pour le lot témoin, soit un supplément de 11 %. Les teneurs en cellulose, NDF, ADF sont comparables pour les deux rations et sont favorables à une bonne rumination. La densité énergétique est équivalente pour les deux lots, de l'ordre de 0,83 UF/kg MS. Elle est plutôt faible pour ce type d'animal (objectif de 1 UFV/ kg MS). Le rapport PDI/UFV est déséquilibré en protéines. En engraissement, on préconise un apport de 110-120 g PDI/ UF en phase de croissance, puis 90-100 g PDI/UF en finition (INRA, 2007). Les valeurs des rations évaluées, de l'ordre de 131g PDI/UF, laissent supposer des protéines excédentaires et non valorisées. La quantité d'azote rejetée par l'animal, via les fèces et l'urine, augmente presque proportionnellement au rapport PDI/UF (Nicol *et al*, 2003). Donc la perte serait plus importante pour le lot témoin. La complémentation est à revoir, dans les deux cas, pour une meilleure valorisation des protéines apportées. Les indices de consommation, durant la phase d'essai, sont équivalents :  $6,7 \pm 0,21$  et  $6,8 \pm 0,67$  kg MS/ kg de croit respectivement pour le lot témoin et hydroponique. La consommation d'eau du lot FVH a été de  $39,91 \pm 2,33$  l/JB/jour, contre  $43,96 \pm 1,10$  l/JB/jour pour le lot témoin. Cet écart de  $4,05 \pm 0,92$  litres représente une diminution de 9 % de la consommation d'eau. Cette différence peut s'expliquer par l'apport journalier de  $4,43 \pm 0,44$  litres d'eau via le FVH.

Tableau 5 : Ration journalière théorique (kg MS/animal/jour \*)

	T	FVH
<b>FOIN CHLORIS</b>	3,7	3,7
<b>BV 60</b>	4,1	4,1
<b>BV 82</b>	1,0	1,0
<b>FVH</b>	0,0	1,0
<b>MS T</b>	8,8	9,9
<i>UFV (u/j)</i>	7,9	8,2
<i>PDI (g/j)</i>	964	1066
<i>CELL (%)</i>	17	17
<i>NDF (%)</i>	41	40
<i>ADF (%)</i>	22	21
<i>UF/ kg MS</i>	0,82	0,83
<i>PDI/UFV</i>	132	129

\* moyenne pondérée



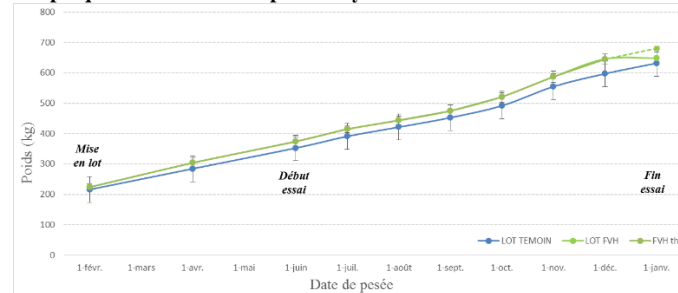
Dans le cadre de l'essai réalisé en parallèle au GAEC REBOULE, où le FVH représentait 32 % de la consommation de fourrage, le FVH est venu se substituer au foin et la consommation totale de MS a été identique au témoin.

## 2.3 PERFORMANCES DES JEUNES BOVINS ET CONTROLEES A L'ABATTOIR

**Performances des jeunes bovins :** Il a été observé, une quinzaine de jours après le début de l'essai, que le lot FVH paraissait plus typé viande avec des meilleurs dessus (épaules, dos, et épaisseur de dessus) et un arrondi de culotte plus marqué. Le lot témoin était plus typé élevage avec une note d'état moins importante. Ce sont des observations qui ont été retrouvées sur les deux ateliers. Sur la période d'essai, le lot FVH a obtenu une croissance de  $1659 \pm 182$  g/jour, contre  $1441 \pm 44$  g/jour pour le lot témoin.

Cette différence de 218 g de croissance, n'est statistiquement pas significative, du fait de la forte variabilité intra lot du lot FVH. Cela représente un gain de 15% par rapport au témoin. Les valeurs de GMQ obtenues correspondent aux résultats moyens de l'atelier, de l'ordre de 1300-1400 g/jour, excepté pour les pesées du mois d'octobre et novembre qui étaient supérieures. Les résultats sont en

**Graphique 2 : Evolution du poids moyen des animaux au cours de l'essai**



moyenne supérieurs à ceux de la coopérative ( $973 \pm 22$  g/jour) de par la valeur génétique des animaux de l'élevage. Le croit sur la période d'essai est de  $176 \pm 5$  et  $202 \pm 22$  kg, respectivement pour les lots témoin et FVH, soit une croissance supérieure de 15 % pour le lot FVH. En début d'essai, on observe un écart de poids de 22 kg entre les deux lots, au bénéfice du lot FVH (+6 %). Cet écart de poids augmente progressivement pour atteindre 48 kg à la pesée effectuée un mois avant l'abattage (+8%). Cet écart n'est plus que de 17 kg à l'abattage des animaux, en raison d'une perte de poids d'un JB malade (pneumonie) du lot FVH (GMQ de  $-2226$  g/jour sur la période), qui fait chuter la moyenne du lot. (Dans l'hypothèse d'un maintien de croit, l'écart aurait été maintenu à 47 kg ; graphique X)). Les lots témoins et FVH ont été abattus à un poids vifs respectivement de  $632 \pm 24$  et  $649 \pm 18$  kg, soit un écart de 17 kg (3 %) en faveur du lot FVH. La note d'état de sortie est équivalente pour les deux lots, de l'ordre de 6-7.

**Caractéristiques des carcasses contrôlées à l'abattoir :** A l'abattage, le lot FVH obtient un poids de carcasse moyen de  $417 \pm 16$  kg, contre  $391 \pm 14$  kg pour le lot témoin. On a un écart de 26 kg, qui n'est pas statistiquement significatif et correspond à un gain de 6 % par rapport au témoin. Le rendement carcasse du lot FVH est de  $64 \pm 0,77$  %, contre  $62 \pm 0,95$  % pour le lot témoin. L'écart de 2,3 %, est statistiquement significatif et correspond à un gain de rendement de 4% par rapport au témoin. Ce résultat traduit une densité musculaire plus importante, qui vient valider les observations visuelles. C'est une tendance qui a également été observée pour l'essai réalisé au GAEC REBOULE,

avec un écart de 2 %, non significatif, pour le lot FVH. La conformation des carcasses est bonne. Les lots FVH et Témoin obtiennent une note équivalente (U=) et conforme aux résultats moyens de l'atelier en 2014 (U=). L'état d'engraissement des deux lots est bon (3-) et un peu au-dessus du résultat moyen de l'atelier (2-). Deux animaux du lot FVH ont été malades le mois avant l'abattage et ont dû être abattus

**Tableau 6 : Résultats zootechniques des lots évalués**

Lot	Témoin	FVH	Significativité (*0,05)
Durée de l'essai (jour)	149 jours		
Age à l'abattage (mois)	16 mois		
Poids début d'essai (kg)	421 ± 18	443 ± 13	NS
Poids vif abattage (kg)	632 ± 24	649 ± 18	NS
Croissance (kg)	176 ± 5	202 ± 22	NS
Note d'état	6,6 ± 0,24	6,8 ± 0,20	NS
GMQ/ période essai (g/jour)	1441 ± 44	1659 ± 182	NS
Poids de carcasse (kg)	391 ± 14	417 ± 16	NS
Rendement carcasse (%)	62 ± 0,95	64 ± 0,77	*
Conformation (a)	13,8 ± 0,2	13,4 ± 0,24	NS
Etat d'engraissement (b)	7,6 ± 0,24	6,8 ± 0,25	NS

(a) 13 : U- ; 14 : U= ; 15 : U+ ; (b) 6 : 2+ ; 7 : 3- ; 8 : 3= ; 9 : 3+

avec une semaine de décalage. Il est possible que cela ait impacté leurs résultats zootechnique, ainsi que ceux du lot.

## 2.4 RESULTATS ECONOMIQUES

**Coûts d'alimentation :** Les couts d'aliments distribués durant l'essai, sont respectivement, pour le foin, le BV60, le B82 et le FVH de 320, 373, 367 et 180 € la tonne de matière brute. L'ajout de fourrage hydroponique dans la ration induit un surcoût de 0,99 € par animal et par jour (tableau 7), soit une dépense supplémentaire de 28 %. Sur la période de l'essai, cela correspond à une dépense supplémentaire de 130 €. La différence de consommation d'eau pèse peu sur le coût d'alimentation, compte tenu du faible prix de l'eau. Sur la période de l'essai, l'écart est de 0,5 €.

**Tableau 7: Coût journalier de l'alimentation sur la période de l'essai (€/JB/jour)**

	T	FVH
<b>FOIN CHLORIS</b>	1,34	1,34
<b>BV 60</b>	1,69	1,69
<b>BV 82</b>	0,41	0,41
<b>FVH</b>	0,00	0,99
<b>EAU</b>	0,04	0,03
<b>Total :</b>	<b>3,5</b>	<b>4,5</b>

**Prix de vente des animaux :** Les carcasses ont été achetées à un prix moyen de 5,54 € / kg car. Les carcasses ont été payées  $2\,297 \pm 87$  € pour le lot FVH, contre  $2\,162 \pm 70$  € pour le lot témoin. L'écart de 135 € par carcasse, représente un gain de 6 % par rapport au témoin.

**Marge brute :** Quand on déduit le coût d'alimentation au prix d'achat des animaux, le lot hydroponique obtient une marge brute de 1506 €, contre 1501 € pour le lot témoin. Cet écart de 4,39 € correspond à un surcoût de 0,3 % par rapport au témoin. Le coût d'alimentation, sur la durée de l'essai, ramené au gain de poids vif, est de 2,92 €/kg pour le lot FVH, contre 2,70 €/kg pour le témoin. Cet écart de 0,21 €/kg représente un surcoût de 8 % par rapport au témoin. Le coût d'alimentation, sur la durée d'engraissement, ramené au poids de carcasse vendu, est de 1,90 €/kg de carcasse. Pour le lot FVH, contre 1,69 €/kg de carcasse pour le témoin. Cet écart de 0,21 €/kg de carcasse. Correspond à un surcoût de 12 % par rapport au témoin.

Dans le cadre de cet essai, l'introduction du fourrage hydroponique dans l'alimentation, induit un surcoût de 28 %. Celui-ci est compensé presque totalement, par le gain lié à la vente d'animaux dont le rendement carcasse est meilleur (+ 6 %). On obtient ainsi un écart de 0,3 % sur la marge brute finale. Il est à noter qu'il n'y a pas eu d'ajustement des concentrés par rapport à la valeur alimentaire du FVH. Chose qui devrait être faite normalement et devrait compenser en partie le surcoût, mais pourrait également influencer sur les performances des animaux. En finition, si on diminuait de 0,5 kg les apports respectifs de BV 60 et BV 82, de sorte à avoir un apport équivalent en azote et énergie et toujours dans l'hypothèse d'une consommation équivalente de foin, on obtiendrait une diminution du coût de ration de 0,4 €/JB/jour. Cela impacterait certainement la croissance, mais pas nécessairement le rendement carcasse, comme ce qui a été observé au GAEC REBOULE. Dans le cadre de cet essai, l'introduction de FVH a induit une baisse de la consommation de foin et une production de carcasses avec un meilleur rendement. Cela a compensé une partie du surcoût du FVH, avec un écart de 8 % sur la marge brute finale. Cela démontre qu'il y a un travail d'ajustement à faire pour trouver le juste équilibre technico-économique. Il faut noter également, qu'à ce jour, les coûts de production du FVH, tels qu'ils ont été déterminés dans le cadre de l'étude, ne sont pas optimisés. Et qu'il y a là un gain de rentabilité à ne pas négliger.

## 3. SYNTHÈSE ET CONCLUSION

Le fourrage hydroponique a été très bien accepté par les animaux et l'essai a validé le caractère très appétent de ce fourrage. Ajouté à la ration, à hauteur de 21 % des besoins en fourrages il a été consommé sans impacter la consommation de foin, d'où une consommation globale de fourrage supérieure (+ 14 %). Dans le cadre de l'essai réalisé en parallèle au GAEC REBOULE où le FVH représentait 29 % de la consommation de fourrage, le FVH est venu se substituer au foin et la consommation de celui-ci a été inférieure de 29 % au témoin. On peut se demander si cette différence est liée au type génétique des animaux ou si cela est dû à la proportion à laquelle est apportée le FVH dans la ration. De par son taux

d'humidité élevé, le fourrage hydroponique a induit une diminution de la consommation d'eau à l'abreuvoir (- 9 %), équivalente à celle qu'il apportait (4,5 l/ JB/jour). Le manque de données sur la consommation journalière de foin des animaux n'a pas permis une analyse fine de la qualité chimique et nutritionnelle de la ration ingérée. Cependant, il ressort de ces essais que la complémentation n'était pas la plus appropriée, dans les deux cas. Aussi, il faudrait la revoir pour permettre une meilleure valorisation des protéines apportées et une croissance optimale des animaux. Il a été observé une tendance à une meilleure croissance des animaux (+ 15 %), qui peut être liée à un apport en énergie et protéines légèrement plus élevé. Visuellement, les animaux du lot FVH avaient un dos plus large et plus plein. Ils étaient plus massifs et musculairement plus denses. C'est une observation qui a été validée par un rendement carcasse plus élevé (+ 2%), sur les deux essais. Les résultats de conformation et de note de gras diffèrent pour les deux essais. Dans cet essai, les notes sont équivalentes, voire légèrement inférieures pour le lot FVH. Alors que pour le lot FVH du GAEC REBOULE, on obtient une meilleure conformation des animaux et une meilleure note de gras. Cela peut s'expliquer par une complémentation différente en aliment et FVH (proportion BV 60/82, FVH) au cours de l'essai et au type génétique de chaque élevage. C'est un fourrage, qui ajouté à la ration, génère un surcoût qui est presque totalement compensé par le gain sur le rendement. Au GAEC REBOULE, le surcoût était partiellement compensé par la diminution de consommation de foin et par le gain sur le rendement et la qualité des carcasses. Il restait cependant une dépense supplémentaire de 8 %. Dans les deux cas, il faut relever que les doses de concentrés apportées n'ont pas été ajustées en prenant en compte la richesse du FVH, ce qui pourrait compenser en partie le surcoût. D'où la nécessité de définir dans quelle proportion et avec quel(s) aliment(s), ce fourrage doit être apporté.

## ANNEXE 6 : UTILISATION DU FOURRAGE VERT HYDROPONIQUE EN PRODUCTION DE VIANDE BOVINE – ESSAI SUR JEUNES BOVINS CROISES LIMOUSINS, REALISE AU GAEC REBOULE

Auteurs : Maëva MIRALLES-BRUNEAU<sup>1</sup>, Charles-Emile BIGOT<sup>2</sup>, David FORGET<sup>3</sup>, David GRANGETTE<sup>4</sup>, Mickael PAYET<sup>5</sup> ; avec la collaboration de Jean-Luc BENARD<sup>6</sup>, Jean-Louis REBOULE<sup>7</sup> ;

<sup>1</sup>Ingénieure d'expérimentation, SicaRévia; <sup>2</sup>Responsable technique, SicaRévia; <sup>3</sup> Conseiller pastoralisme, ARP; <sup>4</sup> Conseiller zootechnique, SicaRévia; <sup>5</sup>Contrôleur de Performance, Chambre d'Agriculture; <sup>6</sup>Responsable technique SEDAEL; <sup>7</sup> Eleveur, GAEC REBOULE;

### RESUME

La filière de viande bovine de la Réunion, afin de remplir ses objectifs de croissance et fournir l'offre fourragère nécessaire à la croissance de son cheptel, en contexte contraint, a mis en œuvre une étude d'évaluation de la production de fourrage hors-sol. Un essai alimentaire a été réalisé sur deux lots de 6 jeunes bovins Limousins croisés, sur une période d'engraissement de 203 jours. Cela, afin d'évaluer les effets de l'introduction de Fourrage Vert Hydroponique (FVH), en tant que complément fourrager dans la ration, à hauteur de 30 % des besoins théoriques en fourrage. C'est un fourrage qui s'est avéré très appétent, qui a été rapidement accepté par les animaux. Le lot FVH a une consommation de foin inférieure à celle du témoin (- 29 %), à hauteur de la MS apportée par le FVH. L'écart théorique des apports en énergie et azote sont négligeables. En phase de finition, Il a été observé une meilleure stabilité du pH du rumen du lot FVH, suite un changement brusque de fourrage de base. On observe des performances de croissance similaires pour les deux lots, ce qui s'explique aisément par un rationnement équivalent. Les résultats d'abattage diffèrent quelque peu, avec rendement carcasse légèrement supérieur au témoin (+ 2%), tendance que l'on retrouve sur les autres essais, et une conformation des carcasses qui est supérieure d'un tiers de classe. L'introduction de FVH induit un surcoût de la ration qui est partiellement compensé par une consommation moindre de foin et un rendement carcasse plus important. Les résultats de l'essai laissent à penser que le rationnement à base de FVH est à approfondir et qu'il serait souhaitable de renouveler l'expérience en testant différents niveaux d'apport de FVH, en ajustant le type et le niveau de complémententation, avec un suivi plus précis de l'alimentation.

### INTRODUCTION

La filière bovine de la Réunion s'est fixée comme objectif d'augmenter le cheptel de Ruminants de 40 % d'ici 2021, pour répondre à la demande locale de viande (Projet Défi). Pour pérenniser durablement ce programme de développement, il est nécessaire d'assurer une production fourragère locale à la hauteur de ces objectifs. La production herbagère de l'île souffre de manière systémique d'irrégularités de la quantité et de la qualité de fourrages produits au cours de l'année. Cela entraîne des situations de déséquilibre entre l'offre alimentaire et la demande des troupeaux. Ces problématiques de déficit fourrager se sont accentuées ces dernières années, avec des épisodes de sécheresse de plus en plus marqués au cours de l'hiver austral. Dans les années à venir, le fort développement démographique risque d'accentuer une pression foncière urbaine déjà problématique dans le contexte insulaire du département, ce qui peut impacter les surfaces fourragères disponibles. Ces contraintes, de plus en plus prégnantes dans les années à venir, imposent d'assurer et de sécuriser la production fourragère à moyen et long terme. Cela passe par une optimisation du système herbager existant et une diversification des ressources alimentaires. La profession s'est fortement mobilisée ces dernières années, pour trouver des voies de diversification, avec la mise en place de nouvelles prairies et la structuration d'une filière de commercialisation de foin, l'importation de fourrage et la valorisation des parcelles de cannes sucrières non exploitées par la filière canne. On observe depuis le début des années 2000, dans diverses régions du globe présentant des problématiques de déficit fourrager, le développement de techniques de production de fourrage hors-sol. Basées sur le principe de la graine germée, ces techniques permettent de faire pousser des tapis de jeunes plantes de céréales dans des plateaux et d'obtenir en 7 à 10 jours une biomasse importante et de qualité constante. La production de fourrage hors-sol pourrait être envisagée

comme une alternative à la Réunion. Elle représenterait une voie d'intensification de la production de biomasse de qualité, en étant plus efficiente en terme de surfaces, d'utilisation d'eau, tout en se dédouanant des contraintes climatiques. Cette production fourragère pourrait être intéressante pour la filière d'engraissement de jeunes bovins, qui est sensible en terme d'approvisionnement quantitatif et qualitatif de fourrages. Les ateliers d'engraissement sont majoritairement localisés dans « les Bas » de l'île, principalement dans des exploitations diversifiées, en systèmes quasi hors-sol. Ils engraisent à l'âge pendant 10 à 12 mois, les broutards issus des élevages naisseurs « des Hauts ». Ils possèdent peu de surface fourragère et l'en fourragement se fait principalement à base de paille de canne, à la valeur alimentaire faible. Le développement du FVH sur ce type d'atelier, pourrait permettre d'améliorer leur autonomie fourragère, tout en améliorant la qualité nutritionnelle du fourrage apporté. Cet essai, réalisé au GAEC REBOULE, sur deux lots de 6 taurillons croisés limousins, sur une durée d'engraissement, visait à évaluer si le fourrage hydroponique peut être une complémentation en fourrage intéressante, pour de l'engraissement de taurillons en bâtiment. Il a été réalisé en parallèle d'un autre essai, à l'EARL PICARD, situé sur le même secteur géographique, sur deux lots de 5 taurillons limousins.

## 1. MATERIELS ET METHODES

L'essai visait à évaluer si le fourrage hydroponique peut être un complément en fourrage intéressant, pour de l'engraissement de taurillons en bâtiment. Il a cherché à déterminer si l'introduction de FVH dans la ration avait un effet sur la consommation, les résultats zootechniques et d'abattage des animaux.

### L'ATELIER

Le GAEC REBOULE est un élevage naisseur et engraisseur en limousins croisés. Le cheptel est composé de 100 vaches et génisses. La surface fourragère est composée de 93 ha de kikuyu. Les animaux entrent dans l'atelier d'engraissement à 7-11 mois et sont abattus entre 17 et 24 mois. Les résultats de croissance sont de l'ordre de 900-1000 g/jour. Les animaux sortent avec un poids vif de 580-600 kg. Le poids carcasse moyen est de  $355 \pm 3,5$  kg, avec une note de conformation U- et une note de gras de 2+. Le GAEC présente un déficit de terrain par rapport à son cheptel. Les épisodes de sécheresse depuis 2010 ont mis à mal son stock de fourrage.

### LES ANIMAUX

L'essai a porté sur deux lots de 6 broutards croisés Limousins. Les animaux sont nés sur l'exploitation et ont été sevrés à 4 mois. La mise en lot a été réalisée à 11 mois, sur des critères d'âge, de poids et de classe (tableau 1).

**Tableau 1 : Caractéristiques des jeunes bovins à la mise en lot**

Lot	Témoin	FVH
Effectif	6	6
Age (jours)	$360 \pm 14$	$347 \pm 23$
Poids (kg)	$326,5 \pm 7,7$	$302,5 \pm 18,4$
GMQ naissance- mise en lot	$796 \pm 30$	$741 \pm 46$
Classe	$3 \pm 0,0$	$2,8 \pm 0,1$

### LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

**Régimes comparés :** Deux régimes d'engraissement à base de foin de Chloris (*Chloris gayana*) ont été mis en comparaison : 1) **lot témoin** : foin de Chloris « à volonté » et concentré pour bovin, selon les pratiques de l'éleveur ; 2) **lot FVH (Fourrage vert hydroponique)** : foin de Chloris « à volonté » et concentré pour bovin, auxquels ont été ajoutés 30 % des besoins théoriques en fourrage sous la forme de FVH d'orge de  $7 \pm 1$  jours;

Le foin a été apporté à volonté. Le concentré a été rationné selon les pratiques habituelles de l'éleveur, à dose équivalente pour les deux lots. Le FVH a été apporté en plus de la ration de base « foin & concentré », en tant que complémentation en fourrage. Aussi, les rations n'étaient pas iso-énergétiques et iso-protéiques. Les caractéristiques des aliments utilisés sont décrites dans le tableau 2.

**Production de FVH :** Il a été utilisé des semences d'orge brassicole (*Hordeum vulgare*), variété ARTURIO. Les graines étaient mises à tremper 8 à 18 heures, égouttées et semées à une densité de 7 kg/m<sup>2</sup>.

La germination était réalisée dans une chambre de culture fermée (EC-2-T, Eleusis Int. S.A.). La température et l'humidité étaient contrôlées ( $18 \pm 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$  ;  $60\text{-}100 \text{ \%H}$ ), et le module était éclairé 12 heures par jour (lampes fluorescentes de 58 W). La culture était irriguée par immersion une fois par jour ( $2 \pm 0,1 \text{ l/kg MB}$ ). La récolte était réalisée au stade plantule  $7 \pm 1$  jour. Il a été observé un rendement moyen de  $3,89 \pm 0,10 \text{ kg}$  de fourrage vert produit pour  $1 \text{ kg}$  de grain sec semé, à  $19,67 \pm 0,68 \text{ \% MS}$ .

**Logement des animaux :** les animaux étaient logés en box par lot, dans un bâtiment couvert, semis ouvert.

**Tableau 2 : Caractéristiques moyennes des aliments distribués**

	BV 60	BV 82	FOIN	ENSILAGE
<b>Composition chimique :</b>				
Taux MS (%)	90	90	90	47
Energie (kcal)	1693	1911	1310	1019
Protéines (%MS)	21,0	13,0	10,9	8,8
CELL (%)	6,00	7,00	33,23	36,61
NDF (%)	22,00	14,00	70,90	66,04
ADF (%)	11,00	6,00	39,50	41,63
CA (g/kg)	0,90	0,60	/	/
P (g/kg)	0,50	0,25	/	/
<b>Valeurs nutritives :</b>				
UFV (%)	93	105	72	56
PDIN (g/kg)	148	100	90	51
PDIE (g/kg)	125	100	89	47,5

**Mesures et enregistrements au cours de la période de production :** les animaux ont été pesés en entrée et en sortie d'essai, ainsi qu'une fois par mois pendant toute la durée d'expérimentation. La note d'état a été déterminée à l'entrée et à la sortie. La consommation en foin des animaux a été mesurée ponctuellement par l'éleveur. La consommation d'eau a été suivie à l'aide d'un compteur fixé sur les abreuvoirs. La température et l'humidité au sein du bâtiment ont été enregistrées à l'aide d'un capteur (DL-141TH DATALOGGER, VOLT CRAFT®). 90 jours avant la fin de l'essai, un capteur du pH ruminal (smaXtec®) a été placé sur trois animaux, dans chaque lot. Celui-ci a relevé le pH et la température du rumen toutes les 10 minutes.

**Contrôle à l'abattoir :** à l'abattage des animaux, le poids de carcasse a été relevé. Les carcasses ont été évaluées selon la grille EUROP sur deux critères : la conformation (développement musculaire) et l'engraissement. Une carcasse de chaque lot a été confiée à un boucher spécialisé afin qu'il donne son expertise sur la qualité de la viande.

## 2. RESULTATS

L'essai a duré 203 jours sur 265 jours d'engraissement. Pendant cette période, la température moyenne et l'humidité relative au sein du bâtiment étaient de  $19 \pm 0,06 \text{ }^\circ\text{C}$  et  $82 \pm 0,2 \text{ \%}$  (tableau 3). Le suivi de la consommation de foin a été réalisé ponctuellement, sur la période du 30/07/2014 au 19/11/2014. Deux animaux du lot FVH ont présenté, les deux premiers mois de l'essai, une consommation faible en foin de chloris. Les deux derniers mois, le foin de Chloris a été remplacé par l'éleveur par de l'ensilage de kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) produit sur l'exploitation. Les animaux ont été abattus à 18 mois.

**Tableau 3 : Conditions de température et d'humidité au sein du bâtiment au cours de l'essai**

	Température ( $^\circ\text{C}$ )	Humidité (%)
Moyenne	$19 \pm 0,06$	$82 \pm 0,2$
Min	9	38
Max	35	100

### 2.1. CARACTERISTIQUES BROMATOLOGIQUES ET VALEUR NUTRITIVE DU FOURRAGE VERT HYDROPONIQUE

Au cours du processus de germination, il y a eu une modification de la composition chimique de la graine, qui est devenue plantule (tableau 4). Le taux de matière sèche a diminué. Il y a eu une perte de matière sèche de  $25,97 \pm 1,96 \text{ \%}$  liée à la croissance de la plante et à sa respiration. On observe une perte d'amidon ( $- 41 \text{ \%}$ ) liée à la mobilisation des réserves de la graine pour la croissance des racines et feuilles. Les taux de cellulose, ADF et NDF ont augmenté ( $+ 6$  ;  $6,5$  et  $11 \text{ \%}$ ), en lien avec la synthèse de feuilles. Le taux de protéines a augmenté de  $2,5 \text{ \%}$ . La digestibilité de la matière sèche a diminué de  $11 \text{ \%}$ . Globalement, les teneurs en vitamines et minéraux sont restées équivalentes. Excepté pour les teneurs en Fer et Sodium, qui augmentent de  $17$  et  $46 \text{ \%}$ , les teneurs en vitamine D sont équivalentes à celles d'un fourrage vert et foin classique ( $0,03\text{-}0,05 \text{ ui/g}$ ), et inférieures à celles d'un ensilage de graminées ( $0,2 \text{ ui/g}$ ). Les teneurs en vitamines A sont inférieures à celles d'un fourrage classique ( $5$  à  $100 \text{ ui/g}$ ). C'est un aliment avec une bonne concentration énergétique ( $91 \text{ UFV}$ ) et un rapport

PDIE/PDIN équilibré. Il présente de meilleures valeurs énergétiques et protéiques que le foin de Chloris ou l'ensilage de Kikuyu utilisé dans le cadre de l'essai (tableau 2), bien qu'ayant un taux de matière sèche plus faible.

Le taux d'amidon laisse supposer un aliment moins acidogène que le grain initial. La valeur NDF du FVH est intéressante, car elle correspond au niveau qui est recherché pour la ration globale (35-40 %).

## 2.2. CONSOMMATION ALIMENTAIRE

Le FVH a été apporté progressivement aux animaux : à hauteur de  $3,3 \pm 0,1$  et  $4,3 \pm 0,1$  kg de matière brute par animal et par jour ( $0,6 \pm 0,01$  et  $0,8 \pm 0,01$  kg MS/ JB/jour) le 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> mois, puis  $6 \pm 0,1$  kg MB/ JB/jour ( $1,1 \pm 0,01$  kg MS/ JB/jour) jusqu'à la sortie des animaux. Le FVH a été très rapidement accepté par les animaux (2-3 jours). Il n'a été observé de refus qu'en fin d'engraissement, de l'ordre de quelques 10-100<sup>e</sup> de gramme. Les concentrés (BV60, BV82) sont apportés à part égale dans les rations, tout le long de l'essai. Ils représentent 55 % de la matière sèche ingérée les quatre premiers mois de l'essai. Puis ils augmentent progressivement jusqu'à représenter 71 % de la matière sèche ingérée, sur les trois derniers mois. La consommation de foin de chloris, avant le démarrage des essais, est équivalente pour les deux lots. Avec l'introduction du FVH, il a été observé une diminution de la consommation de foin du lot FVH (-29 %) par rapport au témoin. On observe un écart moyen de  $1,0 \pm 0,1$  Kg MS/ JB/jour, entre les deux lots, ce qui correspond à l'ingestion de FVH. Pendant les 5 premiers mois de l'essai, l'alimentation est à base de foin de chloris. Les apports en énergie et protéines sont équivalents pour les deux lots (tableau 5). La concentration énergétique est du même ordre, 0,85 UF/ kg de MS. Le rapport PDI/UFV est de l'ordre de 121g PDI/UFV, soit légèrement supérieur aux recommandations (100 g PDI/UF). Le taux de cellulose est de NDF du lot témoin est bon. Le taux de cellulose de la ration FVH est très légèrement en dessous des recommandations (> 18 %), mais le taux NDF est bon. Sur les derniers 46 jours de l'essai, les animaux sont nourris avec une base d'ensilage de kikuyu. Les apports en énergie et protéines sont équivalents pour les deux lots (tableau 6). La concentration énergétique est du même ordre, 0,90 UF/ kg de MS. Le rapport PDI/UFV est de l'ordre de 115 g PDI/UFV, soit légèrement supérieur aux recommandations (90 g PDI/UF). Les taux de cellulose et de NDF sont en dessous des recommandations pour une bonne rumination (respectivement > 18 %, et > 35 %). Le remplacement du foin par de l'ensilage a abaissé le taux de fibres des rations, et il y a un risque d'acidose. Sur toute la durée de l'essai, la consommation de matière sèche est équivalente pour les deux lots. Le fourrage représente 40 % de la matière sèche ingérée (graph. 1) pour les deux lots. Pour le lot évalué, le FVH représente  $32 \pm 1$  % de la consommation de fourrage (MS) et  $13 \pm 0,8$  % de la consommation totale de matière sèche. Les indices de consommation, durant la phase d'essai, sont équivalents :  $5,9 \pm 0,2$  et  $5,8 \pm 0,3$  kg MS/ kg de croît

**Tableau 4 : Composition chimique et valeurs alimentaires de l'orge grain et hydroponique (6-8 j.)**

	GRAIN	FVH
<b>Bromatologie :</b>		
<b>matière sèche</b> (g/100g MB)	93,45	17,78
<b>amidon</b> (g/100g MS)	57,50	16,84
<b>matière grasse</b> (g/100g MS)	2,20	2,92
<b>cellulose</b> (g/100g MS)	6,90	12,65
<b>ADF</b> (g/100g MS)	8,75	15,22
<b>NDF</b> (g/100g MS)	23,35	34,47
<b>protéine</b> (g/100g MS)	10,90	13,36
<b>DMS</b> (g/100g MS)	86,95	76,20
<b>Minéraux :</b>		
<b>Ca</b> (g/100g MS)	0,07	0,07
<b>Mg</b> (g/100g MS)	0,12	0,13
<b>P</b> (g/100g MS)	0,37	0,44
<b>K</b> (g/100g MS)	0,57	0,48
<b>Na</b> (mg/kg MS)	29,57	75,33
<b>MgCL2</b> (g/100g MS)	0,21	0,13
<b>Cu</b> (mg/kg MS)	5,00	5,00
<b>Fe</b> (mg/kg MS)	46,96	63,94
<b>Zn</b> (mg/kg MS)	30,00	30,33
<b>Mn</b> (mg/kg MS)	20,50	23,56
<b>Valeur alimentaire :</b>		
<b>UFV</b> (u/kg)	1,01	0,91
<b>PDIE</b> (g/kg MS)	100	103
<b>PDIN</b> (g/kg MS)	75	91
<b>PDIA</b> (g/kg MS)	32	39

**Tableau 5 : Ration journalière à base de foin (kg MS/animal/jour \*)**

	T	FVH
<b>FOIN</b>		
<b>CHLORIS</b>	3,5	2,5
<b>BV 60</b>	2,2	2,2
<b>BV 82</b>	2,2	2,2
<b>FVH</b>	0,0	1,0
<b>MS T</b>	7,9	7,9
<b>UFV (u/j)</b>	6,7	6,9
<b>PDI (g/j)</b>	810	825
<b>CELL (%)</b>	18	16
<b>NDF (%)</b>	41	36
<b>ADF (%)</b>	21	19
<b>UF/ kg MS</b>	0,84	0,87
<b>PDI/UFV</b>	122	119

\* moyenne pondérée

**Tableau 6 : Ration journalière à base d'ensilage (kg MS/animal/jour \*)**

	T	FVH
<b>ENSILAGE</b>		
<b>KIKUYU</b>	2,1	1,4
<b>BV 60</b>	3,2	3,2
<b>BV 82</b>	3,2	3,2
<b>FVH</b>	0,0	1,1
<b>MS T</b>	8,4	8,9
<b>UFV (u/j)</b>	7,47	8,14
<b>PDI (g/j)</b>	856	935
<b>CELL (%)</b>	13	11
<b>NDF (%)</b>	30	28
<b>ADF (%)</b>	16	14
<b>UF/ kg MS</b>	0,89	0,91
<b>PDI/UFV</b>	115	115

\* moyenne pondérée sur la durée de l'essai

respectivement pour le lot témoin et hydroponique. La consommation d'eau des deux lots est respectivement de  $31,58 \pm 3,4$  et  $25,45 \pm 2,9$  l/JB/jour, soit un écart de  $5,23 \pm 0,7$  litres.

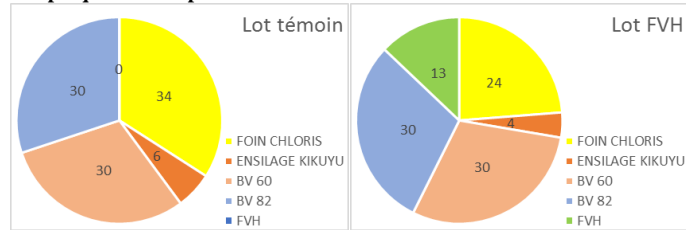
Cette différence de consommation peut s'expliquer en partie par l'apport journalier de  $3,46 \pm 0,8$  litres d'eau via le FVH et à une sensation de soif moins importante du fait de l'ingestion d'un fourrage humide.

### 2.3 SUIVI DU PH RUMINAL EN PHASE DE FINITION

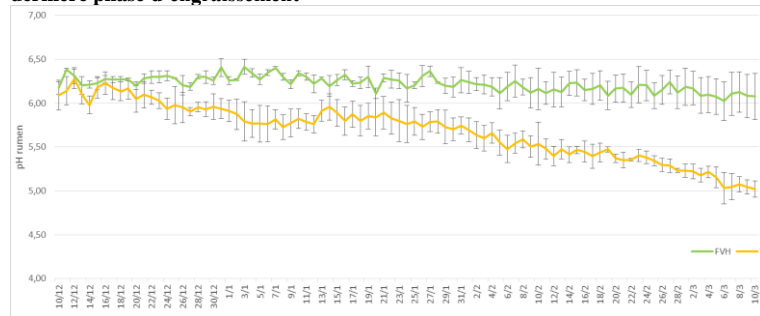
Le suivi du pH ruminal a duré du 10/12/2014 au 10/03/2015, soit 90 jours. Sur cette période, la valeur moyenne du pH ruminal des lots témoins et FVH est respectivement de  $5,68 \pm 0,02$  et  $6,22 \pm 0,02$ . La différence observée entre les deux lots ( $-0,54 \pm 0,01$  pour lot témoin, soit  $-9\%$ ) est significative d'un point de vue statistique. Le pH du rumen est naturellement légèrement acide (entre 6,8 et 6). Un animal est considéré en état d'acidose lorsque le pH est inférieur à 6 pendant plus de 4 heures.

On parle d'acidose ruminale latente, lorsqu'on observe un pH très variable au cours de la journée (chute importante après les repas, puis remontée progressive). Sur la période de suivi (graphique 2), on observe un maintien du pH ruminal du lot FVH, alors que celui du lot témoin diminue ( $-1$  point), pour atteindre une valeur qui peut présenter un risque d'acidose ( $> 5,5$ ). Au cours de la journée, on observe, pour les deux lots (graphique 3) une diminution du pH après les deux repas de concentrés et FVH ( $\sim 6h$  et  $14h$ ), suivi d'une stabilisation et une remontée du pH. Au cours de la journée, le lot FVH va présenter un pH inférieur à 6, en moyenne 3h 50 min par jour, pour une durée maximum de 3 heures. Le lot témoin va présenter un pH inférieur à 6, en moyenne 21h40 par jour, soit 82 % de temps de plus que le lot FVH. Le pH est supérieur à 6, entre 5 et 7 heures du matin, avant le repas. Aucun signe extérieur d'acidose n'a été observé chez les animaux du lot témoin (baisse d'appétit, diarrhée, boiterie, météorisation). Il a été cependant observé une chute de GMQ pour un des trois animaux suivi, de 1067 à 343 g/jour, celui qui présentait la diminution et la variation la plus importante de pH ruminal. La diminution du pH ruminal observée sur le lot témoin, intervient au moment où il y a eu un changement de fourrage. Le foin de chloris a été remplacé par de l'ensilage. Cela a modifié la composition chimique de la ration (taux de cellulose, NDF, taux de sucre) et a augmenté le risque d'acidification du pH du rumen. La différence d'évolution du pH observé sur les deux lots pourrait s'expliquer par une action mécanique du FVH. Les animaux ruminent le FVH alors que l'aliment concentré est directement ingéré. Le FVH augmenterait la rumination et donc la production de salive (riche en bicarbonate et phosphate de sodium), d'où un pouvoir tampon plus important sur le pH ruminal. Elle peut

Graphique 1 : Composition des rations évaluées

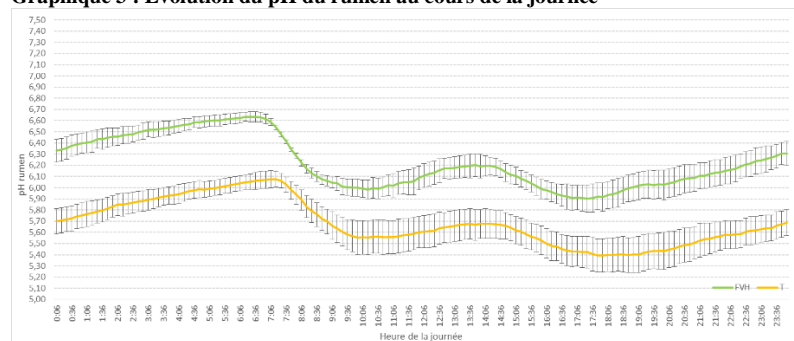


Graphique 2 : Evolution du pH du rumen des lots FVH et témoin (T) durant la dernière phase d'engraissement



celui du lot témoin diminue ( $-1$  point), pour atteindre une valeur qui peut présenter un risque d'acidose ( $> 5,5$ ). Au cours de la journée, on observe, pour les deux lots (graphique 3) une diminution du pH après les deux repas de concentrés et FVH ( $\sim 6h$  et  $14h$ ), suivi d'une stabilisation et une remontée du pH. Au cours de la journée, le lot FVH va présenter un pH inférieur à 6, en moyenne 3h 50 min par jour, pour une durée maximum de 3 heures. Le lot témoin va présenter un pH inférieur à 6, en moyenne 21h40 par jour, soit 82 % de temps de plus que le lot FVH. Le pH est supérieur à 6, entre 5 et 7 heures du matin, avant le repas. Aucun signe extérieur d'acidose n'a été observé chez les animaux du lot témoin (baisse d'appétit, diarrhée, boiterie, météorisation). Il a été cependant observé une chute de GMQ pour un des trois animaux suivi, de 1067 à 343 g/jour, celui qui présentait la diminution et la variation la plus importante de pH ruminal. La diminution du pH ruminal observée sur le lot témoin, intervient au moment où il y a eu un changement de fourrage. Le foin de chloris a été remplacé par de l'ensilage. Cela a modifié la composition chimique de la ration (taux de cellulose, NDF, taux de sucre) et a augmenté le risque d'acidification du pH du rumen. La différence d'évolution du pH observé sur les deux lots

Graphique 3 : Evolution du pH du rumen au cours de la journée





s'expliquer également par une digestion plus lente et une concentration en acides gras volatiles (ACV) moindre par rapport au lot témoin. Enfin, les graines germées sont connues pour leur forte teneur en enzymes digestives. Elles pourraient également jouer un rôle sur le maintien du niveau de pH observé. C'est un point qu'il serait pertinent d'approfondir, à travers de nouveaux tests.

## 2.4 PERFORMANCES DES JEUNES BOVINS ET CONTROLES A L'ABATTOIR

**Performances des jeunes bovins :** Il a été observé une quinzaine de jours après le début de l'essai, que le lot FVH paraissait plus typé viande avec des meilleurs dessus (épaules, dos, et épaisseur de dessus) et un arrondi de culotte plus marqué. Le lot témoin était plus typé élevage avec une note d'état moins importante. Ce sont des observations qui ont été retrouvés sur les deux ateliers. Le GMQ, sur la période de l'essai, est de  $1423 \pm 80$  g/jour pour le lot FVH, contre  $1385 \pm 50$  g/jour pour le lot témoin (tableau 7). On a un écart de 38 g, différence non significative d'un point de vue statistique, qui représente un gain moyen de 3 % par rapport au témoin. Cette non significativité s'explique par une grande variabilité au sein du lot FVH, plus importante que celle observée entre les deux lots. A noter que ces valeurs de GMQ sont supérieures à celles obtenue en temps normal par l'atelier, de l'ordre de 900-1000 g/jour et de la coopérative ( $973 \pm 22$  g/jour). Le croît, au cours de l'essai, est de  $288 \pm 16$  kg pour le lot FVH, contre  $281 \pm 10$  kg pour le lot témoin. Soit un écart moyen de 7,7 kg en faveur du lot FVH (+ 3 %), non significatif d'un point de vue statistique.

L'écart de poids moyen entre les deux lots est de  $20,4 \pm 1,6$  kg, au bénéfice du lot témoin (+3 %), et reste constant tout au long de l'essai. En fin d'essai, les taurillons présentent des poids vifs équivalents ( $600 \pm 9,9$  kg), correspondant aux valeurs moyennes de l'atelier (580-600 kg). La note d'état du lot FVH ( $5,9 \pm 0,2$ ), en sortie d'atelier, est inférieure au lot témoin ( $6,3 \pm 0,2$ ). Résultat statistiquement significatif. On observait déjà un écart de cet ordre en début d'essai. Aussi, celui-ci c'est maintenu.

**Tableau 7 : Résultats zootechniques des lots évalués**

<b>Bilan abattage :</b>	<b>FVH</b>	<b>Témoin</b>	<b>Significativité (**0.01, ***0.1)</b>
Durée de l'essai (jour)	203		
Age à l'abattage (jours)	$550 \pm 23$	$563 \pm 14$	NS
Poids début d'essai (kg)	$302,5 \pm 18,4$	$326,5 \pm 7,7$	NS
Poids vif abattage (kg)	$591 \pm 11,6$	$608 \pm 16,4$	NS
Croissance (kg)	$289 \pm 16$	$281 \pm 10$	NS
Classe	$5,9 \pm 0,2$	$6,3 \pm 0,2$	**
GMQ/ période essai (g/jour)	$1423 \pm 80$	$1385 \pm 50$	NS
Poids de carcasse (kg)	$358 \pm 9$	$355 \pm 14$	NS
Rendement carcasse (%)	$60,7 \pm 0,7$	$58,8 \pm 1,2$	NS
Conformation (a)	$14 \pm 0,22$	$13 \pm 0,33$	***
Etat d'engraissement (b)	$8 \pm 0,22$	$7 \pm 0,17$	NS

(a) 13 : U- ; 14 : U= ; 15 : U+ ; (b) 6 : 2+ ; 7 : 3- ; 8 : 3= ; 9 : 3+

**Caractéristiques des carcasses contrôlées à l'abattoir :** Les poids de carcasse sont comparables entre eux, avec un poids moyen de  $359 \pm 8$  kg et un écart de + 3 kg pour le lot FVH (+ 3 %). Les résultats sont équivalents aux résultats habituels de l'éleveur ( $355 \pm 3,5$  kg en moyenne sur 2014) et supérieurs aux résultats moyens de la coopérative ( $342 \pm 4,5$  kg en 2014). Les rendements de carcasse sont de  $58,8 \pm 1,2$  et  $60,7 \pm 0,7$  pour les lots témoins et FVH. Le lot FVH obtient un rendement supérieur de 2 %. Cet écart n'est pas significatif statistiquement. Il correspond à un gain de rendement de 3 % par rapport au témoin. Les carcasses du lot FVH présentent une conformation U=, qui est significativement supérieure à celle du témoin (U-) et du résultat habituel de l'atelier (U-). L'état d'engraissement du lot FVH est en moyenne supérieur d'un tiers de classe (3=) au témoin (3-), ainsi qu'aux résultats 2014 de l'atelier (3-), écart non significatif. Il a été observé, pour ce lot, une couche de gras répartie de façon plus homogène sur l'ensemble de la carcasse, comparativement au lot témoin où le gras était plutôt réparti sur le dos. Le boucher a observé, comparativement à la carcasse témoin et aux carcasses qu'il a l'habitude de travailler : un rendement en viande plus important sur la carcasse FVH, une viande de couleur légèrement plus claire, avec un grain plus fin, et moins exsudative. Une viande légèrement moins persillée mais sans impact sur le goût et le fondant. Enfin, une meilleure tenue en rayon.

On observe une tendance à un rendement carcasse légèrement supérieur. C'est un résultat qui a également été observé sur l'essai réalisé à l'EARL PICARD, avec un résultat supérieur de 2 % significatif pour le lot FVH. Le développement musculaire est meilleur pour le lot FVH.

L'engraissement des carcasses est meilleur et répartie de façon plus homogène. Ces résultats peuvent s'expliquer par une fabrication de muscle plus rapide des animaux du lot FVH, qui auraient atteint plus tôt leur plateau de croissance, ce qui aurait permis un dépôt plus long et plus homogène de gras autour de l'animal. Globalement, on observe des carcasses plus homogènes sur le lot FVH. L'absence de significativité de l'ANOVA, pour le rendement carcasse, peut s'expliquer en partie par un nombre d'individus par lot petit (poids statistique faible) et une forte variabilité au sein des lots. La qualité de la viande a été évaluée comme meilleur par l'expert boucher.

## 2.6 RESULTATS ECONOMIQUES

**Coûts d'alimentation :** Les couts d'aliments distribués durant l'essai, sont respectivement, pour le foin, le BV60, le B82 et le FVH de 320, 373, 367 et 180 € la tonne de matière brute. L'ajout de fourrage hydroponique dans la ration, induit un surcoût (+1,1 €/JB/jour) qui est compensé en partie par la diminution de la consommation du fourrage de base (- 0,6 €/JB/jour pour le foin, -0,3 €/JB/jour pour l'ensilage). Ainsi, pour les rations à base de foin et d'ensilage, l'alimentation va couter 0,6 et 0,8 €/JB/jour en plus avec l'ajout de FVH (tableau 8 et 9). Cela représente respectivement un surcoût de 19 et 24 % par rapport à la ration témoin. Sur la période de l'essai, on obtient un coût de ration de 131,6 € supplémentaire par animal, pour le lot FVH (+ 20 %).

**Prix de vente des animaux :** Les carcasses ont été achetées, en moyenne, à un prix de 5,5 € / kg carc. Les carcasses ont été payées, en moyenne, à 1954 ± 84 € / kg carc. pour le lot témoin, et 1990 ± 58 € / kg carc. pour le lot FVH, soit un écart de 35,9 € en faveur du lot FVH.

**Marge brute :** Si l'on déduit le coût d'alimentation au prix d'achat des animaux, on obtient en moyenne une marge brute de 1146 € pour le lot témoin et 1051 € pour le lot FVH, soit un écart de 95 € au bénéfice du lot témoin (+ 8 %). Le poids carcasse légèrement supérieur du lot FVH compense, en partie, le surcoût de l'apport de FVH. Le coût d'alimentation, sur la durée de l'essai, ramené au gain de poids vif, est de 2,30 €/kg croît pour le lot témoin et de 2,69 €/kg croît pour le lot FVH. Soit un surcoût de 0,39 € par kilo de poids vif produit (+ 17 %). Le coût d'alimentation, sur tout l'engraissement, ramené au poids de carcasse produit, est de 2,26 et 2,62 € / kg carcasse, soit un surcoût de 0,36 € pour le lot FVH.

Dans le cadre de cet essai, l'introduction du FVH dans l'alimentation, induit un surcoût de l'alimentation de 20 %. Celui-ci est compensé en partie, par le gain lié à la vente d'animaux avec un meilleur rendement carcasse (+ 2 %). On obtient ainsi un écart de 8 % sur la marge brute finale en faveur du témoin. Il est à noter qu'il n'y a pas eu d'ajustement des concentrés par rapport à la valeur alimentaire du FVH. Chose qui devrait être faite normalement et devrait compenser en partie le surcoût, mais pourrait également influencer sur les performances des animaux. Dans le cadre de l'essai réalisé à l'EARL PICARD, l'introduction de FVH n'a pas induit une baisse de la consommation de foin. Cependant, il a été obtenu des carcasses beaucoup plus lourdes et le gain sur la vente des carcasses (+ 6 %) a compensé presque totalement le surcoût de la ration, avec un écart final de 0,3 %. Cela démontre qu'il y a un travail d'ajustement à faire pour trouver le juste équilibre technico-économique. Il faut noter également qu'à ce jour les coûts de production du FVH, tels qu'ils ont été déterminés dans le cadre de l'étude, ne sont pas optimisés. Et qu'il y a là un gain de rentabilité à ne pas négliger.

## 3. SYNTHÈSE ET CONCLUSION

Le fourrage hydroponique a été très bien accepté par les animaux et l'essai a validé le caractère très appétent de ce fourrage. Ajouté à la ration, à hauteur de 32 % des besoins en fourrage, il a été consommé comme tel et est venu se substituer au foin, à matière sèche équivalente. Ainsi, la consommation de foin

**Tableau 8 : Coût de la ration journalière à base de foin (€/JB/jour)**

	T	FVH
FOIN CHLORIS	1,3	0,9
BV 60	0,9	0,9
BV 82	0,9	0,9
FVH	0,0	1,0
EAU	0,03	0,02
<b>Total</b>	<b>3,1</b>	<b>3,7</b>

**Tableau 9 : Coût de la ration journalière à base d'ensilage (€/JB/jour)**

	T	FVH
ENSILAGE KIKUYU	0,8	0,6
BV 60	1,3	1,3
BV 82	1,3	1,3
FVH	0,0	1,1
EAU	0,03	0,02
<b>Total</b>	<b>3,5</b>	<b>4,3</b>

a été inférieure de 29 % à celle du témoin. De par son taux d'humidité élevé, le fourrage hydroponique a induit une diminution de la consommation d'eau à l'abreuvoir (- 19 %), équivalente à celle qu'il apportait (4,8 l/ JB/jour). On observe une évolution différenciée du pH du rumen en phase de finition, alors qu'il y a eu un changement de base fourragère. Le pH du lot FVH reste stable alors que celui du lot témoin tend à s'acidifier. C'est un point qu'il serait pertinent d'approfondir par de nouveaux essais. L'alimentation a eu un léger impact sur la croissance des animaux (+ 3 %), ce qui est un résultat logique pour une alimentation équivalente en terme d'apports en énergie et protéines. A l'abattoir, on observe une tendance à un meilleur rendement en viande (+ 2 %) que l'on retrouve dans l'essai réalisé à l'EARL PICARD. On obtient une meilleure conformation des animaux et une meilleure note de gras. Résultat que l'on ne retrouve pas pour l'autre essai, où les notes sont équivalentes, voire légèrement inférieures pour le lot FVH. Cela peut s'expliquer par une complémentation différente en aliment et FVH (proportion BV 60/82, FVH) au cours de l'essai. C'est un fourrage, qui ajouté à la ration, génère un surcoût, qui n'est pas compensé totalement, dans ce cas, par la diminution de consommation de foin ainsi que par le gain sur le rendement et la qualité des carcasses. Il faut cependant relevé que les doses de concentrés apportées n'ont pas été ajustées en prenant en compte la richesse du FVH. Or une diminution des apports en concentrés pourrait compenser en partie le surcoût lié au FVH.

Ces essais ont mis en avant un certain nombre de points positifs et de questionnements. Il y a une réflexion à mener sur l'utilisation de ce fourrage en alimentation de jeunes bovins à l'engraissement. Compte tenu du coût actuel de ce fourrage, il n'est peut-être pas approprié de l'apporter tout au long de l'engraissement, mais peut être sur des phases clés. C'est un fourrage qui à priori pourrait être intéressant en engraissement/finition, grâce à sa valeur PDIE/PDIN équilibrée et cela malgré une valeur UF un peu faible. Il pourrait être ajouté à la ration de croissance, à partir de 450-500 kg de poids vif. Il reste à définir à quelle hauteur il peut être apporté dans la ration et avec quelle complémentation, dans l'objectif d'un juste équilibre technico-économique. Les résultats de l'essai laissent à penser que le rationnement à base de FVH est à approfondir, notamment pour ses effets sur le fonctionnement du rumen et sur l'efficacité d'utilisation de la ration. Il serait souhaitable de renouveler l'expérience en testant différents niveaux d'apport de FVH, en ajustant le type et le niveau de complémentation, avec un suivi plus précis de l'alimentation. Il serait également intéressant de renouveler l'essai avec d'autres types de fourrage, tels que la paille de canne, l'ensilage ou la pâture. De par sa valeur alimentaire et sa teneur en vitamines et minéraux, le FVH pourrait être intéressant en production, pour l'alimentation de vaches et de jeunes reproducteurs. Mais également pour la remise en état des animaux (réformes, primipares). D'autant plus que le cheptel réunionnais est vieillissant et la productivité numérique un peu faible. En conclusion, le fourrage hydroponique pourrait être une voie intéressante à explorer sur le département. Il pourrait pallier une partie du manque de fourrage, à condition de l'utiliser sur les animaux les plus appropriés. Il reste à définir sur quel type d'animaux l'utiliser, dans quelles proportions et avec quelle complémentation, pour avoir les meilleurs résultats technico-économiques possibles.

ANNEXE 7 : UTILISATION DU FOURRAGE VERT HYDROPONIQUE EN PRODUCTION DE VIANDE BOVINE A LA REUNION - ESSAI SUR FEMELLES REPRODUCTRICES, REALISE A LA SEDAEL

## Utilisation du fourrage vert hydroponique en production de viande bovine à la Réunion Essai sur femelles reproductrices

### Compte-rendu de synthèse de l'essai réalisé à la SEDAEL

Auteure : Maëva MIRALLES-BRUNEAU<sup>1</sup>, avec la participation de Jean-Luc BENARD<sup>2</sup>, David FORGET<sup>3</sup>, David GRANGETTE<sup>4</sup>, Samuel GRONDIN<sup>5</sup>, Mickael PAYET<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Ingénieure Agronome, Sica Révia ; <sup>2</sup> Responsable technique, SEDAEL ; <sup>3</sup> Conseiller pastoralisme, ARP ; <sup>4</sup> Conseiller zootechnique, Sica Révia ; <sup>5</sup> Technicien d'expérimentation, SEDAEL ; <sup>6</sup> Contrôleur de Performance, Chambre d'Agriculture ;

### RESUME

La filière viande bovine de la Réunion, afin d'améliorer une offre fourragère contrainte et de répondre à ses objectifs de croissance, a mis en œuvre une étude d'évaluation de la production de fourrage hors-sol. Dans ce cadre, un essai alimentaire a été réalisé sur deux lots de 6 vaches, sur une période de 90 jours, afin d'évaluer les effets de l'introduction du fourrage vert hydroponique (FVH), en tant que complémentation fourragère dans la ration, à hauteur de 30 % des besoins théoriques en fourrage des animaux. Le lot FVH a une consommation journalière de foin de 20 % inférieure au témoin. Avec l'apport de FVH, la consommation de fourrage est supérieure de 10 % au témoin. Avec l'ajustement de la complémentation, le lot FVH consomme 14 % de MS en moins que le lot témoin. La consommation d'eau d'abreuvoir est inférieure de 18 % à celle du lot témoin. La croissance et la prise de poids sont similaires pour les deux lots, avec une tendance à une prise de poids supérieure pour le lot FVH (+ 10 %). C'est un résultat attendu pour deux rations en théorie équivalentes en terme d'apports énergétiques et protéiques. Cependant, cela met en lumière la richesse de ce fourrage : on obtient des résultats équivalents au lot témoin, en ayant diminué de manière significative les apports de concentrés et avec une consommation de foin plus faible. On a donc bien un fourrage très riche et une ration qui est globalement mieux assimilée et mieux valorisée par les animaux. Ce que l'on retrouve, avec des indices de consommation qui sont meilleurs. Le taux de cortisol sanguin, élevé en début d'essai, diminue de manière significativement plus importante (+ 22 %), avec des valeurs moyennes significativement plus faibles (- 81 %) par rapport au témoin. On a, à priori, des animaux moins stressés, avec potentiellement moins de problème de blocage d'ovulation. A ce jour, on a un surcoût de la ration à base de FVH de 1 €/va/jour. Mais il aurait été possible de remettre à la reproduction les animaux FVH 30 jours après le début de l'essai, ce qui aurait permis une économie sur la ration (317 €) et un gain de temps (60 jours) sur le cycle de production. A noter également que les coûts de production FVH ne sont pas optimisés à ce jour. Il y a une réflexion technico-économique à mener sur le mode d'utilisation de ce fourrage et sur les coûts / bénéfices qui y sont liés.

### 1. INTRODUCTION

La filière bovine de la Réunion s'est fixée comme objectif d'augmenter le cheptel de Ruminants de 40 % d'ici 2021, pour répondre à la demande locale de viande (Projet Défi). Pour pérenniser durablement ce programme de développement, il est nécessaire d'assurer une production fourragère locale à la hauteur de ces objectifs. La production herbagère de la Réunion souffre de manière systémique d'irrégularités de la quantité et de la qualité de fourrages produits au

cours de l'année. Cela entraîne des situations de déséquilibre entre l'offre alimentaire et la demande des troupeaux. Ces problématiques de déficit fourrager se sont accentuées ces dernières années avec des épisodes de sécheresse de plus en plus marqués au cours de l'hiver austral. Dans les années à venir, le fort développement démographique risque d'accentuer une pression foncière urbaine déjà problématique dans le contexte insulaire du département, ce qui peut impacter les surfaces fourragères disponibles. Ces contraintes, de plus en plus prégnantes dans les années à venir, imposent d'assurer et de sécuriser la production fourragère à moyen et long terme. Cela passe par une optimisation du système herbager existant et une diversification des ressources alimentaires. La profession s'est fortement mobilisée ces dernières années pour trouver des voies de diversification, avec la mise en place de nouvelles prairies et la structuration d'une filière de commercialisation de foin, l'importation de fourrage et la valorisation des parcelles de cannes sucrières non exploitées par la filière canne. Depuis le début des années 2000, on observe dans les régions présentant de fortes problématiques de déficit fourrager, le développement de techniques de production de fourrage hors-sol. Basées sur le principe de la graine germée, ces techniques permettent de faire pousser des tapis de jeunes plantes de céréales dans des plateaux et d'obtenir en 7 à 10 jours une biomasse importante et de qualité constante. La production de fourrage hors-sol pourrait être une alternative et représenter une voie d'intensification de la production de biomasse de qualité, en étant plus efficiente en terme de surfaces et d'utilisation d'eau et tout en se dédouanant des contraintes climatiques. Au-delà de ces performances de production prometteuses, le fourrage vert hydroponique possède des propriétés bromatologiques qui pourraient répondre à des problématiques alimentaires locales. C'est un fourrage riche en énergie, sous une forme peu acidogène. Il est riche en protéines, enzymes, vitamines et minéraux, présents sous une forme facilement assimilable par l'animal. Les fourrages tropicaux produits à la Réunion se caractérisent, quant à eux, par une valeur alimentaire faible et des insuffisances en vitamines et minéraux à certaines périodes de l'année (saison des pluies). Cela peut générer des carences et des problématiques de fertilité chez les animaux reproducteurs. La mise à la reproduction est une des périodes déterminantes du cycle de production d'une vache allaitante. Les besoins azotés et énergétiques doublent et les besoins en minéraux, oligo-éléments et vitamines s'accroissent nettement. Pendant cette phase clé, l'alimentation doit être particulièrement adaptée. Des carences en minéraux et vitamines peuvent provoquer des reprises tardives de cycles et de l'infécondité. Une des difficultés récurrentes rencontrées en élevage à la Réunion, est un intervalle vêlage - vêlage élevé, lié notamment à des problématiques alimentaires (fourrages pauvres et insuffisants). Le fourrage hydroponique, grâce à sa richesse en vitamines et minéraux facilement assimilables, pourrait présenter un intérêt pour stimuler des femelles maigres avant la mise en reproduction, en tant que complément fourrager. Un essai alimentaire a été réalisé à Mont Vert les Hauts, sur l'exploitation de la SEDAEL, sur deux lots de 6 vaches, afin d'évaluer les effets de l'introduction du fourrage vert hydroponique (FVH) en tant que complémentation fourragère dans la ration. Le FVH a été apporté à hauteur de 30 % des besoins journaliers en fourrage des animaux, représentatif du déficit fourrager qu'a connu l'exploitation ces dernières années.

## 2. MATERIELS ET METHODE

L'essai cherchait à évaluer si le FVH pouvait être utilisé en complémentation fourragère sur femelles reproductrices maigres, avec des difficultés de reproduction, avant insémination. Il visait à déterminer si l'introduction de FVH dans la ration a un effet sur I) les résultats zootechniques des animaux, II) la consommation des animaux et l'efficacité d'utilisation de la ration, III) la santé et le bien-être animal.

### LES ANIMAUX

L'essai a été réalisé sur deux lots de 6 génisses et primipares (tableau 1) qui présentaient des problèmes divers de reproduction (utérus infantile, an œstrus, avortement précoce), ainsi que des problèmes d'état corporel plus ou moins marqués (animaux maigres). Ce sont des animaux de 2 à 5 ans, de races Limousine, Blonde d'aquitaine et croisée. Les lots ont été définis de manière à être comparables en terme de race, note d'état corporel, pathologies et âge. En début d'essais, le poids moyen de l'ensemble des animaux était de  $460 \pm 20$  kg.

**Tableau 1 : Caractéristiques des vaches à la mise en lot**

Lot	Témoin	FVH
Effectif	6	6
Age (années)	$2,9 \pm 0,2$	$3,1 \pm 0,4$
Poids (kg)	$443 \pm 33$	$478 \pm 25$
GMQ	$-0,26 \pm 0,14$	$-0,06 \pm 0,07$
NEC	2=	2+

## DISPOSITIF EXPERIMENTAL

**Régimes comparés :** Deux régimes d'engraissement à base de foin de Chloris (*Chloris gayana*) ont été mis en comparaison. La ration dite « témoin » a été complétée avec un aliment concentré pour vache allaitante. La quantité apportée a été définie de manière à couvrir les besoins d'entretien et de croissance des animaux, l'objectif étant une

**Tableau 2 : Ration par lot (kg de MB)**

Ration	Témoin	FVH
Foin de chloris	A volonté	
Concentré (BV 58)	4,6	1,3
FVH	0	16

reprise d'état avant la mise à la reproduction. L'aliment concentré (BV 58), a été apporté à hauteur de 1 kg pour 100 kg de poids vif. La ration évaluée, dite « FVH », a été complétée avec du FVH et du BV 58. L'apport de FVH a été calculé de manière à fournir 30 % des besoins théoriques en fourrage des animaux (situation de déficit fourrager de l'ordre de 20 % sur l'exploitation). Cela correspond à 3 kg MS/animal/jour, soit 16 kg de matière verte. Afin d'avoir deux rations comparables en terme d'apports en énergie et azote, il a été posé les hypothèses que 1) la consommation en foin des deux lots serait identique, 2) les valeurs énergétiques et azotées du FVH et de l'aliment étaient du même ordre de grandeur (Tableau 4). Et les 3 kg de MS de FVH ont été substitués à 3 des 4,14 kg MS de BV 58 initiaux. L'alimentation a été effectuée à heure fixe tous les jours. Le foin était disponible à volonté dans l'auge. Le FVH et le concentré ont été apportés en deux fois, le matin et l'après-midi.

**Tableau 3 : Ration par lot durant la phase de transition (kg MS/ani/j).**

	ALIMENTS	TEMOIN	FVH
<b>Jour 1</b>	FOIN	à volonté	
	BV 58	2,7	2,3
	FVH	0	0,4
<b>Jour 3</b>	FOIN	à volonté	
	BV 58	3	2,3
	FVH	0	0,8
<b>Jour 7</b>	FOIN	à volonté	
	BV 58	3,4	2
	FVH	0	1,4
<b>Jour 10</b>	FOIN	à volonté	
	BV 58	3,6	1,2
	FVH	0	2,4
<b>Jour 14</b>	FOIN	à volonté	
	BV 58	4,1	1,1
	FVH	0	3

**Phase de transition :** Une transition a été réalisée sur deux semaines (tableau 3) afin d'ajuster progressivement les apports de concentré et de FVH pour chaque lot. Le foin était disponible à volonté. L'aliment concentré et le FVH ont été apportés de manière à amener un apport équivalent au lot témoin en matière sèche.

**Aliments utilisés :** L'affouragement de base a été fait avec du foin de chloris (*Chloris gayana*) enrubanné, produit localement. Le fourrage hydroponique a été produit à partir de graines d'orge brassicole (*Hordeum vulgare*), variété ARTURIO. Elles ont été mises à germer dans une chambre de culture fermée (EC-2-T, Eleusis Int. S.A.) où la température et l'humidité étaient contrôlées ( $18 \pm 1,5$  C° ; 60-100 %H). Le module était éclairé 12 heures par jour (lampes fluorescentes de 58 W). La culture était irriguée par immersion une fois par jour ( $2 \pm 0,1$  l/kg MB). Les graines étaient mises à tremper 8 à 18 heures, égouttées, et semées à une densité de 7 kg/m<sup>2</sup>. La culture était récoltée au 7<sup>e</sup> jour de germination. Il a été observé un rendement moyen de  $3,89 \pm 0,10$  kg de fourrage vert produit pour 1 kg de grain sec semé, à  $19,67 \pm 0,68$  % MS.

La composition bromatologique et les valeurs alimentaires utilisées pour la définition des rations sont présentées dans le tableau 4.

**Tableau 4 : Valeurs alimentaires des aliments des rations évaluées**

Aliment	MS (%)	UFV (%MS)	PROT (%MS)	PDIN (g/kgMS)	PDIE (g/kgMS)	CELL (%MS)	NDF (%MS)	ADF (%MS)	Ca (g/kgMS)	P (g/kgMS)
Foin de Chloris	90	72	10,9	90	89	33,23	70,9	39,5		
Graine d'orge	91	107	11,3	77	104	5,2	20,5	6,3	0,62	3,3
FVH	19	91	13,4	91,3	103,7	12,9	35,3	15,6	0,67	4,7
BV 58	91	90	16,5	110	105	16	34	20	0,75	0,36

**Logement des animaux :** Les animaux étaient logés en box (~30 m<sup>2</sup>) couvert, avec une aire de parcours extérieur (~50 m<sup>2</sup>).

**Mesures et enregistrements au cours de l'essai :** A la mise en lot, les animaux ont été pesés, photographiés et leur note d'état a été déterminée. Des prises de sang ont été effectuées afin de connaître les teneurs sanguines en oligo-éléments (zinc, cuivre, sélénium, iode), en vitamines (A et E), en haptoglobine (indicateur des réactions inflammatoire), en hormones thyroïdiennes (T4 : régulateurs du métabolisme basal, dont la thermorégulation) et en cortisol plasmatique (indicateur physiologique du niveau de stress). A la suite de ces prélèvements, les génisses ont été complémentées avec deux bolus d'oligo-éléments, pour un apport en Zinc, Cuivre, Manganèse, Iode, Cobalt et Sélénium (FORME OLIGO®, GENEFORME). Les pesées et relevés de notes d'état corporel, ont été renouvelés tout au long de l'essai afin de suivre l'évolution de la prise de poids et des réserves corporelles des animaux. Les prises de sang ont été renouvelées au 46<sup>e</sup> jour. La **consommation** de foin des lots a été évaluée quatre fois par semaine (barres de pesée). Un compteur d'eau a été mis en place sur les abreuvoirs afin de suivre la consommation journalière des lots. Le bâtiment a été équipé d'un capteur/enregistreur de température et d'humidité de l'air (DI-141TH, Voltcraft®). Des échantillons moyens de foin, de semences et de FVH ont été effectués pour analyse chimique en laboratoire (matière sèche, cellulose, protéines, matière grasse, amidon, ADF, NDF, ADL, MOD, ED, vitamines D3 et E, calcium, phosphore, chlorures, sodium, magnésium, potassium, cuivre, fer, manganèse, zinc), et détermination de leur valeur alimentaire (UFV, PDIA, PDIN, PDIE).

**Tableau 5 : Caractéristiques alimentaires de l'orge grain et hydroponique (6-8 j.)**

	GRAIN	FVH
<b>Bromatologie :</b>		
matière sèche (g/100g MB)	93,45	17,78
amidon (g/100g MS)	57,50	16,84
matière grasse (g/100g MS)	2,20	2,92
cellulose (g/100g MS)	6,90	12,65
ADF (g/100g MS)	8,75	15,22
NDF (g/100g MS)	23,35	34,47
protéine (g/100g MS)	10,90	13,36
DMS (g/100g MS)	86,95	76,20
<b>Minéraux :</b>		
Ca (g/100g MS)	0,07	0,07
Mg (g/100g MS)	0,12	0,13
P (g/100g MS)	0,37	0,44
K (g/100g MS)	0,57	0,48
Na (mg/kg MS)	29,57	75,33
MgCL2 (g/100g MS)	0,21	0,13
Cu (mg/kg MS)	5,00	5,00
Fe (mg/kg MS)	46,96	63,94
Zn (mg/kg MS)	30,00	30,33
Mn (mg/kg MS)	20,50	23,56
<b>Vitamines :</b>		
Vit A (ui/g)	< 1	< 1,1
Vit D3 (ui/g)	< 1,50	< 1,51
Vit E (mg/kg MS)	9,40	9,28
<b>Valeur alimentaire :</b>		
UFV (u/kg)	1,01	0,91
PDIE (g/kg MS)	100	103
PDIN (g/kg MS)	75	91
PDIA (g/kg MS)	32	39

## 2. RESULTATS

L'essai a duré 84 jours. Au cours des 27 premiers jours, une vache du lot témoin est morte de manière accidentelle. Le suivi de la consommation a été réalisé 5 jours par semaine, les 30 premiers jours, avec une pesée systématique. Par la suite, les suivis ont été effectués deux fois par semaine

### 2.1. CARACTERISTIQUES BROMATOLOGIQUES ET VALEUR NUTRITIVE DU FOURRAGE VERT HYDROPONIQUE

Au cours du processus de germination, il y a eu une modification de la composition chimique de la graine qui est devenue plantule (tableau 5). Le taux de matière sèche a diminué. Il y a eu une perte de matière sèche de  $25,97 \pm 1,96$  % liée à la croissance de la plante et à sa respiration. On observe une perte d'amidon (- 41 %) liée à la mobilisation des réserves de la graine pour la

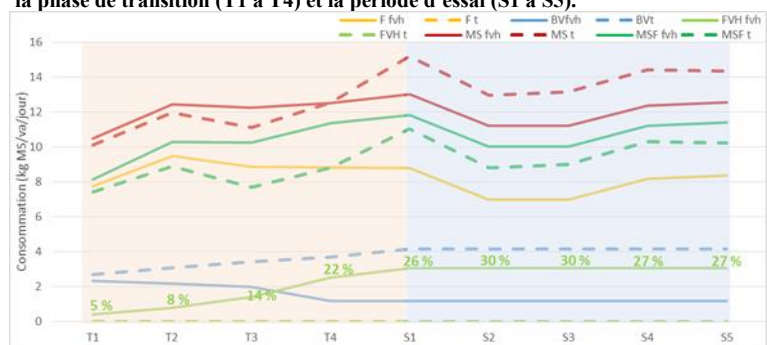
croissance des racines et feuilles. Les taux de cellulose, ADF et NDF ont augmenté (+ 6 ; 6,5 et 11 %), en lien avec la synthèse de feuilles. Le taux de protéines a augmenté de 2,5 %. La digestibilité de la matière sèche a diminué de 11 %. Globalement, les teneurs en vitamines et minéraux sont restées équivalentes. Excepté pour les teneurs en Fer et Sodium, qui augmentent de 17 et 46 %, les teneurs en vitamine D sont équivalentes à celles d'un fourrage vert et foin classique (0,03-0,05 ui/g) et inférieures à celles d'un ensilage de graminées (0,2 ui/g). Les teneurs en vitamines A sont inférieures à celles d'un fourrage classique (5 à 100 ui/g). C'est un aliment avec une bonne concentration énergétique (91 UFV/kg MS) et un rapport PDIE/PDIN équilibré. Il présente de meilleures valeurs énergétiques et protéiques que le foin de Chloris utilisé dans le cadre de l'essai (tableau 4), malgré un taux de matière sèche plus faible. La valeur énergétique est meilleure que celle des prairies de kikuyu de l'exploitation (73 UFV/kg MS), pour un taux de matière sèche proche (15 %). Par contre, les valeurs PDIN/PDIE sont un peu plus élevées et équilibrées (119/106). Le taux d'amidon laisse supposer un aliment moins acidogène que le grain initial. La valeur NDF du FVH est intéressante car elle correspond au niveau qui est recherché pour la ration globale (35-40 %).

## 2.2. CONSOMMATION ALIMENTAIRE DES ANIMAUX

**Consommation alimentaire :** La consommation de foin des deux lots (graph.1) est équivalente pendant la phase de transition (T1 à T4). Elle est de  $8,4 \pm 0,26$  kg/va/jour. Pendant cette période, l'apport de FVH passe de 0,4 à 2,4 kg MS/va/jour. Cela représente un passage de 5 à 22 % de la consommation journalière de fourrage. En début d'essai (S1), l'apport de FVH passe à  $3 \pm 0,10$  kg MS/va/jour. On observe une différenciation de la consommation de foin entre les deux lots. Le lot FVH va consommer en moyenne  $7,78 \pm 0,36$  kg MS/va/jour, contre  $9,76 \pm 0,42$  kg MS/va/jour pour le lot témoin. On observe une différence statistiquement significative, de  $1,99 \pm 0,08$  kg. Le lot FVH a une consommation journalière de foin de 20 % inférieure au témoin. A ce stade, le FVH représente en moyenne 25 % de la MS totale ingérée et 28 % du fourrage consommé. La consommation totale de fourrage du lot FVH est de  $10,9 \pm 0,37$  kg MS/va/jour, soit  $1,03 \pm 0,08$  de plus que le témoin.

Aussi, sa consommation en fourrage est supérieure de 10 % au témoin. La matière sèche totale ingérée par jour par les animaux est supérieure pour le lot témoin (+ 1,  $94 \pm 0,08$  kg). Cet écart significatif de 14 % est lié à la différence de consommation de foin. Le fourrage représente 90 % de la matière sèche ingérée par les animaux du lot FVH (graph. 2), contre 70 % pour le lot témoin.

**Graphique 1 : Consommation alimentaire journalière moyenne des animaux (kg MS/va/jour), et part du FVH dans l'ingestion journalière de fourrage (%) pendant la phase de transition (T1 à T4) et la période d'essai (S1 à S5).**



fvh : lot FVH ; t : lot témoin ; BV : consommation de concentré ; F : conso. de Foin ; FVH : conso. de fourrage hydroponique ; MS : conso. de matière sèche totale ; MSF : conso. de matière sèche « fourrage » ;



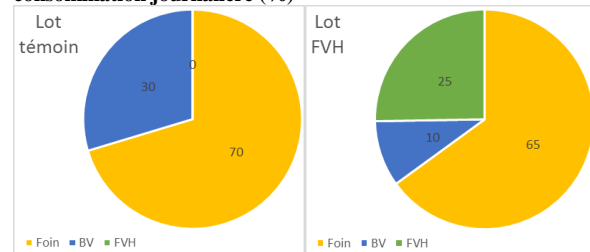
**Valeur alimentaire des rations :** La consommation différenciée des animaux impacte la valeur alimentaire de leur ration (tableau 6). Les apports en UFV sont légèrement plus faibles pour le lot FVH (-1,2 UFV/va/jour, soit -12 %). Mais, par comparaison, ils correspondent aux recommandations pour une vache de réforme, avec les mêmes caractéristiques, soit 8,88 UFV (INRA, 2007). Les apports de PDI sont également plus faibles que pour le lot témoin (-185 g, soit -15 %). Les taux de cellulose et de NDF sont équivalents et correspondent aux valeurs nécessaires pour une bonne rumination. La concentration énergétique des deux rations est équivalente mais plus faible que les recommandations pour de l'engraissement (0,9 UF/kg MS). Le ratio g de PDI/UF est équivalent et supérieur aux préconisations pour une vache de réforme (100 g de PDI/UF), ce qui peut laisser entendre un gaspillage d'azote. Globalement, les apports alimentaires des deux rations sont proches.

**Tableau 6 : Rations journalières (k MS/va/jour) et valeurs alimentaires associées.**

	T	FVH
<b>FOIN CHLORIS</b>	9,8	7,8
<b>BV58</b>	4,1	1,2
<b>FVH</b>	0,0	3,0
<b>MS T</b>	<b>13,9</b>	<b>12,0</b>
<b>UFV (u/j)</b>	10,0	8,8
<b>PDI (g/j)</b>	1240	1056
<b>CELL (%)</b>	28	26
<b>NDF (%)</b>	59	57
<b>UF/ kg MS</b>	0,72	0,74
<b>PDI/UFV</b>	124	119

**Consommation d'eau :** La consommation d'eau d'abreuvoir du lot FVH est inférieure de 18 % à celle du lot témoin. Le lot FVH consomme en moyenne 37,62 ±1,37 l/va/jour, contre 45,71 ±1,54 l/va/jour pour le lot témoin. Il y a un écart significatif de 8,10 ±0,8 l/va/jour. Cet écart peut s'expliquer par l'apport en eau lié à l'ingestion de FVH. C'est un fourrage vert riche en eau (82 % d'humidité) qui va apporter de l'ordre de 13,12 ± 0,9 l/va/jour. Ainsi, si on prend en compte l'eau apportée par l'alimentation, la consommation journalière d'eau du lot FVH est de 51,74 ± 1,38 l/va/jour, contre 47,27 ± 1,54 l/va/jour pour le lot témoin. Donc, globalement, le lot FVH ingère en moyenne 9 % d'eau de plus que le témoin (soit 4,47 ± 0,83 l/va/jour).

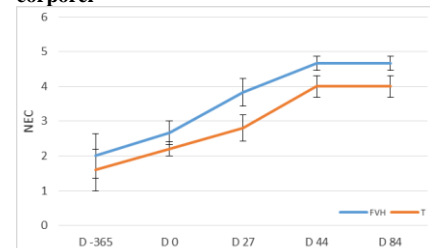
**Graphique 2 : Evolution de la part de chaque aliment dans la consommation journalière (%)**



*fvh : lot FVH ; t : lot témoin ; FOIN : % foin dans la ration ; BV : % de concentré dans la ration ; FVH : % FVH dans la ration*

L'introduction de fourrage hydroponique dans la ration a impacté la consommation de foin. Celle-ci a été diminuée de 20 % par rapport au témoin. La consommation totale de fourrage, avec le FVH, reste cependant supérieure de 10 % au témoin. L'ingestion totale de matière sèche, avec la diminution des apports de concentrés, est inférieure de 14 % au témoin. L'écart de consommation de foin peut s'expliquer par la quantité de FVH apportée qui devient suffisante pour impacter la capacité d'ingestion des animaux. Le FVH représente en moyenne 25 % de la MS totale ingérée et 28 % du fourrage consommé. Cela laisse supposer que le fourrage hydroponique a une valeur d'encombrement.

**Graphique 3 : Evolution de la note d'état corporel**



*1 : 2- ; 2 : 2= ; 3 : 2+ ; 4 : 3- ; 5 : 3= ; 6 : 3+*

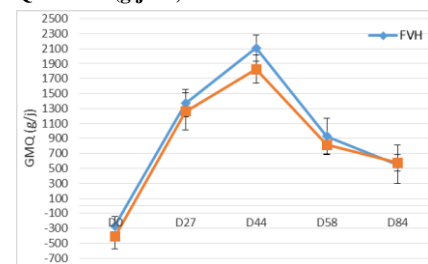
L'apport de FVH dans la ration va également diminuer la consommation d'eau d'abreuvoir de 18 %. On pourrait s'attendre à une meilleure croissance des animaux témoins, compte tenu d'une ingestion plus importante d'énergie et d'azote.

## 2.3. CROISSANCE DES ANIMAUX

**Evolution de la note d'état corporel :** En début d'essai, les animaux sont maigres, avec respectivement une note de 2= et 2+ pour le lot témoin et FVH (graph. 3). 2= est la note minimale pour la mise à la reproduction, elle peut être associée à des problèmes de reproduction, tels qu'une reproduction aléatoire, une dégradation de la fertilité et un allongement de l'intervalle vêlage-vêlage. La reprise d'état est plus rapide pour le lot FVH, avec une note d'état de 3- au bout de 27 jours, contre une note 2+ pour le témoin (différence statistiquement significative). Au bout de 44 jours d'essais les NEC moyennes sont 3= et 3-, respectivement pour le lot FVH et témoin (écart non significatif). Ces notes se maintiennent jusqu'au 84<sup>e</sup> jour d'essai, ainsi que l'écart entre les deux lots. En fin d'essai, les NEC des animaux sont adéquates pour une mise à la reproduction.

**Evolution du poids vif et croissance :** En début d'essai, les lots témoins et FVH ont un poids moyen de  $426 \pm 33$  kg et  $478 \pm 25$  kg (tabl. 8). On observe un écart de poids de 12 % au bénéfice du lot FVH qui se maintient jusqu'à la fin de l'essai. Le GMQ moyen (graph. 4) du lot FVH, au cours de l'essai, est de  $1192 \pm 120$  g/jour, contre  $1088 \pm 72$  g/jour pour le témoin. Il y a un écart de 104 g au bénéfice du lot FVH, soit un gain de 10 % par rapport au témoin. En fin d'essai, le lot FVH pèse en moyenne  $578 \pm 30$  kg, contre  $518 \pm 32$  kg pour le lot témoin, soit un écart de 60 kg.

Graphique 4 : Evolution du Gain Moyen Quotidien (g/jour)



**Indices de consommation :** Les indices de consommation des animaux sont globalement meilleurs pour le lot FVH. L'indice de consommation de la matière sèche est de  $9,9 \pm 1$ , contre  $11,9 \pm 0,8$  pour le témoin. Ainsi, il faut en moyenne, 1,9 kg de matière sèche en moins pour produire un kilo de croît, soit un gain de 16 % par rapport au témoin. De même, le lot FVH nécessite 1,3 UF de moins que le témoin pour produire un kilo de croît (- 15 %), ainsi que 4 litres d'eau de moins (- 18 %). Les écarts observés ne sont pas statistiquement significatifs. Cela peut s'expliquer pour partie par une forte variabilité au sein du lot FVH et un faible poids statistique du dispositif, compte tenu du nombre limité d'individus.

Tableau 7 : Indices de consommation

	T	FVH	Significativité
IC <sub>MS</sub>	11,9 ± 0,8	9,9 ± 1	NS
IC <sub>UF</sub>	8,6 ± 0,6	7,3 ± 0,7	NS
IC <sub>eau</sub>	22,2 ± 1,4	18,2 ± 1,8	NS

Globalement, on observe une croissance et une prise de poids similaire pour les deux lots (tabl. 8), avec une tendance à une prise de poids supérieure pour le lot FVH (+ 10 %). C'est un résultat attendu pour deux rations en théorie équivalentes en terme d'apports énergétiques et protéiques. Cependant, cela met en lumière la richesse de ce fourrage. En effet, le FVH a été substitué à 3 kg d'aliments et la consommation de foin a été plus faible. On obtient des résultats équivalents au lot témoin, en ayant diminué de manière significative les apports de concentrés, et avec une consommation de MS plus faible. On a donc bien un fourrage très riche et une ration qui est globalement mieux assimilée et mieux valorisée par les animaux. Les indices de consommation des animaux sont meilleurs pour le lot FVH, l'indice de consommation en matière sèche est inférieur de 18 % au témoin et celui de l'indice de consommation en UF est inférieur de 15 %. Ainsi, pour une même quantité de matière sèche et d'énergie, on obtient une meilleure croissance des animaux.

Tableau 8 : Résultats zootechniques des animaux

	Témoin	FVH	Significativité
Poids début d'essai (kg)	426 ± 35	478 ± 25	NS
Poids fin d'essai (kg)	518 ± 32	578 ± 30	NS
Croissance (kg)	91 ± 6	100 ± 10	NS
GMQ (g/jour)	1088 ± 72	1192 ± 120	NS
Note d'état final (a)	4 ± 0,3	5 ± 0,2	NS

(a) 4 : 3- ; 5 : 3=

## 2.4. BILAN METABOLIQUE ET IMMUNOLOGIQUE DES ANIMAUX

En début d'essai, les résultats d'analyse sanguine des animaux sont équivalents dans les deux lots. Le statut inflammatoire (Haptoglobine) et l'équilibre métabolique ne présentent pas de risque de défaillance. Les teneurs en vitamine A, cuivre et iode sont en dessous des valeurs minimales conseillées. Le statut vitamine A est très insuffisant, ce qui peut expliquer les troubles de la reproduction observés. En effet, les déficits en vitamines A, E et B12 ainsi que les oligo-éléments notamment iode, sélénium, zinc, cuivre, cobalt ont un rôle essentiel dans la reprise d'activité ovarienne et des carences peuvent entraîner une infertilité. Les taux de cortisol sanguin sont élevés, ce qui peut traduire un stress des animaux. Plusieurs animaux dépassent un taux de cortisol plasmatique de 100 ng/ml. Or, un taux à 155 ng / ml peut inhiber l'ovulation chez la vache, via un arrêt du développement folliculaire (Moberg et Stoebel, 1980). Au bout de 46 jours d'essai, il y a une évolution significative des paramètres sanguins, excepté pour le statut Haptoglobine. Le bilan sanguin s'est légèrement amélioré, excepté pour la teneur en vitamine E, qui a diminué. Les teneurs sanguines en cuivre, iode et vitamine A ont augmenté, mais restent faibles. La teneur en vitamine E devient insuffisante. Or cela peut avoir un impact sur la reproduction, l'équilibre neurologique et le maintien de l'intégrité des parois cellulaires. Le taux de cortisol sanguin a diminué pour les deux lots. On observe une nette diminution du taux de cortisol des animaux qui est significativement plus importante pour le lot FVH (- 87 %, contre - 59 % pour le lot témoin). Le taux de cortisol moyen du lot FVH est de  $9,3 \pm 2$  nmol/l, il est significativement inférieur à celui du lot témoin (- 81 %). Cela peut laisser entendre des animaux moins stressés, avec potentiellement moins de problème de blocage d'ovulation.

**Tableau 8 : Bilan sanguin des animaux**

		Réf.	Témoin	FVH
<b>Zinc</b>	J 0	<b>14-21</b>	14,7 ± 0,8	14,6 ± 0,6
( $\mu\text{mol/l}$ )	J 46		18,5 ± 0,3	18,1 ± 1,5
<b>Cuivre</b>	J 0	<b>11-18</b>	5,7 ± 1,4	8,1 ± 1,7
( $\mu\text{mol/l}$ )	J 46		10,2 ± 0,8	10,7 ± 0,5
<b>GSH</b>	J 0	<b>155 - 600</b>	135 ± 22,3	200 ± 15,8
(U/gHb)	J 46		224 ± 29,1	238 ± 28,4
<b>Iode</b> ( $\mu\text{g/l}$ )	J 0	<b>&gt; 51</b>	22,4 ± 6,2	15,8 ± 1,2
	J 46		27,0 ± 3,6	23,4 ± 2,3
<b>T4</b> (nmol/l)	J 0	<b>&gt; 45</b>	118,8 ± 11,1	111,8 ± 12,3
	J 46		87,0 ± 6,5	99,8 ± 10,2
<b>Hapto</b>	J 0	<b>&lt; 50</b>	0,0 ± 0,0	11,0 ± 7,2
(mg/l)	J 46		0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
<b>Vit. A</b>	J 0	<b>&gt; 30</b>	15,8 ± 2,3	17,3 ± 2,4
( $\mu\text{g/dl}$ )	J 46		22,7 ± 2,0	27,5 ± 5,0
<b>Vit. E</b>	J 0	<b>&gt; 3</b>	4,1 ± 0,7	4,1 ± 0,4
( $\mu\text{g/ml}$ )	J 46		2,1 ± 0,4	2,3 ± 0,5
<b>Cortisol</b>	J 0	<b>6,4 - 44,5</b>	117,4 ± 49,4	69,5 ± 24,5
(nmol/l)	J 46		48,0 ± 20,8	9,3 ± 2,0

## 2.5. RESULTATS ECONOMIQUES

Les coûts d'aliments distribués durant l'essai sont respectivement pour le foin, le BV 58 et le FVH de 320, 367 et 180 € la tonne de matière brute. Le FVH représente un surcoût de 2,9 €/va/j, par rapport au lot témoin (tabl. 10). Ce surcoût est partiellement compensé par une dépense moins importante en foin (- 20%) et en concentré (- 72 %). Le coût de l'eau pèse peu sur le prix final de la ration, compte tenu du faible coût de celle-ci (- 0,01€/va/j). Le coût de ration est de 4,8 pour le lot témoin et 5,9 pour le lot FVH. On a un écart de 1 €/va/j, ce qui représente un surcoût de la ration de 21 % pour le lot FVH. Le bilan sur tout la durée de l'essai, est un surcoût de 84 €/va pour la ration à base de FVH. Quand on ramène ce coût de ration au gain de poids moyen obtenu pour chaque lot, on obtient un coût du kilo produit de 4,35 €/kg pour le lot témoin et 4,81 €/kg pour le lot FVH. On observe un écart de 0,46 €/kg, soit un surcoût de 11 % par rapport au lot témoin. Le surcoût est ici réduit par le gain de croît plus important du lot FVH (100 kg/va en moyenne, contre 91 kg pour le lot témoin).

**Tableau 10 : Coûts d'alimentation sur la période d'essai (€/va/j)**

	T	FVH
<b>FOIN</b>	3,2	2,5
<b>BV 58</b>	1,7	0,5
<b>FVH</b>	0,0	2,9
<b>EAU</b>	0,04	0,03
<b>Total :</b>	<b>4,8</b>	<b>5,9</b>

**Tableau 11 : Coûts d'alimentation sur la période d'essai**

MB	T	FVH
FOIN	259	216
BV 58	137	44
FVH	0	221
EAU	1,6	1,4
<b>Total (€/va) :</b>	<b>398</b>	<b>482</b>
<b>Coût au kilo produit (€/kg) :</b>	<b>4,35</b>	<b>4,81</b>

Il apparaît pour cet essai que l'utilisation du FVH dans l'alimentation représente à ce jour un surcoût, qui n'est pas totalement compensé par un coût d'aliment et de foin plus bas. Ici, il n'y a pas de vente des animaux pour compenser le surcoût. Cependant, il faut observer que l'on a obtenu une reprise d'état beaucoup plus rapide que pour le lot témoin. Le lot FVH aurait pu être mis à la reproduction dès le 30<sup>e</sup> jour d'essai, contrairement au lot témoin. Cela aurait représenté une économie de 317 € sur l'alimentation, ainsi qu'un gain de temps de 60 jours sur le cycle de reproduction et la production et la vente de veaux. Il est également à noter que les coûts de productions du FVH, tels qu'ils ont été déterminés dans le cadre de l'étude, ne sont pas optimisés. Et qu'il y a là un gain de rentabilité possible à ne pas négliger.

### 3. DISCUSSION ET CONCLUSION

Le fourrage hydroponique a été rapidement accepté par les animaux et l'essai a validé le caractère riche et appétent de ce fourrage. Introduit à hauteur de 25 % des besoins journaliers en fourrage, le FVH a impacté la consommation de foin. Celle-ci a été diminuée de 20 % par rapport au témoin. Malgré cela, l'ingestion de fourrage total (foin + FVH) est supérieure de 10 % au témoin. L'ingestion totale de matière sèche, du fait de la diminution des apports de concentrés, est quant à elle inférieure de 14 % à celle du témoin. Le FVH semble influencer différemment la consommation de foin, selon sa proportion dans la ration. C'est une observation que l'on retrouve dans tous les essais de l'étude. Cela peut s'expliquer par la quantité de FVH apportée, qui devient suffisante, ou non, selon le type d'animal et d'alimentation, pour impacter la capacité d'ingestion des animaux. Il semblerait qu'un apport de FVH jusqu'à 22 % de l'ingestion en fourrage n'influe pas sur la consommation de foin. Par contre, au-delà de 26 % du fourrage consommé, on observe une diminution de l'ingestion de foin. Cela démontrerait que le fourrage hydroponique a une valeur d'encombrement, celle-ci restant à déterminer. L'apport de FVH a diminué la consommation d'eau d'abreuvoir de 18 %. C'est un résultat que l'on retrouve dans tous les essais et qui est en corrélation avec la quantité de FVH apportée. Les apports énergétiques et azotés des deux rations ont été à peu près équivalents, quoique légèrement supérieurs pour le lot témoin. Aussi, on aurait pu s'attendre à une meilleure croissance des animaux du lot témoin. Or, il a été observé une reprise d'état plus rapide des animaux nourris avec du FVH. La croissance et la prise de poids a été similaire pour les deux lots, avec toutefois un écart de GMQ, non significatif, de 104 g/jour au bénéfice du lot FVH. Ces résultats mettent en lumière la richesse de ce fourrage : il a été substitué à 3 kg d'aliments et il a induit une consommation moindre de foin, mais on obtient des croissances identiques, voire légèrement meilleures. Les indices de consommation des animaux sont meilleurs pour le lot FVH, l'indice de consommation en matière sèche est inférieur de 18 % au témoin et celui de l'indice de consommation en UF est inférieur de 15 %. Ainsi, pour une même quantité de matière sèche et d'énergie, on obtient une meilleure croissance des animaux. D'où une meilleure valorisation de la ration. Les bilans sanguins en début d'essai mettent en avant des animaux carencés en vitamines et oligo-éléments et avec un taux de cortisol sanguin élevé. Ce qui peut expliquer, pour partie, les problèmes de reproduction rencontrés avec ces animaux. Au bout de 45 jours d'essai, on observe une amélioration des paramètres sanguins, globalement équivalente pour les deux lots. Concernant le taux de cortisol sanguin, pour le lot FVH, la diminution est plus importante (- 81 %, contre -59 %), et la valeur moyenne finale est significativement plus faible (- 81 % par rapport au témoin). On a, à priori, des animaux moins stressés, avec potentiellement moins de problème de blocage d'ovulation. L'utilisation du FVH dans la ration représente un surcoût (+1 €/va/j), qui n'est pas totalement compensé par des

dépenses en concentré et en foin moindre. Cependant, on a observé une reprise d'état plus rapide, ce qui en théorie pourrait permettre de réduire la durée de remise en état (dès 30 jours) et donc faire des économies de temps et d'aliments. On retrouve ici les mêmes tendances que celles observées dans le cadre des essais engraissement sur bovin :

- Diminution de la consommation de foin, au-delà de 25 % des besoins en fourrage couverts par le FVH ;
- Diminution de la consommation d'eau d'abreuvoir ;
- Tendance à une meilleure croissance : plus rapide et légèrement plus importante ;
- Tendance à une meilleure reprise d'état corporelle ;
- Animaux visuellement plus musculeux et massifs, avec un poil plus brillant ;

La différence majeure est que, dans le cadre de cet essai, on a ajusté la complémentation en fonction de la valeur alimentaire du FVH apporté et il y a eu un suivi très régulier de la consommation des animaux. Cela confirme des tendances observées et démontre qu'il y a des marges de manœuvre pour optimiser l'utilisation de ce fourrage.

Il y a une réflexion à mener sur l'utilisation de ce fourrage, d'un point de vue zootechnique, alimentaire et économique. De par sa valeur alimentaire et sa teneur en vitamines et minéraux, le FVH semble intéressant en production, pour l'alimentation de vaches et de jeunes reproducteurs (remise en cycles ou flushing), pour la remise en état des animaux (réformes, primipares), voire pour l'engraissement. Les résultats des essais laissent à penser que le rationnement à base de FVH est à approfondir, notamment pour ses effets sur le fonctionnement du rumen, l'efficacité d'utilisation de la ration et la santé des animaux. Il serait souhaitable de renouveler l'expérimentation sur différents types d'animaux (vaches en lactation), en testant différents niveaux d'apport de FVH, en ajustant le type et le niveau de complémentation. Il serait également intéressant de renouveler l'essai avec d'autres types de fourrage, tels que la paille de canne, l'ensilage ou la pâture. En conclusion, le fourrage hydroponique pourrait être une voie pertinente à explorer à la Réunion, d'autant plus que le cheptel réunionnais est vieillissant et la productivité numérique un peu faible. Il pourrait pallier une partie du manque de fourrage, à condition de l'utiliser sur les animaux les plus appropriés. Il reste à définir sur quel type d'animaux l'utiliser, dans quelles proportions et avec quelle complémentation, pour avoir les meilleurs résultats technico-économiques possibles.