

Available online at <http://www.ifg-dg.org>

Int. J. Biol. Chem. Sci. 10(3): 966-982, June 2016

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

**International Journal
of Biological and
Chemical Sciences**

Original Paper<http://ajol.info/index.php/ijbcs><http://indexmedicus.afro.who.int>

Altrop, un calculateur des rations des bovins pour l'accompagnement des projets d'élevage familiaux

B.J. DELMA^{1*}, V. BOUGOUMA-YAMEOGO², B.H. NACRO² et E. VALL³¹Centre International de Recherche-Développement sur l'Élevage en zone Subhumide (CIRDES),
01 BP 454, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.²Institut du Développement Rural (IDR), Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB),
01 BP 1091 Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.³Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD),
UMR Selmet, F-34398 Montpellier, France.*Auteur correspondant ; E-mail : delmajethro@yahoo.fr ; Tél. : +226 70 00 87 92

REMERCIEMENTS

Cette étude a été soutenue grâce au financement du projet Options d'intensification durable (AusAid, Coraf) et par une subvention de doctorat Aird/Cirad.

RÉSUMÉ

Au Burkina Faso, les producteurs ont des difficultés à satisfaire les besoins alimentaires de leurs bovins (bœufs de trait, vaches laitières, bovins à l'engraissement) en fonction de leur niveau de production et à certaines saisons. L'étude avait pour but de présenter un outil permettant de mieux gérer l'alimentation de lots de bovins, en prenant en compte la logique des pratiques d'alimentation des producteurs, tout en intégrant les références zootechniques permettant d'ajuster l'offre aux besoins alimentaires des animaux. Altrop est un calculateur permettant d'ajuster l'offre alimentaire proposée à un lot de bovins affectés à une production particulière aux besoins de ces derniers. Il permet de simuler des scénarios d'amélioration des stratégies d'alimentation, de voir rapidement les effets sur l'ajustement de l'offre aux besoins, et de calculer les stocks de fourrages et d'aliments nécessaires à la réalisation de ces scénarios. En réduisant les déséquilibres des pratiques d'alimentation, souvent observées chez les producteurs, Altrop permet d'améliorer la rentabilité des projets d'élevage familiaux.

© 2016 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Besoin alimentaire, bovin, calculateur Altrop, offre, simulation, stratégies d'alimentation.

Altrop, a calculator of cattle rations for the support of family livestock projects

ABSTRACT

In Burkina Faso, a majority of farmers have difficulties to satisfy the feeding needs of their livestock (draft animals, cattle for fattening and dairy cows) according to their level of production and the seasonality of

© 2016 International Formulae Group. All rights reserved.

2654-IJBCS

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3.5>

their activities. This study aimed at designing a tool for better management of the feeding techniques of cattle, by taking into account farmers' logic for the integration of scientific recommendation in order to adjust to the nutrition needs of the cattle. Altrop is a calculator tool used to adjust the feed supply for a group of cattle assigned to a specific production system (with specific needs). It allows simulating improvement scenarios of feeding strategies, to see the effects of the adjustment of supply on needs, and to calculate the fodder stocks and feed supplements necessary for the implementation of these scenarios. By reducing the imbalances in the management observed during the animal feeding practices, Altrop could allow improving the profitability of family livestock projects.

© 2016 *International Formulae Group*. All rights reserved.

Keywords: Cattle, calculator Altrop, feeding strategies, nutrition needs, supply, simulation.

INTRODUCTION

L'élevage est une source de subsistance pour les producteurs familiaux d'Afrique de l'Ouest (Koura et al., 2015). Pour bien nourrir leurs bovins, les producteurs doivent avoir un accès constant à des pâturages, des fourrages et des aliments en quantité suffisante et si possible de bonne qualité (Sanon et al., 2014). La variabilité de la quantité et de la qualité des ressources alimentaires pendant l'année est un facteur limitant très important de la production des bovins (Archimède et al., 2011; Zampaligré, 2012).

L'ajustement de l'offre alimentaire aux besoins des animaux est une tâche importante pour le producteur, car elle conditionne la rentabilité et la réussite d'un projet d'élevage familial. Pour assurer un tel ajustement pour un lot d'animaux, il faut d'une part, être capable d'évaluer leurs besoins en énergie, en matières azotées, en matières minérales et en vitamines, et d'autre part, être capable de déterminer les apports alimentaires provenant des parcours, des fourrages stockés et des aliments de complémentation.

Au Burkina Faso, les producteurs de bovins ont des difficultés à satisfaire les besoins alimentaires de leurs animaux en fonction de leur niveau de production (bœufs de trait, vaches laitières, bovins à l'engraissement), notamment durant les périodes de pénurie de fourrage comme la saison sèche (MRA, 2012). La zootechnie propose des systèmes pour calculer et ajuster les besoins individuels des animaux à l'offre. Mais du point de vue pratique, les producteurs ne raisonnent pas exactement en termes de

calcul des besoins et d'offre, ni en termes d'individus (Delma et al., 2016). Pour un producteur, les pâturages sont censés satisfaire les besoins d'entretien d'un lot d'animaux et quand il estime que cela ne suffit pas alors il complète l'apport du pâturage avec des fourrages conservés et des aliments de complémentation.

En milieu tropical, il existe peu de modèles adaptés pour ajuster les besoins d'un lot de bovins en production à l'offre alimentaire. Les outils disponibles comme LIVSIM (Rufino et al., 2009) nécessitent beaucoup de données d'entrées et ne sont pas très pratiques à utiliser dans une activité de conseil avec un producteur de type polyculteur éleveur familial. Dans les zones tempérées, des outils tels que INRATION (INRA, 2007) ont été développés pour suivre le rationnement des animaux affectés à un type de production, mais ils ne sont pas directement utilisables dans les conditions d'élevage des zones tropicales comme le Burkina Faso. La construction d'un outil de rationnement adapté aux caractéristiques des bovins des zones tropicales, et aux conditions d'élevage familiales locales permettrait donc de combler ce vide et de contribuer à une meilleure réussite économique des projets d'élevage familiaux.

L'objectif de cette étude est de présenter le calculateur Altrop, qui est un outil permettant d'ajuster les rations alimentaires de lots de bovins tropicaux (bovins de trait, vaches laitières, bovins à l'engraissement), placés dans les conditions réelles des exploitations de polyculture-élevage

familiales des zones de savanes subhumides d'Afrique de l'Ouest. La première partie présente la structure et le fonctionnement d'Altrop. Puis la seconde partie présente une illustration de son utilisation avec des données provenant d'une exploitation réelle qui avait un projet d'élevage familial de vaches laitières. La discussion revient sur les atouts et limites de l'outil, sur les effets produits par son utilisation en termes d'apprentissage, et dresse les perspectives de son utilisation pour des conseillers de terrain en élevage.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Principes de fonctionnement d'Altrop

Altrop est un outil informatique permettant d'ajuster l'offre alimentaire (composée de pâturages, de fourrages et d'aliments), proposée à un lot d'animaux affectés à une production particulière (énergie agricole, production de viande ou de lait) aux besoins de ces derniers en énergie (UF), en matières azotées digestible (MAD) et en sels minéraux (Ca et P) (Figure 1). Il a été développé sous Excel.

Altrop a été conçu pour les systèmes d'élevage familiaux de type bovins de trait, vaches laitières et bovins à l'engraissement, soumis à un régime alimentaire essentiellement basé sur la valorisation des produits alimentaires disponibles au sein des exploitations familiales (les pâturages, les fourrages stockés et les aliments bétail).

Chez les bovins tropicaux, l'énergie, les matières azotées, et les sels minéraux (Ca et P) sont des facteurs nutritifs très importants à prendre en compte (Rivière, 1991). Dans Altrop, le calcul de la couverture des besoins alimentaires du lot de bovins est réalisé en deux étapes successives. Dans la première étape, les besoins du lot sont calculés en tenant compte des caractéristiques individuelles des animaux du lot et de la production que ces animaux fournissent (poids vif, date de mise bas, gain moyen quotidien de croissance, grain moyen quotidien d'engraissement, niveau d'intensité du travail). Dans la seconde étape, l'ingestion est calculée en fonction de la durée du pâturage

quotidien, et des quantités de fourrages et d'aliments offertes au lot de bovin, en prenant en compte les taux de refus pour les fourrages et pour les aliments.

Altrop permet d'ajuster la couverture des besoins alimentaires du lot de bovins en production pour ces facteurs nutritifs avec les apports alimentaires des pâturages, des fourrages conservés et des aliments.

La durée totale d'un projet d'élevage familial peut être découpée en périodes alimentaires durant lesquelles les besoins et l'offre alimentaires sont constants. La planification de l'alimentation repose donc sur ces périodes alimentaires. Le pilotage de l'alimentation repose sur des opérations d'adaptation des rations à chaque changement de périodes.

Le calcul des besoins des bovins dans

Altrop

Les besoins journaliers des bovins se répartissent en besoins d'entretien et de déplacement et en besoins de production. Les besoins de production se subdivisent en besoin de croissance, de lactation, de gestation, d'engraissement et de travail. Le besoin journalier total d'un bovin (Bes) correspond à la somme des besoins élémentaires (Rivière, 1991) :

$$\text{Bes} = \text{Bes}_{\text{entretien}} + \text{Bes}_{\text{déplacement}} + \text{Bes}_{\text{croissance}} + \text{Bes}_{\text{lactation}} + \text{Bes}_{\text{gestation}} + \text{Bes}_{\text{engraissement}} + \text{Bes}_{\text{travail}}$$

Pour établir les besoins des bovins, le système zootechnique du manuel de zootechnie tropicale de Rivière (1991) a été utilisé. Pratiquement tous les coefficients présentés ci-après dans les équations des besoins ont été tirés de cet ouvrage. Quelques coefficients concernant les bovins de travail ont été prélevés dans l'ouvrage de Lhoste et al. (2010) et concernant les vaches laitières de (Meyer et Denis, 1999 ; Mattheewman, 1996).

Besoins élémentaires en énergie (en Unités Fourragères, UF)

Le besoin énergétique d'entretien journalier augmente en fonction du poids vif de l'animal (PV en kg) :

$$\text{UF}_{\text{entretien}} (\text{UF/j}) = 0,509 + 6,774.10^{-3} \times \text{PV}$$

Le besoin énergétique dû au déplacement tient compte de la distance parcourue par jour (en km) et du PV de l'animal (en kg) :

$$UF_{\text{déplacement}} (UF/j) = 0,026 \times \text{Déplacement} \times PV/100$$

Le besoin énergétique lié à la croissance est fonction du PV de l'animal (en kg) et de son gain moyen quotidien (GMQ en g/j) :

$$GMQ = 100 \text{ g/j} \quad UF_{\text{croissance}} (UF/j) = 0,1250 + 0,0005 \times PV$$

$$GMQ = 250 \text{ g/j} \quad UF_{\text{croissance}} (UF/j) = 0,2710 + 0,0014 \times PV$$

$$GMQ = 500 \text{ g/j} \quad UF_{\text{croissance}} (UF/j) = 0,5387 + 0,0029 \times PV$$

$$GMQ = 750 \text{ g/j} \quad UF_{\text{croissance}} (UF/j) = 0,8258 + 0,0042 \times PV$$

$$GMQ = 1000 \text{ g/j} \quad UF_{\text{croissance}} (UF/j) = 1,0775 + 0,0057 \times PV$$

Le besoin énergétique lié à la production de lait est fonction de la quantité de lait produit :

$$UF_{\text{lactation}} (UF/j) = 0,4 \times \text{Production de lait (kg/j)}$$

Le besoin énergétique de gestation prend une valeur à partir du 5^{ème} mois de gestation (il est considéré nul avant) en prenant en compte le mois de gestation et le PV (en kg) :

5^{ème} mois de gestation

$$UF_{\text{gestation}} (UF/j) = 0,1 \times PV/100$$

6^{ème} mois de gestation

$$UF_{\text{gestation}} (UF/j) = 0,1 \times PV/100$$

7^{ème} mois de gestation

$$UF_{\text{gestation}} (UF/j) = 0,15 \times PV/100$$

8^{ème} mois de gestation

$$UF_{\text{gestation}} (UF/j) = 0,2 \times PV/100$$

9^{ème} mois de gestation

$$UF_{\text{gestation}} (UF/j) = 0,3 \times PV/100$$

Le besoin énergétique lié à l'engraissement est fonction du gain moyen quotidien (GMQ en g/j) de l'animal et de la phase d'engraissement (début, milieu, et fin) :

Début de l'engraissement

$$UF_{\text{engraissement}} (UF/j) = 3,00 \times GMQ/1000$$

Milieu de l'engraissement

$$UF_{\text{engraissement}} (UF/j) = 3,75 \times GMQ/1000$$

Fin de l'engraissement

$$UF_{\text{engraissement}} (UF/j) = 4,5 \times GMQ/1000$$

Le surplus de besoin énergétique lié au travail est fonction de l'intensité du travail (léger, moyen, fort) et s'ajoute au besoin d'entretien : Travail léger $UF_{\text{travail}} (UF/j) = 0,5 \times \text{Entretien}$

$$\text{Travail moyen} \quad UF_{\text{travail}} (UF/j) = 1,0 \times$$

Entretien

$$\text{Travail fort} \quad UF_{\text{travail}} (UF/j) = 1,5 \times$$

Entretien

Besoins élémentaires protéiques (en Matières Azotées Digestibles ou, MAD)

Le besoin protéique d'entretien journalier augmente en fonction du PV de l'animal (en kg) à raison de 0,6 g MAD/kgPV :

$$MAD_{\text{entretien}} (g \text{ MAD/j}) = 0,6 \times PV$$

Le besoin protéique dû au déplacement est considéré comme nul, car cette activité n'affecte que très peu le besoin en matière azotée.

Le besoin protéique de croissance dépend du PV de l'animal (en kg) et de son gain moyen quotidien (GMQ en g/j) :

$$GMQ=100 \text{ g/j} \quad MAD_{\text{croissance}} (gMAD/j) = 93,548 + 0,5277 \times PV - 0,0013 \times PV^2$$

$$GMQ=250 \text{ g/j} \quad MAD_{\text{croissance}} (gMAD/j) = 117,53 + 0,5967 \times PV - 0,0014 \times PV^2$$

$$GMQ=500 \text{ g/j} \quad MAD_{\text{croissance}} (gMAD/j) = 172,10 + 0,6367 \times PV - 0,0013 \times PV^2$$

$$GMQ=750 \text{ g/j} \quad MAD_{\text{croissance}} (gMAD/j) = 224,12 + 0,7656 \times PV - 0,0015 \times PV^2$$

$$GMQ=1000 \text{ g/j} \quad MAD_{\text{croissance}} (gMAD/j) = 275,30 + 0,8075 \times PV - 0,0014 \times PV^2$$

Le besoin protéique lié à la production de lait est fonction de la quantité de lait produite à raison de 60 g de MAD par kg de lait produit :

$$MAD_{\text{lactation}} (gMAD/j) = 60 \times \text{Production de Lait (kg/j)}$$

Le besoin protéique de gestation peut être calculé pour les 5 derniers mois de la gestation en tenant compte du mois de gestation (5 à 9) et du PV. Il est calculé par l'équation suivante :

5^{ème} mois de gestation

$$MAD_{\text{gestation}} (gMAD/j) = 10 \times PV/100$$

6^{ème} mois de gestation

$$MAD_{\text{gestation}} (gMAD/j) = 10 \times PV/100$$

7^{ème} mois de gestation
 $MAD_{\text{gestation}} \text{ (gMAD/j)} = 15 \times \text{PV}/100$

8^{ème} mois de gestation
 $MAD_{\text{gestation}} \text{ (gMAD/j)} = 20 \times \text{PV}/100$

9^{ème} mois de gestation
 $MAD_{\text{gestation}} \text{ (gMAD/j)} = 30 \times \text{PV}/100$

Le besoin protéique lié à l'engraissement est fonction du gain moyen quotidien (GMQ, en g/j) de l'animal et du besoin énergétique de l'animal. Ce besoin est donné par la formule suivante :

$$MAD_{\text{engraissement}} \text{ (gMAD/j)} = 100 \times \text{Total UF} \times \text{GMQ engrais}/1000$$

Le besoin protéique lié au travail n'est pas fonction du niveau d'intensité du travail. Cependant, on estime que chez un animal au travail, l'augmentation du besoin protéique est donnée par l'équation suivante quelle que soit l'intensité du travail :

$$MAD_{\text{travail}} \text{ (gMAD/j)} = 0,75 \times \text{PV} - \text{Entretien MAD (g/j)}$$

Besoins élémentaires en Calcium (Ca)

Le besoin d'entretien en Ca augmente en fonction du PV de l'animal (en kg) :

$$Ca_{\text{entretien}} \text{ (gCa/j)} = 0,2628 + 0,0493 \times \text{PV}$$

Le déplacement n'affecte pas le besoin en calcium de l'animal. Donc le besoin en calcium dû au déplacement est nul.

Le besoin en Ca lié à la croissance est fonction du PV de l'animal et de son gain moyen quotidien (GMQ en g/j) :

$$\text{GMQ}=100 \text{ g/j} \quad Ca_{\text{croissance}} \text{ (gCa/j)} = -0,000005 \times \text{PV}^2 + 0,0022 \times \text{PV} + 02,0522$$

$$\text{GMQ}=250 \text{ g/j} \quad Ca_{\text{croissance}} \text{ (gCa/j)} = -0,000020 \times \text{PV}^2 + 0,0103 \times \text{PV} + 04,6156$$

$$\text{GMQ}=500 \text{ g/j} \quad Ca_{\text{croissance}} \text{ (gCa/j)} = -0,000020 \times \text{PV}^2 + 0,0271 \times \text{PV} + 08,6626$$

$$\text{GMQ}=1000 \text{ g/j} \quad Ca_{\text{croissance}} \text{ (gCa/j)} = -0,000080 \times \text{PV}^2 + 0,0310 \times \text{PV} + 18,1100$$

Le besoin en Ca lié à la production de lait est fonction de la quantité de lait produit.

$$Ca_{\text{lactation}} \text{ (gCa/j)} = 3 \times \text{Production de Lait (kg/j)}$$

Le besoin en Ca lié à la gestation peut être calculé en tenant compte du mois de gestation, à partir du 5^{ème} mois:

$$5^{\text{ème}} \text{ mois de gestation} \quad Ca_{\text{gestation}} \text{ (gCa/j)} = 05$$

$$6^{\text{ème}} \text{ mois de gestation} \quad Ca_{\text{gestation}} \text{ (gCa/j)} = 05$$

$$7^{\text{ème}} \text{ mois de gestation} \quad Ca_{\text{gestation}} \text{ (gCa/j)} = 10$$

$$8^{\text{ème}} \text{ mois de gestation} \quad Ca_{\text{gestation}} \text{ (gCa/j)} = 20$$

$$9^{\text{ème}} \text{ mois de gestation} \quad Ca_{\text{gestation}} \text{ (gCa/j)} = 15$$

Le besoin en Ca lié à l'engraissement est fonction du gain moyen quotidien de l'animal (GMQ en g/j):

$$Ca_{\text{engraissement}} \text{ (g Ca/j)} = 15 \times \text{GMQ}/1000$$

Le besoin en calcium dû au travail est nul, car le travail n'a pas un effet sur le besoin en calcium.

Besoins élémentaires en Phosphore (P)

Le besoin d'entretien en P augmente en fonction du PV de l'animal (en kg) :

$$P_{\text{entretien}} \text{ (gP/j)} = 0,2628 + 0,0293 \times \text{PV}$$

Le besoin en P dû au déplacement est nul, car le déplacement n'a pas un effet sur le besoin en phosphore.

Le besoin en P lié à la croissance est fonction du PV de l'animal (en kg) et de son gain moyen quotidien (GMQ en g/j) :

$$\text{GMQ}=100 \text{ g/j} \quad P_{\text{croissance}} \text{ (gP/j)} = -0,00002 \times \text{PV}^2 + 0,0134 \times \text{PV} + 1,4168$$

$$\text{GMQ}=250 \text{ g/j} \quad P_{\text{croissance}} \text{ (gP/j)} = -0,00002 \times \text{PV}^2 + 0,0152 \times \text{PV} + 3,0862$$

$$\text{GMQ}=500 \text{ g/j} \quad P_{\text{croissance}} \text{ (gP/j)} = -0,00002 \times \text{PV}^2 + 0,0209 \times \text{PV} + 4,0869$$

$$\text{GMQ}=1000 \text{ g/j} \quad P_{\text{croissance}} \text{ (gP/j)} = -0,00004 \times \text{PV}^2 + 0,0417 \times \text{PV} + 9,6177$$

Le besoin en P lié à la production de lait est fonction de la quantité de lait produite :

$$P_{\text{lactation}} \text{ (gP/j)} = 1,6 \times \text{Production de Lait (kg/j)}$$

Le besoin en P lié à la gestation peut être calculé en prenant en compte le mois de gestation :

$$5^{\text{ème}} \text{ mois de gestation} \quad P_{\text{gestation}} \text{ (gP/j)} = 3$$

$$6^{\text{ème}} \text{ mois de gestation} \quad P_{\text{gestation}} \text{ (gP/j)} = 3$$

$$7^{\text{ème}} \text{ mois de gestation} \quad P_{\text{gestation}} \text{ (gP/j)} = 5$$

$$8^{\text{ème}} \text{ mois de gestation} \quad P_{\text{gestation}} \text{ (gP/j)} = 10$$

$$9^{\text{ème}} \text{ mois de gestation} \quad P_{\text{gestation}} \text{ (gP/j)} = 10$$

Le besoin en P lié à l'engraissement est fonction du gain moyen quotidien (GMQ en g/j) de l'animal:

$$P_{\text{engraissement}} \text{ (gP/j)} = 9 \times \text{GMQ} / 1000$$

Le besoin en P lié au travail est nul, car le travail n'a pas un effet sur le besoin en phosphore.

Les calculs des matières ingérées des bovins dans Altrop

Dans les exploitations de polycultures élevage familiales de l'Ouest du Burkina Faso, les ressources alimentaires se composent de 3 fractions : les pâturages, les fourrages stockés et les aliments concentrés.

Les pâturages

Ils sont situés aux alentours des exploitations et ils varient en quantité et en qualité au fil des saisons. La composition principale des pâturages est : *Andropogon gayanus*, *Hyparrhenia glabriuscula*, *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon ascinioidis*, *Loudetia togoensis*, *Schoenfeldia gracili*, *Parkia biglobosa*, *Pterocarpus lucens*, *Acacia Senegal* et *Aristida spp* (Vall et Diallo, 2009). Il n'existe pas de valeurs alimentaires des pâturages bien déterminés. Des valeurs moyennes du pâturage en fonction des saisons correspondant en gros à la valeur moyenne des graminées les plus abondantes dans le milieu local ont été attribuées (Tableau 1). La matière sèche volontairement ingérée par 100 kg de poids vif (MSVI/100 kg PV) varie entre 2 et 2,5 kg MS/100 kg PV selon la saison (Guérin et al., 1991).

Pour le calcul de la matière sèche volontairement ingérée au pâturage par bovin et par jour (MSVI_{pâturage}), deux hypothèses ont été posées : i) une journée complète de pâture dure au maximum 9 h (Vall et Diallo, 2009) ; ii) la MSVI_{pâturage} est proportionnelle à la durée de la journée de pâturage dans une limite de 9 h. Partant de là, connaissant le poids vif de l'animal (en kg), et le taux de MSVI/100 kg PV pour chaque saison, la quantité de matière sèche volontairement ingérée par jour et par animal au pâturage (MSVI_{pâturage}) a été calculée ainsi :

$$MSVI_{pâturage} \text{ (kg MS/tête)} = [durée \text{ pâturage (en h)} / 9] \times [MSVI/100kgPV_{saison i} \times PV / 100]$$

Ensuite, en appliquant les teneurs en UF, MAD, Ca et P d'un kilogramme de

fourrage du pâturage de la saison i, les quantités d'UF, MAD, Ca et P ingérées/jour/animal à partir du pâturage pourraient être calculées.

Les fourrages stockés

Les fourrages proviennent des récoltes (résidus de cultures stockés à la maison sur des hangars en plein air) et des collectes des producteurs (foin et/ou paille de brousse coupé et conservé à la maison et des feuilles de *Acacia sieberiana* collectées en fin de saison sèche chaude). Les fourrages grossiers sont constitués principalement de chaumes de céréales (pailles de maïs, pailles de sorgho, paille de riz, rafles de sorgho et de maïs, et foin de brousse). Les fanes de légumineuses (fanés de niébé, d'arachide et de mucuna) sont des fourrages de bonne qualité. Les valeurs alimentaires mentionnées dans le Tableau 1 proviennent des tables des valeurs alimentaires des fourrages tropicaux (Rivière, 1991 ; Lhoste et al., 2010). Les taux de refus des fourrages grossiers ont été mesurés dans les exploitations étudiées lors de la présente étude. Les taux les plus élevés sont ceux des fourrages grossiers (entre 30 et 56% de refus) et les plus faibles les légumineuses ($\pm 6\%$). Le refus de la plupart des fourrages se situe entre ces deux extrêmes.

Pour un fourrage donné (i) la formule de calcul de la matière sèche volontairement ingérée par jour et par animal (MSVI_{fourrage i}, en kg MS/j/tête) est :

$$MSVI_{fourrage i} \text{ (kg MS/j/tête)} = (Offert_{fourrage i} \times (1 - \text{Taux de refus}_{fourrage i}) \times \text{Taux MS}_{fourrage i} / 100)$$

(Offert en kg de matière brute ; taux de refus en % et taux de MS en %)

Ensuite, en appliquant les teneurs en UF, MAD, Ca et P par kg de MS du fourrage i, les quantités d'UF, MAD, Ca et P ingérées/jour/animal du fourrage i pouvaient être calculées.

Les aliments concentrés

Les aliments utilisés par les projets d'élevage familiaux sont la farine basse de riz, le tourteau de coton, les coques de coton, la drêche de bière locale et les gousses de *Faidherbia albida*. Certains proviennent du

marché (tourteau de coton, farine basse de riz...), d'autres sont produits dans l'exploitation (drêche de bière de sorgho), ou collectés au champ (gousses de *Faidherbia albida*). Les valeurs alimentaires des aliments pris en compte figurent dans le Tableau 1 où l'on voit que les taux de refus sont généralement faibles (0 à 5%).

Pour un aliment donné (i) la formule de calcul de la matière sèche volontairement ingérée par jour et par animal ($MSVI_{\text{aliment } i}$, en kg MS/j/tête) est :

$$MSVI_{\text{aliment } i} \text{ (kg MS/j/tête)} = \frac{\text{Offert}_{\text{aliment } i} \times (1 - \text{Taux de refus}_{\text{aliment } i}) \times \text{Taux MS}_{\text{aliment } i}}{\text{Taux de refus}_{\text{aliment } i}}$$

(Offert en kg de matière brute ; Taux de refus en % et taux de MS en %)

Ensuite, en appliquant les teneurs en UF, MAD, Ca et P par kg de MS de l'aliment i, les quantités d'UF, MAD, Ca et P ingérée/jour/animal pouvaient être calculées à partir de l'aliment i.

RÉSULTATS

Ajustement de l'offre alimentaire aux besoins d'un lot de bovins par périodes homogènes

Altrop est un tableur qui établit le bilan nutritionnel par période homogène afin de détecter les éventuels déséquilibres entre besoins nutritionnels et matières ingérés. Chaque période est définie par des besoins et une ration constants. Il revient à l'utilisateur de découper le projet d'élevage familial en autant de périodes homogènes qu'il le juge nécessaire (dans la limite de 12).

La structure générale d'Altrop

Altrop est conçu autour d'une série de feuilles de calcul.

La première feuille concerne les durées des périodes (date de début et date de fin).

Ensuite, on trouve une série de 12 feuilles dites « périodes ». Elles sont identiques, chaque feuille correspondant à une période homogène. Sur une feuille, on trouve d'abord le calcul des besoins du lot de bovins de vingt (20) têtes au maximum pour la période donnée, puis le calcul de la quantité

de fourrage ingérée au pâturage (en fonction de la durée de pâture), la quantité de fourrage conservé ingérée (choix possible parmi les 17 fourrages conservés les plus fréquemment utilisés dans la zone d'étude, Tableau 1) et la quantité d'aliments concentrés (choix parmi les 9 aliments concentrés les plus fréquemment utilisés dans la zone, Tableau 1).

Ensuite, deux feuilles de calcul regroupent les sorties des 12 feuilles :

- la première présente des graphes d'évolution des besoins et des matières ingérés en UF, en MAD, en Ca et en P par jour et par tête selon les périodes ;
- la seconde calcule les stocks de fourrages et d'aliment à réaliser pour toute la durée du projet d'élevage (sommes sur l'ensemble des périodes) ;
- la troisième feuille rassemble les métadonnées utilisées pour les calculs des besoins, de l'offre et des matières ingérés.

Présentation de la feuille de calcul « période »

La partie relative aux besoins des animaux

La partie supérieure de la feuille porte sur le calcul des besoins du lot de bovins. Pour le calcul des besoins théoriques d'un lot de bovins, Altrop utilise comme données d'entrée les caractéristiques de chaque animal du lot pour la période donnée : le poids vif (en kg), la durée de pâturage (en h), le gain moyen quotidien de croissance (en g/j), la date de mise bas, la période d'engraissement (début, milieu, fin), le gain moyen quotidien d'engraissement (en g/j) et le niveau de travail (nul, léger, moyen, fort). Altrop permet de prendre en compte des lots d'animaux ne dépassant pas 20 têtes. Altrop prend aussi en compte certaines variables complémentaires comme le type de projet, le sexe, l'âge, la note d'état corporel, qui ne sont pas utilisées dans les calculs.

Les besoins en UF, MAD, Ca et P sont calculés à partir des données saisies en dur (cases jaunes de la feuille sur la Figure 2) et des formules de calcul des besoins des animaux présentées dans la partie « calculs des besoins ». Les résultats apparaissent dans

les cellules de couleur bleue du tableur (Figure 2). Le cumul des besoins du troupeau en UF, MAD, Ca, P, MS se calcule automatiquement en faisant la somme des besoins individuels (cellules de couleur rouge Figure 2).

La partie relative à l'offre et l'ingestion alimentaires

Pour l'offre alimentaire et le calcul des quantités ingérées par chaque lot de bovins, les données d'entrées saisies en dur dans le tableur sont (cases jaunes de la Figure 3) :

- la durée de pâturage en (h) ;
- la quantité de chaque type de fourrages conservé (en kg de matière brute/j) ;
- la quantité de chaque type d'aliments concentré (en kg de matière brute/j) offerts.

Le calcul des quantités de matière sèche volontairement ingérées par le lot se fait à partir des valeurs saisies en dur et des équations de calcul de matières ingérées présentés dans la partie « Calcul des matières ingérés ».

Le total de l'ingéré alimentaire au pâturage en fourrage et en aliments concentrés, en UF, MAD, Ca et P se calcule de façon automatique en effectuant la somme des matières ingérés par type de ressources alimentaires (cellules rouges de la Figure 3).

Présentation des feuilles de sorties du calculateur

La première feuille de sorties présente l'évolution des besoins et des matières ingérés en UF, MAD, Ca, P par animal et par jour sous forme d'histogramme (Figure 4). Les données ont été rapportées par tête de bovins pour faciliter la comparaison entre plusieurs projets du même type.

La seconde feuille de sortie présente les stocks de fourrage et d'aliments correspondant à la durée totale du projet (Tableau 2). Cette feuille peut aider le producteur à préparer les stocks de fourrages et d'aliments selon le scénario alimentaire envisagé.

Exemple d'utilisation du calculateur Altrop

Altrop est adapté pour un conseil individuel à la conduite d'un projet d'élevage

familial. Un projet d'élevage de vaches laitières du groupement Kaoral suivi en 2014/2015 a été pris en exemple pour illustrer l'utilisation d'Altrop. Ce projet comprenait 5 vaches zébu peulh, d'un âge compris entre 6 et 10 ans avec un poids vif moyen de 230 kg qui ont mis bas en octobre 2014. La période de production de lait visée par Kaoral s'étendait de février à mai, période où le prix du lait était élevé et où le lait se vendait bien. Les vaches ont été suivies pendant la période de production tous les 15 jours. Le projet a été découpé en 7 périodes de 15 jours. A chaque passage, l'équipe relevait le poids des vaches, les dates de mises bas, la durée de pâturage, les quantités de fourrages et d'aliments concentrés offerts et les refus.

Scénario initial (S0)

Dans le scénario initial (S0) correspondant à la situation observée, les vaches n'étaient pas en stabulation. Elles étaient complémentées avec de la paille de riz et des fanes de niébé fourrager, du son de maïs et de la farine basse de riz. Mais dans S0 les stocks de fourrages et d'aliments concentrés étaient faibles (Tableau 2). Les offerts alimentaires étaient généralement insuffisants pour couvrir les besoins. La Figure 4 montre que les besoins des vaches en énergie (UF), en matières azotées (MAD) et en minéraux (Ca et P), n'ont pratiquement jamais été couverts par les matières ingérées. En conséquence, les vaches devaient puiser sur leurs réserves pour produire du lait, raison pour laquelle elles maigrissaient. Au début du projet d'élevage, le poids moyen des vaches était de 238 kg et à la fin de 224 kg.

Scénario 1 (S1)

Un scénario d'amélioration a été discuté avec l'éleveur (S1). Ce scénario impliquait une augmentation des stocks de pailles et de fourrage, de son de maïs et de farine basse de riz achetés (Tableau 2). La Figure 4 montre que S1 a permis une amélioration du bilan alimentaire du projet d'élevage laitier (les déficits sont plus faibles que dans S0).

La production de lait ne se fera plus uniquement sur les réserves corporelles des

Ingestion alimentaire						
	Durée (h)	UF	MAD (g)	Ca (g)	P (g)	MS (kg)
Pâturages naturels						
Début des pluies		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saison des pluies		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fin des pluies		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saison sèche froide		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saison sèche chaude	9	10,34	565,73	47,37	28,54	23,78
Total ingéré pâturages	9	10,34	565,73	47,37	28,54	23,78
Pailles & fanes						
	Kg MB					
Pailles de maïs		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pailles de sorgho		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pailles de sorgho (grinkan)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pailles de riz	3	0,80	0,00	3,63	1,53	1,91
Fanes de niébe		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fanes d'arachide		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fanes de mucuna	4	1,51	211,77	24,20	6,89	3,36
Foin naturel zone soud-sahel		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Andropogon gayanus</i>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Loudetia togoensis</i>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Pennisetum pedicellatum</i>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Oriza barthii</i>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rafles de maïs		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rafles de sorgho		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Balle de maïs (issue décortilage)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coques de coton		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cosses séchées du niébé		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Acacia sieberiana</i> (feuilles)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total ingéré fourrages	7	2,32	211,77	27,83	8,42	5,27
Compléments						
	Kg MB					
Tourteaux de coton		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Drêches de sorgho		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Son de maïs	3	2,51	212,01	0,99	22,19	2,47
Son de riz vrai		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Son de riz + balle		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Farine basse de riz		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Faidherbia albida</i> (gousses)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Drêches de sorgho fraîches pressées		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total ingéré aliments	3	2,51	212,01	0,99	22,19	2,47

Figure 3 : Copie d'écran de la partie de la feuille « période » d'Altrop concernant les offerts et ingérés du lot de bovins (cas du lot de vaches laitières du groupement Kaoral). MB = matière brute ; h = heure ; UF= Unité fourragère ; MAD= Matières azotées digestibles ; Ca = Calcium ; P = Phosphore ; MS = matière sèche.

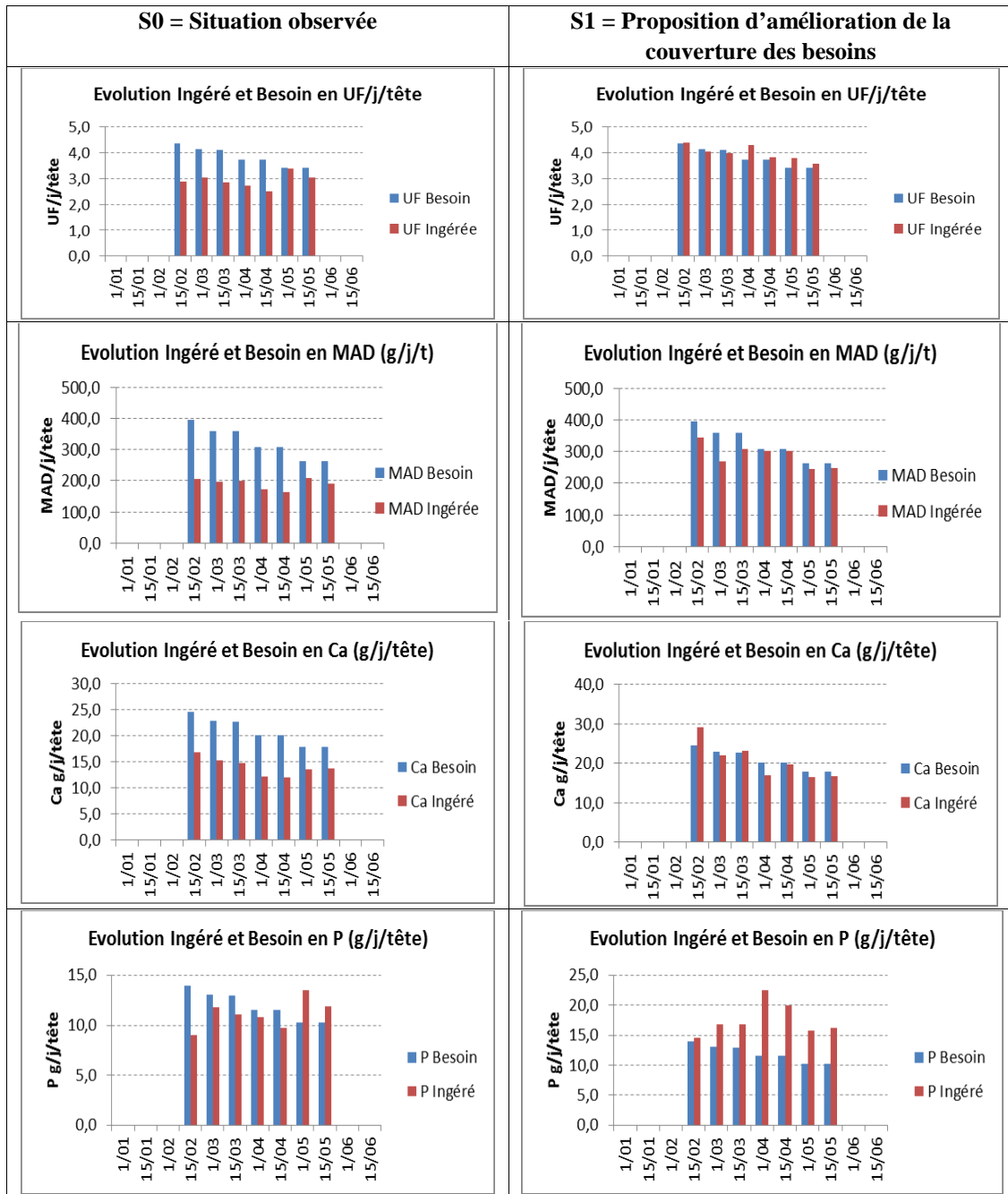


Figure 4 : Evolution des besoins et des ingérés selon les deux scénarios S0 (situation observée) et S1 (proposition d'amélioration). j = jour ; UF= Unité fourragère ; MAD= Matières azotées digestibles ; Ca = Calcium ; P = Phosphore ; t = tête.

Tableau 1 : Valeurs alimentaires des pâturages, des fourrages et des aliments contenus dans Altrop (Rivière, 1991 ; Le Thiec, 1996).

Pâturages naturels (*)	UF (/kgMS)	MAD (g/kgMS)	Ca (g/kgMS)	P (g/kgMS)	MS (%)	Ingéré/j/100kgPV
Début des pluies	0,5	28,0	2,4	1,4	62,1	2,25
Saison des pluies	0,5	26,4	2,2	1,3	32,8	2,5
Fin des pluies	0,5	28,5	2,4	1,4	57,9	2
Saison sèche froide	0,5	28,7	2,4	1,4	84,4	2,25
Saison sèche chaude	0,4	23,8	2,0	1,2	73,3	2
Pailles & fanes	UF (/kgMS)	MAD (g/kgMS)	Ca (g/kgMS)	P (g/kgMS)	MS (%)	Taux de refus (%)
Pailles de maïs	0,3	14,0	2,0	1,2	85,9	0,50
Pailles de sorgho	0,3	0,0	4,8	1,0	77,4	0,56
Pailles de sorgho (grinkan)	0,5	0,0	2,7	0,5	89,6	0,43
Pailles de riz	0,4	0,0	1,9	0,8	92,3	0,31
Fanes de nièbe	0,6	92,0	6,4	2,9	89,0	0,06
Fanes d'arachide	0,3	34,0	8,0	1,2	89,8	0,06
Fanes de mucuna	0,5	63,0	7,2	2,1	89,4	0,06
Foin naturel zone soud-sahel	0,5	1,0	4,8	0,9	90,0	0,20
<i>Andropogon gayanus</i>	0,4	0,0	1,6	0,7	82,3	0,20
<i>Loudetia togoensis</i>	0,2	9,3	3,5	1,3	90,4	0,20
<i>Pennisetum pedicellatum</i>	0,2	0,0	1,7	0,4	93,2	0,20
<i>Oriza barthii</i>	0,2	0,0	0,8	0,4	92,4	0,20
Rafles de maïs	0,2	0,0	0,2	0,4	87,4	0,18
Rafles de sorgho	0,2	0,0	0,2	0,4	87,4	0,18
Balle de maïs (issue décorticage)	0,2	19,0	0,0	0,0	88,0	0,18
Coques de coton	0,1	0,0	3,0	0,8	83,0	0,23
Cosses séchées du niébé	0,2	0,0	4,9	0,0	89,3	0,18
<i>Acacia sieberiana</i> (feuilles)	0,8	113,0	25,0	1,0	48,8	0,21
Aliments	UF (/kgMS)	MAD (g/kgMS)	Ca (g/kgMS)	P (g/kgMS)	MS (%)	Taux de refus (%)
Tourteaux de coton	0,9	380,0	2,2	12,6	92,3	0,00

Drêches de sorgho	0,9	216,0	1,5	3,3	92,3	0,00
Son de maïs	1,0	86,0	0,4	9,0	86,5	0,05
Son de riz vrai	0,6	68,0	1,5	7,8	90,0	0,05
Son de riz + balle	0,3	33,0	0,1	4,4	90,8	0,05
Farine basse de riz	0,5	50,5	0,8	6,1	90,4	0,05
<i>Faidherbia albida</i> (gousses)	0,6	73,0	4,1	1,7	89,4	0,00
Drêches sorgho fraîches	0,8	176,0	0,3	3,9	30,7	0,00

j= jour ; UF= Unité fourragère ; MAD= Matières azotées digestibles ; Ca= Calcium ; P= Phosphore ; MS= matière sèche ; PV= poids vif
 (*) NB : les valeurs alimentaires des pâturages sont des estimations assez grossières.

Tableau 2 : Stocks de fourrages et d'aliments et durée de pâturage dans les deux scénarios.

	Scénario 0	Scénario 1
	Situation observée	Proposition d'amélioration
Durée de pâturage (h/j)	9	9
Stocks de Pailles & fanes		
Pailles de riz (kg)	212	704
Fanes de niébé (kg)	175	470
Fanes de mucuna (kg)	91	208
Stocks d'aliments		
Son de maïs (kg)	130	260
Farine basse de riz (kg)	130	286

h= heure ; j = jour

DISCUSSION

Atouts et faiblesses d'Altrop

L'alimentation est le principal poste de dépense dans un projet d'élevage familial, après l'achat des animaux quand ces derniers ne sont pas prélevés sur le troupeau. Elle conditionne les niveaux de production des animaux (Nahimana, 2000) et donc la réussite du projet. Tout déficit alimentaire affecte négativement les performances animales. Lorsque les apports alimentaires (fourrages et aliments concentrés) sont excessifs, il y a un gaspillage d'aliment et des pertes financières pour le producteur.

Altrop permet de déceler des déséquilibres alimentaires sur des lots de bovins en production. Il ne requiert pas beaucoup d'entrées de données sur les animaux et les données concernant l'alimentation correspondent aux pratiques réelles des producteurs (offerts en matière brute, durée quotidienne de pâturage). Il permet de découper le projet d'élevage en périodes que le producteur comprend et maîtrise pour la mise en œuvre de son projet d'élevage. Altrop est assez facile à alimenter, et il comporte des sorties relativement faciles à interpréter pour évaluer la couverture des besoins des animaux et pratique pour l'éleveur (stocks de fourrages et d'aliments à constituer).

Mais, Altrop pourrait être amélioré. Dans sa version prototype actuelle, il est calibré pour un lot de 20 animaux au maximum et pour un nombre limité de ressources alimentaires. Dans une version améliorée, le nombre de bovins possible et la gamme des ressources alimentaires pourraient être augmentés. Les valeurs alimentaires des pâturages par saison mériteraient aussi d'être affinées pour mieux prendre en compte leur évolution au fil du temps et améliorer la précision des calculs. Ceci n'a pas pu être réalisé dans la version actuelle faute de données disponibles des valeurs alimentaires

dans les tables des ouvrages utilisés. Il serait intéressant de développer des recherches dans ce sens. Il pourrait aussi être intéressant d'ajouter dans la liste des ressources alimentaires d'Altrop quelques associations de céréales et de légumineuses puisque cette pratique tend à se développer aujourd'hui dans la région (Obulbiga et al., 2015). Il serait intéressant d'ajouter des estimations de la production (production de lait, gain de poids) et un module de calcul économique pour permettre des analyses de types coûts/bénéfices lorsque l'on travaille sur des scénarios d'amélioration de l'alimentation. Le recours au système des UF et MAD a été privilégié pour l'instant, parce que c'est le système le plus utilisé localement par les zootechniciens et les conseillers en élevage, et fournissant plus de données sur l'élevage en milieu tropical. Mais ce système est un peu ancien et à l'avenir, il pourrait bien être remplacé par le système des UFL, UFV et PDI (Agabriel, 2007) lorsque les ressources fourragères et alimentaires tropicales seront suffisamment référencées dans ce système.

Altrop favorise la réflexion et l'apprentissage pour maîtriser l'alimentation

Le calculateur Altrop est un outil qui permet au chercheur ou au conseiller en élevage d'interagir avec le producteur autour d'une représentation simplifiée de la gestion alimentaire d'un lot de bovins (Sterk et al., 2007 ; Dedieu et al., 2011 ; Le Gal et al., 2013), de stimuler le processus de réflexion et d'apprentissage concernant les techniques d'alimentation des animaux (Bos et al., 2009 ; Martin et al., 2013). Le calculateur offre la possibilité de tester ex-ante l'équilibre alimentaire du plan de rationnement d'un lot d'animaux, mais aussi de l'ajuster pendant la phase de mise en œuvre du projet (Le Gal et al., 2011a, 2011b), ce qui peut être utile pour adapter en temps réel l'offre alimentaire aux

besoins des animaux et éviter d'éventuels déficits graves, ou parfois des gaspillages d'aliments coûteux.

Le processus de simulation de scénario d'alimentation des lots de bovins conduit les utilisateurs d'Altrop à effectuer des allers-retours de discussion sur l'ajustement de la conduite de l'alimentation des animaux pour atteindre l'objectif visé et ce dialogue favorise l'apprentissage.

Par ailleurs, la participation des producteurs permet de conduire une réflexion stratégique sur la bonne gestion alimentaire du troupeau pour permettre une bonne production.

Conclusion

Au vu des résultats, Altrop permet de simuler avec le producteur des scénarios d'amélioration des stratégies d'alimentation, de voir rapidement les effets sur l'ajustement de l'offre aux besoins des animaux et de calculer les stocks de fourrages et d'aliments nécessaires à la réalisation de ces scénarios. En réduisant les déséquilibres alimentaires (déficits ou excédents), souvent observés, Altrop permet d'améliorer la rentabilité des projets d'élevage familiaux.

Altrop peut être utilisé dans une démarche d'accompagnement individuelle des projets d'élevage familiaux comme support de discussion entre un conseiller et un producteur. L'outil peut être utilisé pour accompagner les producteurs dans la construction de plan d'alimentation des animaux pour un projet déterminé. Altrop permet de déceler les périodes de déséquilibre alimentaire et donc de conseiller le producteur pour les corriger. Il produit des sorties faciles à interpréter et utiles pour un conseiller et pour un producteur. Mais c'est un outil qui est encore au stade de prototype qui mériterait d'être développé pour faciliter son utilisation sur le terrain (développement d'une interface

et pour permettre l'analyse coût/bénéfice de scénarios de changement.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'y a pas de conflits d'intérêts entre eux.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

BJD a collecté les données, a analysé et interprété les données et rédigé le manuscrit. VBY et BHN ont dirigé et encadré les travaux de recherche et ont contribué à l'écriture du manuscrit par leur relecture. EV a contribué dans la préparation du protocole de recherche, dans l'analyse des résultats, dans l'interprétation des données et dans la rédaction du manuscrit.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les producteurs qui ont permis de travailler avec eux tout au long de l'étude.

RÉFÉRENCES

- Agabriel J. 2007. *Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins. Besoin des Animaux-Valeurs des Aliments. Tables INRA 2007*. Editions Quae : Versailles.
- Archimède H, Bastianelli D, Boval M, Tran G, Sauvart D. 2011. Ressources tropicales : disponibilité et valeur alimentaire. *INRA Prod. Anim.*, **24**(1): 23-40.
- Bos AP, Groot Koerkamp PWG, Gosselink MJM, Bokma SJ. 2009. Reflexive Interactive Design and its application in a project on sustainable dairy husbandry systems. *Outlook Agric.*, **38**: 137-145. DOI: <http://dx.doi.org/10.5367/00000009788632386>
- Dedieu B, Aubin J, Duteurtre G, Alexandre G, Vayssière J, Bommel P, Faye B, Mahieu M, Fanchonne A, Tourrand JF, Ickowicz A. 2011. Conception et évaluation de systèmes d'élevage durables en régions

- chaudes. *INRA Prod. Anim.*, **24** (1): 113–129.
- Delma BJ, Vall E, Nacro HB, Bougouma-Yaméogo V. 2016. Fragilité des projets d'élevage familiaux dans les exploitations de polyculture-élevage au Burkina Faso. *Cah. Agric.*, (in press).
- Guerin H, Friot D, Mbaye N, Richard D. 1991. *Alimentations des Ruminants Domestiques sur Pâturages Naturels : Etude Méthodologique dans la Région du Ferlo au Sénégal*. Etudes et synthèses de l'IEMVT, 39 : Maisons-Alfort.
- INRA. 2007. *INRAtion-Version Professionnelle Intégrale* (4^e edn). Educagri éditions : Theix.
- Koura BI, Dedehouanou H, Dossa HL, Kpanou BV, Houndonougbo F, Hounngandan P, Mensah GA, Houinato M. 2015. Determinants of crop-livestock integration by small farmers in Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**(5): 2272-2283. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i5.2>
- Le Gal PY, Bernard J, Moulin CH. 2013. Supporting strategic thinking of smallholder dairy farmers using a whole farm simulation tool. *Tropical Animal Health Production*, **45**(5):1119–1129. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11250-012-0335-6>
- Le Gal PY, Andrieu N, Dugué P, Kuper M, Sraïri MT. 2011a. Des outils de simulation pour accompagner des agroéleveurs dans leurs réflexions stratégiques. *Cah. Agric.*, **20**(5): 413-420. DOI : 10.1016/j.agry.2009.07.004.
- Le Gal PY, Dugué P, Faure G, Novak S. 2011b. How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review. *Agric. Syst.*, **104**: 714–728. DOI:10.1016/j.agry.2011.07.007
- Lhoste P, Havard M, Vall E. 2010. *La Traction Animale. Agricultures Tropicales en Poche*, Quae, CTA, Presses agronomiques de Gembloux : Versailles.
- Mattheewman RW. 1996. *La Production Laitière*. Collection Le Technicien d'Agriculture Tropicale. Maisonneuve et Larose : Paris.
- Martin G, Martin-Clouaire R, Duru M. 2013. Farming system design to feed the changing world. A review. *Agron Sustain Dev.*, **33**: 131-149. DOI: 10.1007/s13593-011-0075-4
- Meyer C, Denis JP. 1999. *Elevage de la Vache Laitière en Zone Tropicale*. Cirad, Collection Techniques : Montpellier.
- MRA (Ministère des Ressources Animales). 2012. Rapport annuel d'activités (Année 2011). Ministère des Ressources Animales : Ouagadougou.
- Nahimana V. 2000. Stratégies de calcul de rationnement des bovins au Burundi Feeding strategies for bovines in Burundi. Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme en gestion animale en milieu tropical. Université de Liège Faculté de Médecine Vétérinaire Service de Nutrition. p. 58.
- Obulbiga MF, Bougouma V, Sanon HO. 2015. Amélioration de l'offre fourragère par l'association culturale céréale légumineuse à double usage en zone nord soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**(3): 1431-1439. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.26>
- Rivière R. 1991. *Manuel d'Alimentation des Ruminants Domestiques en Milieu Tropical*. IEMVT, Collection Manuel et Précis d'Élevage, La Documentation Française : Paris.
- Rufino MC, Herrero M, Van Wijk MT, Hemerink L, de Ridder N, Giller KE. 2009. Lifetime productivity of dairy cows in smallholder farming systems of the Central Highlands of Kenya. *Animal*, **3**: 1044–1056. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S1751731109004248>

- Sanon H O, Drabo A, Sangare M, Kiendrebeogo T, Gougnibou A. 2014. Caractérisation des pratiques d'embouche bovine dans l'Ouest du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8**: 536-550. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i2.13>
- Sterk B, Van Ittersum MK, Leeuwis C, Wijnands FG. 2007. Prototyping and farm system modelling—Partners on the road towards more sustainable farm systems? *Eur J Agron.*, **26**(4) : 401-409. DOI:10.1016/j.eja.2006.12.006
- Vall E, Diallo MA. 2009. Savoirs techniques locaux et pratiques : la conduite des troupeaux aux pâturages (Ouest du Burkina Faso). *Nat. Sci. Soc.*, **17**(2): 122-135. DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/nss/2009024>
- Zampaligré N. 2012. The role of ligneous vegetation for livestock nutrition in the sub-Saharan and Sudanian zones of West Africa: Potential effects of climate change. PhD thesis, University of Kassel, Faculty of Organic Agricultural Sciences/Animal Husbandry in Tropics and Subtropics, p. 102.