

Élevages et pâturages sous tension

Nouveaux regards sur les territoires
méditerranéens et tropicaux

K. Alinon, G. Duteurtre, J. Lasseur, R. Pocard-Chapuis, coord.



4. Impacts sociaux, économiques et environnementaux du développement des filières laitières : une approche par la simulation informatique au nord du Sénégal

Jean-Daniel Cesaro, Jean-Pierre Müller, Arona Diaw, Moctar Gaye, Serena Ferrari, Christian Corniaux, Étienne Delay, Alexandre Ickowicz

La production laitière au Sénégal est principalement issue des systèmes pastoraux, où le lait demeure un produit saisonnier et peu commercialisé. La collecte de lait local par les laiteries reste un défi en raison de la faible régularité de l'approvisionnement. Afin de soutenir le développement des bassins de collecte, un simulateur informatique a été codéveloppé avec les acteurs de la filière laitière de Dagana. Ce simulateur permet d'évaluer, sous diverses conditions, les impacts économiques, sociaux et environnementaux de deux grandes options de développement: l'intensification de la production (développement vertical) et l'élargissement du rayon de collecte (développement horizontal). Des ateliers participatifs menés dans le cadre d'une plateforme d'innovation multi-acteurs ont utilisé ce simulateur. Les résultats de ces travaux de recherche participative révèlent que l'intensification écologique renforce les interdépendances entre les acteurs locaux et impose une reconfiguration des systèmes de collecte.

Figure 4.1. Collecte de lait à Richard-Toll.



© J.-D. Cesaro.

Introduction

La production laitière au Sénégal provient principalement de systèmes d'élevage familial agropastoral (Corniaux *et al.*, 2012). Cette production présente une variabilité saisonnière marquée et reste largement autoconsommée, échangée localement ou vendue sous forme de lait caillé et de beurre (Duteurtre *et al.*, 2010). La commercialisation du lait destiné à la transformation représente une proportion marginale de la production totale. Dans le nord du Sénégal, des laiteries collectent du lait auprès d'éleveurs mobiles (figure 4.1), qui alternent entre les terres de pâturages steppiques semi-arides (*diéri*) et les plaines alluviales du fleuve Sénégal (*walo*), où l'agriculture intensive est également pratiquée. Pour augmenter leurs volumes collectés, les laiteries ont deux principales options :

- intensifier la production laitière dans les exploitations livrant déjà du lait (développement vertical) en favorisant le recours aux concentrés industriels, aux intrants vétérinaires, ainsi qu'aux résidus de cultures et aux sous-produits agro-industriels locaux, et, dans certains cas, à l'insémination artificielle (Lemaire *et al.*, 2019) ;
- étendre la zone de collecte (développement horizontal) en augmentant le nombre d'éleveurs et en déployant de nouveaux moyens de collecte (motos, tricycles, centres réfrigérés) (Bourgoin *et al.*, 2019).

Ces deux options présentent des impacts variés en fonction des échelles d'analyse (animal, exploitation, territoire) et des acteurs impliqués (producteurs, collecteurs, transformateurs).

Tandis que les laiteries privilégient généralement le développement vertical, qui permet de réduire les coûts de collecte, les organisations de producteurs favorisent souvent le développement horizontal, cherchant à accroître le nombre de leurs adhérents. Les éleveurs peuvent être tentés par l'intensification de leur système de production, mais ils sont également conscients des risques associés, notamment en termes de résilience face aux chocs climatiques et socio-économiques (Ancey et Monas, 2005 ; Corniaux, 2008).

Afin de soutenir les acteurs dans la compréhension des impacts des différentes options de développement de la filière laitière, un travail de modélisation participatif a été conduit au Sénégal dans le district de Dagana dans lequel la filière laitière est particulièrement dynamique. Ce travail visait notamment à éclairer les trajectoires d'intensification écologiques de l'élevage laitier pour un développement durable des filières (Vall *et al.*, 2019). Ce travail de modélisation participative repose sur le cadre théorique de la multifonctionnalité des systèmes d'élevage, tel qu'élaboré dans le cadre de l'Agenda mondial pour un élevage durable (*Global Agenda for Sustainable livestock – GASL*).

Cadre de la multifonctionnalité des systèmes d'élevage

Le GASL permet l'animation d'un réseau international (AN2) ciblé sur la restauration des valeurs multiples des pâturages. Ce réseau repose sur un panel de territoires localisés sur différents continents, dans lesquels est mis en œuvre un dispositif d'accompagnement spécifique. Le nord du Sénégal constitue un des terrains pilotes de ce réseau. L'approche méthodologique du réseau AN2 repose sur une modélisation participative impliquant une diversité d'acteurs locaux et visant à accompagner la prise en compte des rôles multiples de l'élevage dans différents contextes (Ickowicz *et al.*, 2022). Cette approche repose sur la construction d'un modèle générique structuré autour de la prise en compte de quatre fonctions principales de l'élevage (productive, sociale, environnementale et de développement local). Ce modèle permet d'explorer les interactions entre ces quatre grandes fonctions des systèmes d'élevage, facilitant ainsi l'analyse des compromis nécessaires pour optimiser les multiples fonctions à articuler pour promouvoir un développement durable du secteur.

Au Sénégal, ce travail s'est déroulé entre 2017 et 2023 à travers six étapes principales: 1) la définition de la question de recherche, 2) la construction du modèle conceptuel et le codage du simulateur, 3) la présentation et la validation du modèle, ce qui a conduit à 4) une phase de perfectionnement, suivie de 5) l'animation de réunions de facilitation multi-acteurs. Ces ateliers ont finalement permis 6) la création de nouveaux partenariats entre les acteurs, visant à favoriser des synergies entre les systèmes agricoles et les systèmes d'élevage, dans le but d'augmenter la production laitière.

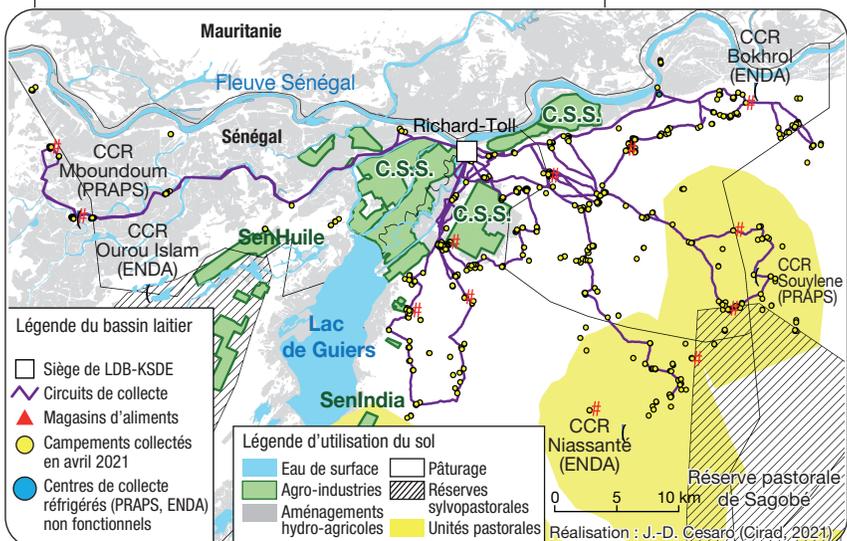
Une simulation informatique a été développée, reposant sur une modélisation générique d'interaction élevage-environnement, entièrement paramétrable (Müller, 2018). Ce simulateur a été conçu en collaboration avec la plateforme d'innovation lait de Dagana (PIL). Il s'agit d'un modèle multi-agent basé sur une approche spatialement explicite, utilisant des données de référence partagées par les acteurs de la filière (Corniaux, 2001; Bourgoin *et al.*, 2019; Bourgoin *et al.*, 2022).

Les résultats de cette simulation ont été utilisés lors d'ateliers participatifs organisés entre novembre 2019 et avril 2022. Ces ateliers ont réuni une large diversité d'acteurs au sein de la PIL, notamment des services de vulgarisation agricole, des sociétés d'aménagement, des agro-industries, des représentants d'éleveurs, des mini-laiteries et des collecteurs. La simulation informatique a servi d'outil intermédiaire pour faciliter les discussions, mettant en valeur les connaissances spécifiques de chaque acteur tout au long de la filière, ainsi que celles des parties prenantes locales à l'échelle du territoire (Le Page, 2017). Cette approche a permis aux acteurs de mieux appréhender les ordres de grandeur à l'échelle du bassin de production, d'identifier les contraintes propres à chaque activité et de progresser vers la consolidation d'une coordination entre les différents acteurs (Delay *et al.*, 2021).

Zone d'étude: le bassin laitier de Dagana

Situé au nord-ouest du Sénégal, le bassin laitier du département de Dagana (figure 4.2) se distingue par une superposition complexe de différentes régions agroécologiques et de systèmes de production agricole (Bourgoin *et al.*, 2023). Au nord, le long des rives du fleuve Sénégal, une agriculture intensive et industrielle s'est implantée depuis les années 1970, centrée sur la culture de la canne à sucre et du riz. Ces terres irriguées, anciennement de décrue, sont appelées *walo*. Au sud, se trouvent les terres sèches, principalement utilisées pour l'élevage pastoral. Le *diéri*, caractérisé par un maillage de puits et de forages, constitue un environnement propice à l'organisation des activités des éleveurs. Cette région de la vallée du fleuve Sénégal bénéficie d'un développement croissant de la filière laitière, favorisé par la combinaison de l'élevage pastoral et de l'agriculture intensive.

Figure 4.2. Bassin laitier du département de Dagana.



CSS: Compagnie sucrière sénégalaise;
CCR: Chambre consulaire régionale.

À partir de 2016, le bassin laitier de Dagana connaît une crise majeure, résultant de la suppression des quotas laitiers européens en 2015 et de la chute des prix internationaux du lait. Cette situation a entraîné une concurrence accrue pour la production

locale, dominée par l'importation de poudre de lait bon marché, ce qui a fortement impacté la Laiterie du Berger, principale laiterie de la région (Bourgoin *et al.*, 2019). Face à cette crise, les acteurs de la filière laitière de Dagana ont constitué dès 2015 une plateforme d'innovation lait (PIL), rassemblant industriels, mini-laiteries, coopératives d'éleveurs, collecteurs, ONG, services étatiques, ainsi qu'un représentant du préfet, afin de discuter et élaborer des stratégies de développement collectif. En 2018, la Laiterie du Berger a augmenté de 40 % le prix du lait suite à une réduction de la TVA sur les produits laitiers collectés par l'État et a lancé un programme d'intensification laitière (Tournaire, 2019). Dans ce contexte, la PIL s'est interrogée sur l'impact d'une diffusion de ce modèle pastoral intensif dans le bassin laitier, se demandant si l'extension du bassin de collecte ne constituerait pas, en fin de compte, une option plus durable.

Évaluation territoriale de l'intensification écologique des systèmes d'élevage

L'intensification écologique est définie comme la promotion de pratiques de production permettant d'augmenter les rendements en valorisant les ressources locales selon des principes durables, sans altérer de manière significative le système d'élevage familial préexistant (Vall *et al.*, 2019). Elle s'inscrit dans une démarche de soutien aux systèmes à faibles intrants, se distinguant de la transition agroécologique appliquée à l'agriculture conventionnelle, qui vise la réduction des intrants de synthèse grâce à la mobilisation des services écosystémiques présents dans l'environnement (Duru *et al.*, 2015).

Dans le département de Dagana, les systèmes d'élevage pastoraux ne sont pas spécifiquement orientés vers la production laitière (Gaye Papa *et al.*, 2020). L'objectif principal de ces systèmes est de maintenir des animaux sur pieds dans un environnement climatique aride et semi-aride, avec la mobilité pastorale comme pratique dominante. Le lait représente une source de diversification des revenus liés à l'élevage. L'intensification écologique de la production laitière nécessiterait la mobilisation de ressources supplémentaires provenant du système agricole local (pailles et son de riz, pailles de canne à sucre, mélasses, tourteaux d'arachide) pour nourrir le noyau laitier, constitué des vaches en lactation et des vaches gestantes. Cette intensification requiert un changement de paradigme dans la gestion des troupeaux, en particulier la sédentarisation du noyau laitier, entraînant des répercussions zootechniques, économiques, sociales et environnementales significatives sur les conditions de vie des éleveurs.

Coconception de la simulation informatique du bassin laitier de Dagana

Le travail de conceptualisation du système d'élevage territorialisé a été réalisé par un groupe d'experts, intégrant le climat, les ressources, le système d'élevage, son potentiel d'intensification, ainsi que l'accès aux intrants et aux marchés du lait (tableau 4.1). Chaque entité (occupation du sol, troupeau, marché) est définie à la

Tableau 4.1. Variables utilisées pour caractériser le système d'élevage dans la modélisation.

Catégorie	Variable	Type
Troupeaux et production	Population synthétique de troupeaux	Nombre de troupeaux /ha
	Taille du troupeau	Nombre de têtes
	Type de troupeaux	Petit, moyen, grand
	Mini-fermes	Nombre de troupeaux à transformer (à définir à l'initialisation)
	Vaches en lactation	Pourcentage sur le nombre de têtes
	Production laitière	On convertit en litres de lait la différence entre les UFL* ingérées et les UFL entretien, et on retranche la consommation des veaux à ce potentiel de production
Ressources alimentaires	Occupation du sol	Eau, pâturage, culture – système d'information géographique (Sentinel 2)
	Productivité de l'herbe des pâturages	Quantité (kg) de matière sèche (MS)/ha
	Saison (mauvaise, moyenne, bonne)	Aléatoire – influence kgMS/ha
	Qualité nutritive de l'herbe par UFL	Quantité d'UFL/kgMS
	Qualité nutritive des résidus agricoles et sous-produits agro-industriel par UFL (ration moyenne)	Quantité d'UFL/kgMS
	Compétition troupeau/ environnement	Pourcentage de kgMS/ha disponible pour troupeau
	Stock de résidus agricoles	KgMS/troupeau
	Accès résidus agricoles et sous-produits agro-industriels	5 km d'un centre de services de proximité (CSP)
	Prix des résidus et sous-produits	Franc CFA (à définir à l'initialisation)
	Dépenses en intrants	Franc CFA (total des kg utilisés par le troupeau)
Transhumance	Si UFL ingérée est inférieure aux limites de survie des troupeaux (niveau exprimé en UFL entretien)	

Commercialisation du lait	Nombre de boutiques	Point de collecte ayant fonction de boutique d'aliment (à définir à l'initialisation)
	Localisation des laiteries	Collecte troupeau à 5 km – système d'information géographique (GPS)
	Nombre des points de collecte (PC)	Collecte troupeau à 5 km – système d'information géographique (GPS)
	Proximité des routes	Éleveur du troupeau peut vendre le lait au marché informel si à moins de 5 km d'une route (50 % si proximité d'un point de collecte) – système d'information géographique (BaseGéo Sénégal)
	Prix du lait en laiterie	Franc CFA (à définir à l'initialisation)
	Prix du lait en marché informel	Franc CFA (à définir à l'initialisation)
	Autoconsommation	Quantité de lait autoconsommé par le ménage du troupeau (litres)
	Vente de lait	Franc CFA (prix du lait vendu à la laiterie et/ou sur le marché)

* UFL: unité fourragère laitière.

fois par ses interactions et par des paramètres quantitatifs spécifiques, qui peuvent varier en fonction de la saison et de la disponibilité des ressources. Ces données quantitatives proviennent d'enquêtes de terrain (Corniaux, 2008 ; Assouma *et al.*, 2018 ; Gaye Papa *et al.*, 2020).

Le simulateur GASL-PIL, codé sous le logiciel GAMA, intègre une modélisation basée sur des agents avec une composante spatialement explicite, simulant la superficie du bassin laitier, estimée à environ 1000 km². Lors de l'initialisation, le simulateur génère une population synthétique de troupeaux, avec un choix aléatoire de la qualité de la saison pastorale. Des paramètres techniques moyens ont été appliqués pour des troupeaux de zébus Gobra et des mini-fermes utilisant des animaux métissés. Le simulateur permet de modifier le nombre de mini-fermes en fonction de leur localisation par rapport aux zones agricoles, aux points d'eau et aux magasins d'aliments.

Les ressources alimentaires disponibles, comprenant l'herbe des pâturages, les résidus agricoles et les sous-produits agro-industriels, sont converties en équivalents d'unité fourragère laitière (UFL). Dans le modèle, la distribution des intrants (résidus et sous-produits) se fait exclusivement par un réseau de centres de services de proximité (CSP), avec des prix définis selon les standards du marché. La production de lait et les revenus sont déterminés en fonction de la saison pastorale et de la proximité des points de collecte ainsi que des marchés locaux. Des phénomènes de compétition entre les marchés locaux et les laiteries sont également pris en compte.

Élaboration de scénarios de développement et analyse des impacts associés

I Phase de validation du modèle et complexification

Une première série d'ateliers consiste à présenter le simulateur lors de réunions thématiques avec des groupes d'acteurs homogènes, tels que les laiteries, les associations pastorales, les services techniques des ministères de l'Agriculture et de l'Élevage, ainsi que les ONG. L'objectif est de valider le modèle et son fonctionnement par différents groupes d'acteurs. Cette validation implique l'explicitation des règles et l'analyse des résultats en fonction des paramètres d'entrée pour vérifier si les règles codées sont correctement appliquées. Chaque type d'acteurs s'intéresse à une partie du modèle qui répond à leurs attentes :

- les laiteries ont souhaité analyser les résultats de collecte, la productivité des vaches laitières, ainsi que la quantité d'aliments industriels nécessaires à l'intensification ;
- les associations pastorales étaient particulièrement intéressées par l'auto-consommation, le marché informel et les revenus économiques des mini-fermes.

Cette phase de « validation du modèle » permet de discuter en détail du code avec les parties prenantes et de valider, en collaboration avec les acteurs concernés, la fiabilité du fonctionnement et des résultats du modèle.

II Scénarisation autour du modèle: trajectoire sans limite contre effondrement du marché

Le simulateur permet d'explorer des situations relativement contrastées en modifiant un nombre limité de paramètres :

- le nombre de mini-fermes ;
- le prix du lait acheté par les laiteries ;
- la disponibilité géographique et zootechnique de l'aliment ;
- le prix de l'aliment.

Il est possible d'évaluer la productivité pastorale sans laiterie, dans un contexte de marché informel. Le simulateur permet également de tester une légère intensification basée sur les troupeaux familiaux, avec des coûts maîtrisés, y compris avec des scénarios d'intensification plus forte, notamment dans des contextes affectés par l'inflation des matières premières ou même par une réduction de l'accès au marché, comme dans le cas de la fermeture d'une laiterie.

Une douzaine de scénarios peuvent être testés en faisant varier les prix du lait, en envisageant la fermeture totale d'une laiterie, en simulant différents niveaux de transformation de la génétique du troupeau, ou différents niveaux d'accès aux

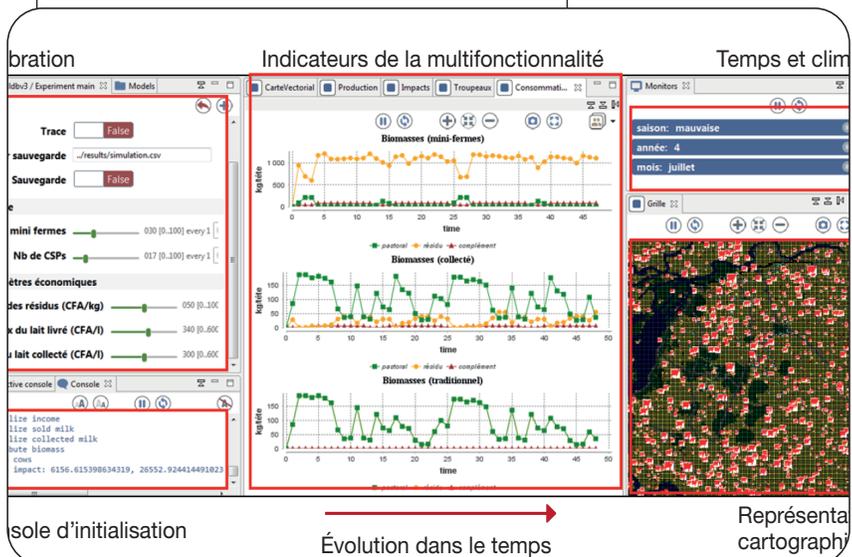
intrants et de prix des intrants. Certains de ces scénarios permettent de rendre compte mieux que les autres de la situation passée, de la situation présente ou de trajectoires futures souhaitées. C'est le cas notamment des trois scénarios suivants, qui ont fait l'objet d'une attention particulière :

- le scénario n° 1 ne prévoit aucun marché formel pour la vente du lait, ce qui reflète une situation proche de celle qui prévalait avant le développement de la laiterie (2005) ;
- le scénario n° 6 présente un prix d'achat du lait relativement faible par les laiteries, avec une disponibilité des résidus à des prix accessibles, illustrant ainsi l'impact des quotas sur la filière locale (2015) ;
- le scénario n° 8 implique une augmentation du prix d'achat du lait, accompagnée de l'expansion du nombre de systèmes intensifs (2021).

Les scénarios dits « *scenarios crash* », avec arrêt des laiteries et augmentation des prix des ressources, sont particulièrement importants à prendre en compte, notamment dans le contexte de conflits géopolitiques majeurs susceptibles de générer des tensions sur les ressources mondiales.

Dans chacun de ces scénarios, le modèle calcule les quantités de biomasses nécessaires (herbacées, résidus, compléments), la productivité des vaches, la capacité de collecte, ainsi que le bilan économique des exploitations (figure 4.3).

Figure 4.3. Le simulateur GASL-LDB sous GAMA.



■ Confronter les points de vue des acteurs sur l'intensification laitière

Le simulateur a été utilisé pour animer des débats sur différentes thématiques. Le premier atelier était organisé autour du thème « Biomasses et lait ». Cet atelier a été l'occasion de confronter les points de vue des différents acteurs, notamment la SAED¹², la CSS¹³, les laiteries, les organisations de producteurs (APESS¹⁴, Maison des éleveurs et coopératives) et les organisations de développement comme le Gret¹⁵.

Les échanges ont porté sur l'intensification laitière, abordant des scénarios extrêmes pour la mise à disposition de biomasse aux éleveurs pastoraux et la création d'une centaine de mini-fermes.

Les données du simulateur montrent qu'il est possible de tripler la collecte par la mise à disposition de nouvelles biomasses mais aussi de l'augmenter en saison sèche, alors que dans le système pastoral classique la collecte dans cette saison est impossible du fait d'une production trop faible. Le scénario n° 8 nécessite environ 8 000 tonnes par an de résidus et 1 500 tonnes de compléments.

Cependant, l'accès aux biomasses reste complexe pour les éleveurs. Il est possible d'utiliser de la paille de riz (accessible dans les parcelles de riz aménagées par la SAED) ou de la paille de cannes à sucre (disponible dans les parcelles de la CSS, sous réserve d'un droit d'accès). Mais ces résidus sont en compétition avec d'autres usages (élevage de petits ruminants, équidés, compostages, fertilisation, énergies) et peuvent être sources de conflits entre éleveurs et agriculteurs (Cesaro *et al.*, 2021).

Une autre discussion thématique a concerné les conditions de rentabilité de l'activité laitière. Les échanges ont montré que l'intensification peut avoir des effets néfastes sur les performances financières des petites exploitations. L'intensification nécessite en particulier la sédentarisation des noyaux laitiers, avec des coûts élevés en alimentation liés à l'achat des résidus agro-industriels. Ces coûts peuvent compromettre la rentabilité de la production laitière, en raison du niveau très faible de productivité du troupeau.

Les discussions ont aussi porté sur l'organisation de producteurs. Sur ce thème, le scénario optimiste (n° 6) pose néanmoins question, même s'il s'agit d'un scénario très proche de la situation observée. Les discussions soulignent en effet que la volonté des éleveurs de transformer leur modèle sociotechnique dans un contexte de chocs climatiques et/ou d'inflation sur le prix des intrants n'est pas acquise. Les laiteries constatent déjà leur difficulté à approvisionner leurs éleveurs en complément alimentaire à des prix acceptables. Les collecteurs indiquent que cette intensification conduit à forte augmentation de leur charge de travail.

12. Société d'aménagement et d'exploitation du delta du fleuve Sénégal.

13. Compagnie sucrière sénégalaise.

14. Association pour la promotion de l'élevage au Sahel et au Sahara.

15. Groupe de recherche et d'échange technologique.

■ L'influence de l'intensification sur le système de collecte

Pour travailler la question du système de collecte, une série d'ateliers a été conduite sur le thème «Efficience et inclusivité du système de collecte» en réunissant des acteurs clés, notamment les laiteries, les représentant des différents collègues au sein de la PIL, y compris les responsables de la collecte, les services de l'État et les organisations de producteurs.

Cette série d'ateliers était sensible, en raison des diverses tensions entre acteurs du système de collecte. Avec l'augmentation récente du prix d'achat du lait, la collecte de la Laiterie du Berger a quasiment doublé, créant une situation de tension entre les éleveurs et les collecteurs (payés à la commission), puis entre les collecteurs et la laiterie (du fait de l'augmentation des charges).

Deux grands scénarios de collecte ont été discutés lors de ces ateliers :

- la collecte avec des tricycles depuis des « points de collecte » ;
- la collecte *via* des « centres de collecte » intermédiaires, qui permettrait d'étendre le rayon d'action des laiteries et utiliserait à la fois des tricycles pour ramasser le lait dans les « points de collecte » et des camions frigorifiés pour le transporter depuis les « centres de collecte » intermédiaires.

Le modèle montre qu'il faut entre 4 et 10 tricycles d'une capacité de 500 litres pour absorber la collecte, selon le scénario d'intensification retenu. Toutefois, les collecteurs signalent que 500 litres représentent une charge relativement élevée, qui comporte de nombreux risques. De plus, l'amortissement des machines se fait également pendant la saison sèche, lorsque la collecte ne dépasse pas les 100 à 200 litres par jour.

Pour les centres de collecte, le principal enjeu est lié à la sécurité sanitaire des aliments et à la gestion de la chaîne du froid. En effet, pour être compétitif sur les distances cumulées face à l'organisation en circuit, le lait doit être maintenu à une température optimale pendant au moins 24 heures dans les centres intermédiaires. Selon la Laiterie du Berger, un centre de collecte doit collecter au minimum 1500 litres par jour pour être rentable. Or la majorité des infrastructures construites ont des capacités allant de 500 à 1 000 litres par jour.

Grâce aux échanges avec les acteurs locaux, il a été possible d'affiner la construction théorique du système de collecte. Une nouvelle forme de modélisation de ce système a émergé, avec trois fonctions principales (tableau 4.2).

Ces trois fonctions peuvent être combinées dans un même lieu. Un site peut mettre une partie de sa collecte ou de ses unités de stockage à disposition d'un autre transformateur. De même, un transformateur n'est pas nécessairement propriétaire du stockage ou de la collecte. La filière lait du département de Dagana se trouve actuellement dans une phase d'émergence de nouveaux acteurs. Longtemps dominée par la Laiterie du Berger, cette filière a vu plusieurs programmes de développement investir dans des infrastructures de collecte et de transformation, tels

que le PRAPS 2, ENDA et Diary. Grâce au simulateur, il est désormais possible de tester différents modes de coopération entre les acteurs, afin de stimuler la création d'un tissu de développement pour cette filière laitière.

Tableau 4.2. Les trois fonctions d'un système de collecte du lait.

Fonction des infrastructures	Description
Stockage	Cuve réfrigérée permettant de maintenir le lait à une faible température avant sa collecte et/ou sa transformation. Le Programme régional d'appui au pastoralisme au Sahel (PRAPS 2) a construit des unités de stockage. Le lait peut y être acheminé par la collecte ou par les producteurs.
Collecte	La collecte est une activité de transport du lait entre le producteur, une fonction de stockage et/ou une zone de stockage, jusqu'à une zone de transformation.
Transformation	Une unité de transformation vise à faire passer le lait cru en lait stérilisé ou pasteurisé, pour ensuite le conditionner sous forme de produits consommables (lait frais, yaourt, etc.).

Conclusion

L'utilisation d'un modèle de simulation des impacts du développement de la filière laitière de Dagana a permis de réunir autour d'une même table plusieurs types d'acteurs aux objectifs parfois antagonistes, mais potentiellement convergents. Le simulateur a permis à chacun de ces types d'acteurs d'explicitier leurs motivations et leurs contraintes. Utilisé pour simuler les impacts de différents scénarios, le modèle a révélé une grande diversité d'impacts, avec des options de développement conduisant à des résultats diamétralement opposés.

Il ressort que l'intensification écologique de la production laitière est particulièrement risquée pour les éleveurs transhumants et suppose une forte motivation à transformer les systèmes de production. Les laiteries doivent s'engager à fournir non seulement un accès au marché régulier, mais surtout un accès aux intrants pour ceux qui choisissent cette trajectoire transformative.

Testé dans d'autres contextes sahéliens, ce simulateur pourrait soutenir les acteurs des filières élevage dans la conception de projets de développement durable à l'échelle des territoires.

La simulation multi-agent spatialement explicite permet de créer un lien intéressant entre la science et la société, c'est-à-dire entre les chercheurs et les acteurs des territoires. La complexité de tels modèles de simulation nécessite la mobilisation de nombreux acteurs de la société civile, du monde économique et de l'administration territoriale.

Références bibliographiques

- Ancey V., Monas G., 2005. Le pastoralisme au Sénégal, entre politique « moderne » et gestion des risques par les pasteurs. *Revue Tiers-Monde*, 4(184), 761-783. <https://doi.org/10.3917/rtm.184.0761>
- Assouma M.H., Lecomte P., Hiernaux P., Ickowicz A., Corniaux C., Decruyenaere V. *et al.*, 2018. How to better account for livestock diversity and fodder seasonality in assessing the fodder intake of livestock grazing semi-arid sub-Saharan Africa rangelands. *Livestock Science*, 216, 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.07.002>
- Bourgoin J., Corniaux C., Touré L., Cesaro J.D., 2019. *Atlas des dynamiques observées dans le bassin de collecte de la Laiterie du Berger*. Dakar: Cirad, 48 p.
- Bourgoin J., Diop D., Touré L., Grislain Q., Interdonato R., Dieye M. *et al.*, 2022. Beyond controversy, putting a livestock footprint on the map of the Senegal River delta. *Land Use Policy*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106232>
- Bourgoin J., Diop D., Alpha B., Bousso Adama F., Astou Diao C., Corniaux C. *et al.*, 2023. *Atlas d'un territoire en transition : Regards sur le delta du fleuve Sénégal*. Montpellier: Cirad-ISRA, 44 p. <https://doi.org/10.19182/agritrop/00190>
- Cesaro J.D., Gaye Papa A.M., Corniaux C., Wane A., Wenemi Kagambèga F., Prisca Sow A. *et al.*, 2021. *Distribution spatiale des résidus agricoles au Sahel : un modèle géographique quantitatif pour une ressource stratégique*. Dakar: Projet CASSECS-Cirad. <https://agritrop.cirad.fr/600285/>
- Corniaux C., 2001. *Pratiques d'usage des ressources fourragères destinées aux troupeaux laitiers du Delta du fleuve Sénégal - Liens avec la production et la commercialisation de lait*. Mémoire DEA (Environnement, milieux, techniques, sociétés), Institut national agronomique Paris-Grignon. <https://agritrop.cirad.fr/482275>
- Corniaux C., 2008. Organisation sociale et zootechnique de la gestion des produits laitiers en milieu sahélien : la sphère laitière. Cas du delta du fleuve Sénégal. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 61(1), 37-43. <https://doi.org/10.19182/remvt.10010>
- Corniaux C., Alary V., Gautier D., Duteurtre G., 2012. Producteur laitier en Afrique de l'Ouest : une modernité rêvée par les techniciens à l'épreuve du terrain. *Autrepart*, 62(3), 17-36. <https://doi.org/10.3917/autr.062.0017>
- Delay É., Müller J.P., Cesaro J.D., Valls-Fox H., Ickowicz A., 2021. Empowering a model for improved multi-actor discussions: case study from Dairy production in Sahelian agropastoral systems. In Amblard F., Chapuis K., Drogoul A., Gaudou B., Longin D., Verstaevl N. (coord.), *1^{re} conférence GAMA Days 2021*. Toulouse: IRIT [en ligne]. <https://hal-univ-tlse3.archives-ouvertes.fr/hal-03523606>
- Duru M., Therond O., Fares M., 2015. Designing agroecological transitions: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1237-1257. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x>
- Gaye Papa A.M., El Hadji T., Ciss M., Abdoulaye D., Cesaro J.D., Cheikh S., 2020. Typologie des systèmes bovins du bassin de collecte de la Laiterie du Berger (LDB). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 44(1), 7577-7590. https://agritrop.cirad.fr/595729/2/4.Gaye_.pdf
- Duteurtre G., Faye M. D., Dieye P., N., 2010. *L'agriculture sénégalaise à l'épreuve du marché*. Paris: Karthala, 451 p. (coll. Hommes et sociétés).
- Ickowicz A., Hubert B., Blanchard M., Blanfort V., Cesaro J.D., Diaw A. *et al.*, 2022. Multifunctionality and diversity of livestock grazing systems for sustainable food systems throughout the world: Are there learning opportunities for Europe? *Grass and Forage Science*, 77(4), 282-294. <https://doi.org/10.1111/gfs.12588>
- Le Page C., 2017. *Simulation multi-agent interactive : engager des populations locales dans la modélisation des socio-écosystèmes pour stimuler l'apprentissage social*. Montpellier: Cirad-GREEN. <https://agritrop.cirad.fr/583938>
- Lemaire G., Giroud B., Bathily B., Lecomte P., Corniaux C., 2019. Chapter 17 – Toward integrated crop-livestock systems in West Africa: A project for dairy production along Senegal river. In Lemaire G., De Faccio Carvalho P.C., Kronberg S., Recous S., *Agroecosystem Diversity*. Academic Press, Elsevier, pp. 275-285. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00017-0>
- Müller P., 2018. *Les politiques publiques*. Paris: Presses universitaires de France (coll. Que sais-je), 128 p.
- Tournaire E., 2019. *Dynamique des systèmes de collecte de lait au Sénégal. Cas de la Laiterie du Berger et de Kirène*. Mémoire de fin d'études, Montpellier SupAgro, 111 p. <https://agritrop.cirad.fr/595085/>
- Vall É., Sib O., Vidal A., 2019. Les moteurs de l'intensification écologique de la production laitière à l'ouest du Burkina Faso. In *Rencontres internationales sur le lait, vecteur de développement*. 3, Dakar, Sénégal, 12-13 juin 2019. Dakar: INRA-ISRA. <https://agritrop.cirad.fr/594388/>