

Appui de la modélisation spatialement explicite pour la mise en place d'une filière de fourrage structurée à l'échelle de l'île de La Réunion

LORRE F. (1), MAGNIER J. (1), DEGENNE P. (2), MIRALES M. (3), LURETTE A. (1), VIGNE M. (1,4), VAYSSIERES J. (1,5)

(1) SELMET, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agri, Montpellier, France

(2) CIRAD, UMR Tetis, Montpellier, France

(3) ARP, Le Tampon, La Réunion

(4) CIRAD, UMR SELMET, 110 Antsirabe, Madagascar

(5) CIRAD, UMR SELMET, F-97410 Saint-Pierre, Réunion, France

RESUME - A La Réunion, une forte variabilité spatiale et saisonnière de la production fourragère génère un déficit fourrager périodique. L'Association Réunionnaise de Pastoralisme réfléchit donc à la mise en place d'une filière fourragère structurée afin de sécuriser l'approvisionnement des élevages en fourrages au cours de l'année. Par le biais d'une modélisation spatialement explicite, ce travail vise d'une part à décrire finement la situation fourragère actuelle et à tester l'impact de leviers techniques permettant d'augmenter les stocks fourragers. D'autre part, nous avons exploré la capacité du simulateur développé à évaluer les impacts de la mise en place d'une filière structurée. La quantification et la localisation des productions et des consommations de fourrages a été réalisée à partir d'une géolocalisation des parcelles fourragères et des troupeaux de ruminants. Les bilans fourragers ont été calculés à l'échelle de petites zones géographiques de l'île. Un premier levier technique consistant à augmenter les surfaces de fauches dans les Hauts de l'Ouest a été modélisé. Ce levier a été associé à l'implantation de 4 structures de stockage collectif permettant une gestion globale des flux de fourrages entre demandeurs et fournisseurs. Les scénarios modélisés montrent que les bilans fourragers sont très contrastés selon les zones géographiques, mais que l'implémentation de pratiques de fauche améliorée permet d'arriver rapidement à une autosuffisance dans les zones concernées. Les résultats obtenus montrent que le simulateur développé pourra tester des scénarios construits avec les acteurs et ainsi alimenter la réflexion sur la mise en place de la filière fourragère structurée.

Support for spatially explicit modelling for the implementation of a structured fodder supply chain on the scale of Reunion Island

LORRE F. (1), MAGNIER J. (1), DEGENNE P. (2), MIRALES M. (3), LURETTE A. (1), VIGNE M. (1,4), VAYSSIERES J. (1,5)

(1) SELMET, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agri, Montpellier, France

SUMMARY - In Reunion Island, high spatial and seasonal variability in forage production generates a periodical forage deficit. The local association for pastoralism is therefore thinking about setting up a structured fodder chain in order to secure the supply of fodder to livestock farms throughout the year. By means of spatially explicit modelling, this work aims on the one hand to finely describe the current fodder situation and on the other hand to test the impact of technical levers enabling fodder stocks to be increased. On the other hand, we explored the capacity of the simulator to evaluate the impacts of the implementation of a structured fodder supply chain. The quantification and localization of fodder production and consumption was carried out by geolocating fodder plots and ruminant herds. Fodder balances were calculated on the scale of small geographical areas of the island. A first technical lever consisting in increasing the mowing areas in the Western Highlands was modelled. This lever was associated with the implementation of 4 collective storage structures allowing an overall management of fodder flows between applicants and suppliers. The modelled scenarios show that the fodder balances are very contrasted according to geographical areas, but that the implementation of improved mowing practices allows to quickly achieve self-sufficiency in the areas concerned. The results obtained show that the simulator developed will be able to test scenarios built with stakeholders and thus provide input for more reflections on the implementation of the structured fodder chain.

INTRODUCTION

Par sa situation insulaire, montagneuse et tropicale l'île de La Réunion présente une grande variété de

microclimats et des variations saisonnières très contrastées, provoquant deux périodes distinctes d'excédent et de déficit fourrager (Mandret et al., 2000). A cette variabilité temporelle de la ressource, s'ajoute une variabilité spatiale induite par une grande diversité de pédoclimats et des contraintes de relief. Ceci induit une spécialisation des productions agricoles. On distingue majoritairement (i) les « Hauts », zones d'altitude soumises à une pluviométrie élevée, un climat plus tempéré et de fortes pentes, où l'on trouve les prairies pâturées et la production de fourrages conservés par voie humide (enrubanné) et (ii) les « Bas », zones littorales moins pentues et à faibles précipitations, où l'on produit surtout de la canne à sucre mais également des fourrages conservés par voie sèche (foin). Cette distinction territoriale conditionne les activités d'élevage.

A l'échelle de l'île on observe une coordination insuffisante entre l'offre et la demande en fourrages (BRLi, 2017). Pour ces raisons l'Association Réunionnaise de Pastoralisme réfléchit à la mise en place d'une filière fourragère structurée dans le but d'orchestrer et de sécuriser l'approvisionnement des élevages au cours de l'année.

Par le biais d'une modélisation spatialement explicite, ce travail vise d'une part à décrire finement la situation fourragère actuelle et à tester l'impact de leviers techniques permettant d'augmenter les stocks fourragers. D'autre part, la capacité du simulateur développé à évaluer les impacts de la mise en place d'une filière structurée a été explorée.

MATERIEL ET METHODES

1. BASE DE DONNEES DES PRODUCTIONS ET BESOINS EN FOURRAGES

1.1 QUANTIFICATION ET LOCALISATION DES RESSOURCES FOURRAGERES ET DE LA CONSOMMATION

- *La production* : La première étape de l'étude de la production fourragère consiste en l'élaboration d'une cartographie fine du parcellaire fourrager. Celui-ci est réalisé par la combinaison de 3 couches géographiques : le RPG (Registre Parcellaire Graphique) 2017, la BOS (Base d'Occupation du Sol) 2016, et la Carte d'Occupation du Sol 2017 (S. Dupuy, CIRAD : une couche d'analyse de l'occupation du sol par l'étude d'images satellites). Le parcellaire obtenu contient 12 326 parcelles pour une surface de 35 184 ha qui se répartissent entre 10 959 ha de prairies et 22 918 ha de canne à sucre. A la suite, une typologie des surfaces fourragères et de leurs modes de gestion est réalisée à partir d'études bibliographiques et d'entretiens avec les experts du territoire. Ces types sont affectés à chaque parcelle de la carte à partir de références bibliographiques ou d'avis d'expert (grandes tendances sur des microrégions), de données connues à la parcelle (bilans fourragers réalisés par l'ARP ou données d'enquêtes), ou de photo-identification (analyse visuelle de l'image satellite).

Une table des rendements est élaborée en partenariat avec l'ARP, en fonction des types de

parcelle, des modes d'exploitation et de la zone pédoclimatique à laquelle appartient la parcelle. La multiplication du rendement par la surface permet d'obtenir, par saison, la production en fourrage de chaque parcelle de l'île.

- *La consommation* : Une trame de calcul commune à tous les élevages permet de décrire la demande en différents fourrages d'une exploitation. Pour chaque élevage identifié, la consommation de fourrages est estimée et géopositionnée sachant qu'elle est fonction des effectifs de chaque lot présent et de la ration donnée à ces lots. Les travaux de recherche bibliographique et les échanges avec les acteurs de terrain des élevages réunionnais ont permis de lister les fourrages principaux pouvant composer les rations animales : l'herbe pâturée, l'enrubanné, le foin, la paille de canne, l'affouragement en vert et l'ensilage de maïs (Grimaud et Thomas, 2002). Un travail de méta-analyse et la mobilisation de nombreux acteurs des coopératives d'élevage et des provendiers de La Réunion ont été nécessaires pour lister par filière les exploitations implantées sur l'île et en préciser les effectifs ainsi que les rations par lot.

1.2 ZONAGE LOGISTIQUE

La structuration d'une filière fourragère nécessite d'implanter des structures de stockage pour drainer les excédents de fourrages et les redistribuer quand ils font défaut. Cette implantation impose une approche par zonage logistique des flux afin de raisonner à plus petite échelle. Les règles régissant ce découpage logistique tiennent compte de l'altitude, du relief et du réseau routier. La courbe d'altitude de 800 mètres permet communément de distinguer les Bas des Hauts. Cette méthode a abouti à un découpage en 12 zones logistiques, 5 dans les Bas et 7 dans les Hauts.

1.3 BILAN FOURRAGER PAR ZONE

La quantification des productions permet d'obtenir, par saison et de manière spatialisée, les quantités des fourrages produits. Celle de la consommation indique les quantités des fourrages consommés. La comparaison des deux donne un bilan, par saison et à l'année, pour chaque type de fourrage et pour chaque zone. Le calcul des bilans par zone permet d'identifier celles déficitaires ou excédentaires pour chaque fourrage donné.

2. MODELISATION DE SCENARIOS D'AMELIORATION DU BILAN FOURRAGER ET MISE EN ŒUVRE D'UNE FILIERE FOURRAGERE STRUCTUREE

Afin d'explorer la possible mise en place d'une filière fourragère, un modèle de simulation dynamique et spatialement explicite a été développé, implémenté en langage Ocelet. Ocelet est un langage 'métier' basé sur le principe de graphes d'interactions. Il permet de modéliser des flux et gérer des réseaux d'acteurs tout en spatialisant les données (Degenne and Lo Seen, 2016).

En situation initiale, le modèle est alimenté par la base de données précédemment décrite et représente : le parcellaire et la production de foin et

d'enrubanné, la répartition des élevages et leurs besoins en foin et enrubannage, les réseaux d'acteurs liant producteurs et demandeurs de fourrages.

A partir des bilans fourragers et en partenariat avec les professionnels de l'élevage réunionnais, des leviers techniques d'amélioration de la disponibilité en ressources fourragères ont été proposés. Ils ont alors été simulés afin d'évaluer leurs impacts sur la production de stocks fourragers. A ces scénarios d'amélioration de disponibilité de fourrages, s'ajoutent des scénarios testant la mise en place de 4 structures de stockage collectif. Leur implantation permet de stocker les excédents de fourrages produits en période estivale, et de les redistribuer en période de pénurie hivernale. L'implantation de 4 structures de stockage a été validée à dire d'experts lors d'un atelier réunissant tous les acteurs liés à ce projet. Ainsi, deux de ces structures sont situées dans les Hauts et deux dans les Bas pour stocker respectivement les fourrages à conservation humide et les fourrages à conservation sèche.

2.1 LEVIER TECHNIQUE POUR AMELIORER LA DISPONIBILITE FOURRAGERE

L'amélioration de pratiques de fauche pour produire plus de fourrages enrubannés dans les Hauts de l'Ouest a été retenue comme levier technique à modéliser. En effet, le diagnostic spatialisé a montré que cette région est potentiellement excédentaire avec une sous-exploitation des prairies pâturées en particulier en période estivale. L'augmentation de stocks d'enrubannage concerne les parcelles pâturées ayant une surface supérieure à 1 ha (pour la viabilité économique du chantier de fauche). Trois niveaux d'augmentation des surfaces fauchées ont été représentés, discriminés par le niveau de pente des parcelles : ajout des parcelles dont la pente est inférieure à 20% (niveau 1), inférieure à 25% (niveau 2), inférieure à 30% (niveau 3). Ces trois niveaux illustrent trois niveaux de difficulté à mettre en place des fauches sur ces surfaces supplémentaires. Les trois modalités de mises en œuvre ont été comparées à partir du calcul du bilan fourrager, en type et volume de fourrage pour chaque zone et à l'échelle de l'île.

2.2 EXPLORATION DE SCENARIOS DE STRUCTURATION DES ECHANGES AU SEIN D'UNE FILIERE FOURRAGERE

Si les productions et besoins en fourrages ont été renseignés dans la base de données, nous n'avons actuellement pas connaissance des réseaux sociaux à l'origine des flux d'échanges à l'échelle de l'île. Afin de tester la capacité du simulateur développé à évaluer l'impact de la mise en œuvre d'une filière structurée, nous avons choisi de représenter un réseau de proximité pour l'ensemble des éleveurs. Ainsi, les demandeurs s'approvisionnent chez les producteurs les plus proches. Ensuite parmi les nombreux itinéraires possibles sur le réseau routier, le modèle simule les solutions optimales de mises en relation producteur-demandeur.

A partir de la situation initiale (scénario S0), trois scénarios d'augmentation des productions d'enrubannage ont été simulés : S1_1, S1_2, S1_3, selon les 3 niveaux d'augmentation des surfaces fauchées dans les Hauts de l'Ouest. Un scénario (S2) combinant une augmentation de la production dans les Hauts de l'Ouest (niveau 2) et de la capacité de stockage basée sur l'implantation des 4 structures de stockage a également été simulé.

Les indicateurs en sortie du modèle pour chaque scénario sont : (i) le nombre de flux de fourrage (ii) la somme des distances parcourues (iii) le nombre de détenteurs dont les besoins sont satisfaits.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. BILAN FOURRAGER PAR ZONE

La production totale de fourrages sur l'île avoisine les 114 000 TMS par an (Tab.1). L'herbe sur pied surtout pâturée est la première ressource fourragère de l'île, plus de deux fois plus importante que l'enrubanné et quatre fois plus que le foin (Tab.1).

La consommation des fourrages concerne un total de 3 082 élevages pour 58 848 têtes. Ce chiffre comprend les cheptels de bovins (laitiers, allaitant en et hors filière), petits ruminants (ovins et caprins, en et hors filière), équidés et cervidés. La consommation annuelle totale de fourrages par ces élevages s'élève à 110 557 tonnes de MS.

Les troupeaux bovins allaitants sont les principaux consommateurs d'herbe pâturée (dont 66% sont consommés par les bovins allaitants) et d'enrubanné. Les bovins laitiers quant à eux consomment plus de la moitié de la paille de canne.

Aliment	Production	%
Herbe sur pied	60 682 T de MS	53 %
Enrubanné	25 067 T de MS	22 %
Foin	14 395 T de MS	13 %
Maïs ensilage	557 T de MS	0,4 %
Affouragement vert	6 978 T de MS	6 %
Paille de canne	6 375 T de MS	5,6 %

Tableau 1 Fourrages produits par an (en TMS)

Sur le bilan global à l'échelle de l'île (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), on remarque une sous-valorisation de l'herbe sur pied et un flux tendu pour les fourrages conservés, ce qui traduit peu de marge de sécurité. Ce bilan est donc sensible aux aléas climatiques, induisant des importations de fourrages lors des années les plus sèches.

Le déficit saisonnier est plus marqué dans les Hauts de l'Ouest et à La Plaine des Cafres qui sont des zones excédentaires en herbe mais déficitaires en foin et paille de canne. Dans ces zones, la demande en fourrages conservés est la plus forte en raison de la localisation des élevages les plus forts consommateurs. La zone des Hauts du Nord est globalement à l'équilibre. La zone des Bas montre un excédent en foin. Les difficultés d'approvisionnement des élevages à certaines périodes de l'année confirment l'intérêt de la mise

en place d'une gestion globale des stocks à l'échelle de l'île.

Le déficit d'affouragement en vert s'explique par une sous-déclaration des surfaces et des difficultés à recenser ces surfaces fourragères qui sont souvent de petites tailles. Il s'agit souvent de récolte informelle de végétations de bords de routes, parfois en canne fourragère, ou de parcelles en friches. Ce fourrage occupe cependant une part importante des rations des troupeaux, principalement ceux des élevages hors filière.

3.2. IMPACTS DE L'AUGMENTATION DE LA PRODUCTION DE STOCKS FOURRAGERS

Pour les scénarios S1_1 à S1_3, le gain sur la production d'enrubanné à l'échelle de l'île varie de +1% (S1_1) à +18% (S1_3), avec un bilan fourrager positif dès le niveau 2 implémenté. Considérant que la fauche stimule la repousse des plantes, limite les zones de refus et la propagation des mauvaises herbes, la mise en place de ces pratiques permet également d'augmenter très légèrement la production d'herbe.

3.2. RESULTATS EXPLORATOIRES DE MISE EN ŒUVRE D'UNE FILIERE FOURRAGERE STRUCTUREE

Le scénario S0 permet de satisfaire 97% des 900 demandeurs de foin et 99% des 406 demandeurs d'enrubanné. Cela résulte en 2 294 flux de foin pour un total de 14 300 TMS de biomasse transportée et 1 985 flux d'enrubanné pour un total de 29 000 TMS. En terme de distance parcourue, les flux de foin représentent 46 500 km et les flux d'enrubanné 29 400 km. Comme énoncé plus tôt, ces résultats surestiment le niveau de satisfaction et le nombre de flux en comparaison des flux réels car nous considérons que l'ensemble des éleveurs ont connaissance et accès aux stocks disponibles, ce qui n'est actuellement pas le cas (données ARP).

En combinant une augmentation de stock d'enrubanné et un stockage/redistribution structuré, le scénario S_2 permet de satisfaire 9 éleveurs supplémentaires en foin et 4 éleveurs en enrubannage. Cette augmentation s'accompagne d'un accroissement de 700 flux qui impliquent des distances à parcourir jusqu'à près de 20 000 km supplémentaires. Toutefois, ces flux concernent des déplacements dont les distances sont plus courtes :

seuls 28 % des trajets font plus de 20 km, contre 50% en situation initiale sans lieux de stockage.

Les résultats de modifications de flux (distance, nombre notamment) montrent que le simulateur développé répond bien à notre objectif d'évaluer l'impact de la mise en œuvre d'une filière fourrage structurée sur l'organisation des flux. Il s'agit maintenant de préciser avec les acteurs locaux, quels seraient les participants à cette filière structurée (nos essais prennent en compte l'ensemble des demandeurs et producteurs) et comment seraient organisés les flux d'échanges entre eux (via l'appartenance à des coopératives, via les réseaux professionnels...). Ces choix auront un impact sur l'organisation des flux de fourrage. De plus, différents leviers techniques ont émergé des propositions des acteurs tels qu'une amélioration de la gestion des pâturages ou la récupération des surfaces de friche. Ils pourront être testés. La version actuelle du modèle ne tient pas compte de la qualité du fourrage. Or celle-ci sera fondamentale pour une adhésion des éleveurs à une filière fourragère efficiente.

CONCLUSION

L'ensemble des scénarios et des résultats de simulation servent à alimenter une réflexion multi-acteurs sur la mise en place d'une filière fourragère structurée. Les résultats de simulation ont également permis d'initier une évaluation économique de la mise en place d'une telle filière par un bureau d'étude.

Les auteurs tiennent à remercier l'ensemble des acteurs mobilisés dans le projet CASDAR GABIR et particulièrement : l'ARP, le CIRAD et INRAE, la SICAREVIA, la DAAF, TEREOS et ERCANE, ainsi que les éleveurs rencontrés au cours d'entretiens.

RÉFÉRENCES

- BRLi, 2017.** Etude prospective sur la ressource fourragère. Rapport. pp.79.
- Degenne P., Lo Seen D., 2016.** Ocelet: Simulating processes of landscape changes using interaction graphs, SoftwareX, 5:89-95.
- Grimaud P., Thomas P.** Diversité des rations à base de graminées et gestion des prairies en élevage bovin à La Réunion. Fourrages, 169, 65-78.
- Mandret et al., 2000.** Le comportement des espèces fourragères. In L'élevage bovin à la Réunion. Synthèse de quinze ans de recherche. Service de éditions du CIRAD, Montpellier, 35-42.

Zone	Saison	Enrubanné	Mais ensilage	Foin	Herbe pâturée	Paille de canne
Hauts de l'Ouest	Été	6890	0	-899	1646	-577
	Hiver	-2298	0	-904	4971	-608
Plaine des Cafres	Été	-410	1202	0	-282	2642
	Hiver	-464	-1459	0	-284	2907
Hauts du Nord	Été	-70	0	0	-9	172
	Hiver	-70	0	0	-9	96
Bas de l'Ouest	Été	-3876	-425	94	1821	-2

	Hiver	-3954	-492	85	1407	-3
Ile	Été	8546	238	669	11401	1779
	Hiver	-7519	220	-581	13639	1740

Tableau 2 Bilan fourrager saisonnier à l'échelle de l'île de La Réunion et dans 4 zones logistiques contrastées (Bilan calculé par la différence entre production et besoins par zone, en TMS)