



HAL
open science

Simuler et analyser des scénarios de reconnexion entre productions animales et productions végétales à l'échelle du territoire de l'AOP Chaource.

Edith Duval

► To cite this version:

Edith Duval. Simuler et analyser des scénarios de reconnexion entre productions animales et productions végétales à l'échelle du territoire de l'AOP Chaource.. Agronomie. 2024. hal-04701211

HAL Id: hal-04701211

<https://hal.inrae.fr/hal-04701211v1>

Submitted on 16 Oct 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Rapport de stage

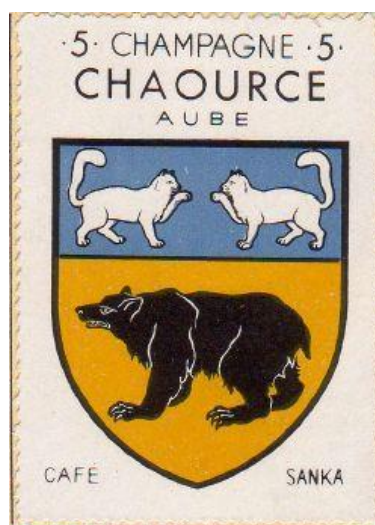
Dans le cadre du stage de deuxième année d'étude à AgroParisTech
Domaine productions, filières, territoires pour le développement durable à Palaiseau
Stage effectué du 21 mai au 2 août 2024
A AgroParisTech, 22 place de l'Agronomie, 91120 Palaiseau

Simuler et analyser des scénarios de reconnexion entre productions animales et productions végétales à l'échelle du territoire de l'AOP Chaource

par Edith Duval

Encadrante de stage : Solène Pissonnier, (AgroParisTech INRAe, UMR SADAPT)

Enseignante référente : Blandine Renault



Engagement de non-plagiat

❶ Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

❷ Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sur d'en citer la source.

❸ Sanction

En cas de manquement à ces consignes, la DEVE/le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

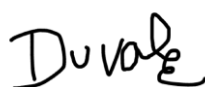
❹ Engagement

Je soussigné (e) Edith Duval

reconnais avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non-plagiat.

A Palaiseau le 29/07/2024

Signature :



Cet engagement de non plagiat doit être inséré en début de tous les rapports, dossiers, mémoires.

Remerciements

Mes premiers remerciements sont tout naturellement adressés à Solène Pissonnier, pour son encadrement, son écoute et sa disponibilité, le tout dans la bonne humeur jours après jours.

Je souhaite aussi remercier Blandine Renault, pour son accompagnement tout au long du stage.

Je remercie toute l'équipe de l'UMR pour leur accueil chaleureux dans le monde de la recherche.

Merci à tous les acteurs rencontrés sur le terrain, à l'AOP, les éleveurs, conseillers. Merci d'avoir pris le temps de nous recevoir, merci pour votre patience et pédagogie envers nous.

Enfin, un remerciement tout particulier pour mon binôme Yrieix Darbois sans qui le stage n'aurait pas été le même. Merci d'avoir été une source constante de motivation, merci pour ta bonne humeur.

Table des matières

Remerciements	3
Préambule.....	6
Liste des acronymes	6
Introduction	8
Méthode et matériel.....	8
1. Entretiens exploratoire pour définir les objectifs	8
2. Des entretiens semi-directifs pour comprendre le territoire.....	10
3. L'outil Excel disponible	10
3.1 La ferme Chaource moyenne	10
3.2 Ajustement des rendements selon le climat	10
4. Les différentes optimisations	12
Résultats	14
1. Comparaison des rations proposées selon les différents critères d'optimisation	14
1.1 Composition des rations et répartition de l'assolement nécessaire.....	14
1.2 Part de chaque matière première dans le cout total.....	16
1.3 Opposition entre autonomie et temps de travail	16
2. Comparaison des rations selon les aléas climatiques modélisés	18
2.1 Etudes des rations optimisées selon le compromis.....	18
2.2 Modélisation des leviers identifiés lors des entretiens.....	18
Discussion	22
1. Simplification dues au modèle	22
2. Simplifications dues aux manques de données	22
Conclusion.....	22
Bibliographie	24
Résumé.....	25
Abstract	25
ANNEXES	26
Annexe 1 : thèmes évoqué lors des différents entretiens	26
Annexe 2 : tableaux récapitulatif des scénarios d'années humides et d'années sèches	26
Annexe 3 : notice d'utilisation CR:EME	28

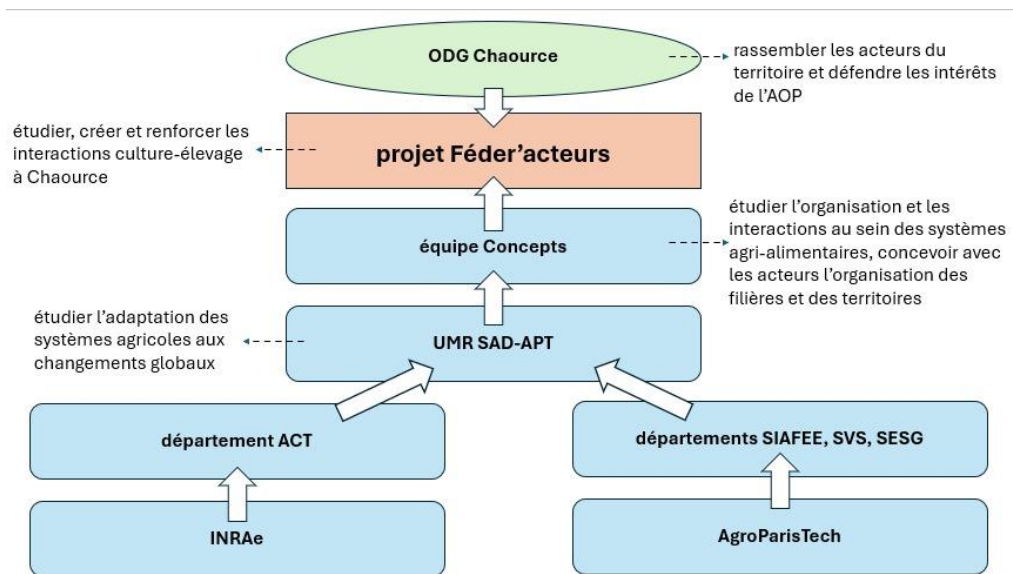


Fig 1 : Schéma de l'organisation du projet Fédér'acteurs

Préambule

Ce stage a été réalisé dans le cadre de ma deuxième année d'étude à AgroParisTech, dans le domaine Productions, filières, territoires pour le développement durable. Je l'ai effectué à Palaiseau au sein de l'UMR SADAPT, Unité Mixte de Recherche entre INRAE et AgroParisTech. Cette unité composée d'agronomes, de zootechniciens, de sociologues et de spécialistes des sciences de gestion évalue la durabilité et la résilience des systèmes agri-agroalimentaires face aux changements globaux et les liens que ces systèmes entretiennent avec leurs territoires. Elle est composée de plusieurs équipes, dont l'équipe CONCEPT (CONCilier Environnement et Production dans les Territoires et les Supply chains) qui « vise à développer des concepts, outils et méthodes pour concevoir et évaluer de nouvelles organisations des systèmes agricoles conciliant les enjeux de production, d'environnement et de biodiversité »¹ dans laquelle j'ai été accueillie pour mon stage.

Mon stage a été encadré par Solène Pissonnier, enseignante-chercheuse à AgroParisTech dans le département SIAFEE (Sciences et Ingénierie Agronomiques, Forestières de l'Eau et de l'Environnement) et spécialisée dans les interactions cultures-élevages à l'échelle du territoire. Elle est notamment à l'origine du projet Fédér'acteurs, cofinancé par l'INRAE et AgroParisTech et en lien étroit avec le syndicat de gestion de l'AOP Chaource. (Figure 1) Ce stage prend ainsi la suite d'une longue série de stages financés par ce projet, qui m'ont permis d'avoir une connaissance précise du territoire et de ses acteurs et enjeux principaux, et ce dès le début du stage.

Par ailleurs, ce stage a été effectué en binôme avec Yrieix Darbois, lui aussi en 2^{ème} année à AgroParisTech. Ce rapport présente l'analyse de l'impact des différents aléas climatiques sur la composition des rations. Le rapport d'Yrieix Darbois, complémentaire, présente l'impact de changements de pratiques d'élevage, tel que le passage en tout à l'herbe.

Liste des acronymes

ACP : Analyse en Composante Principale : méthode d'analyse statistique

AOP : Appellation d'Origine Protégée

CONCEPT : CONCilier Environnement et Production dans les Territoires et les Supply chains

GAEC : Groupement Agricole d'Exploitation en Commun

INAO : Institut national de l'origine et de la qualité

SADAPT : Science Action Développement - Activités Produits Territoires, unité de recherche

SIAFEE : Sciences et Ingénierie Agronomiques, Forestières de l'Eau et de l'Environnement, département d'AgroParisTech

UMR : Unité Mixte de Recherche : unité dont les chercheurs proviennent de plusieurs organismes.

¹ <https://sadapt.versailles-saclay.hub.inrae.fr/>

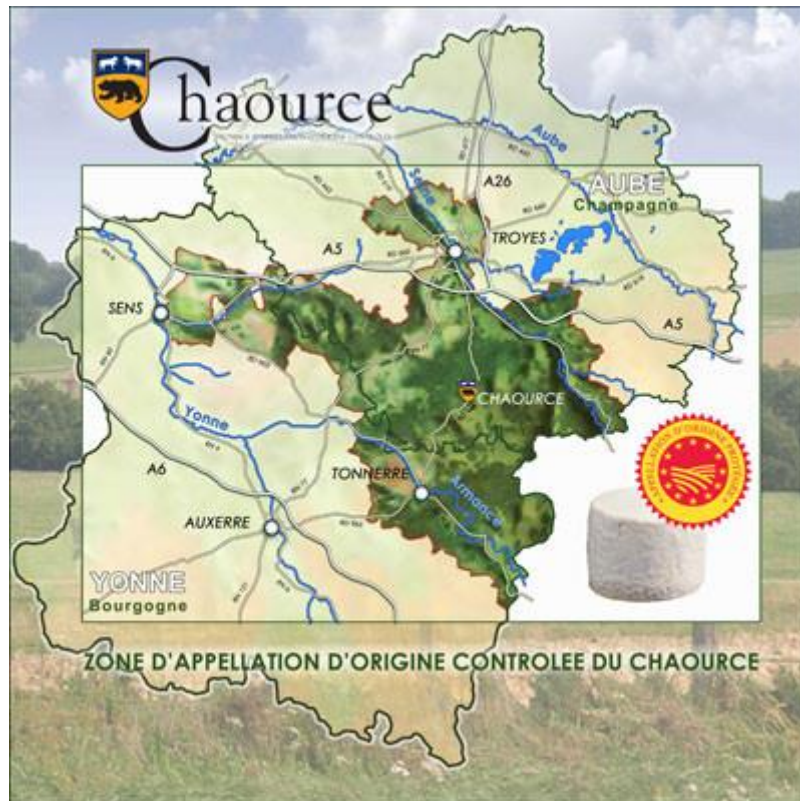


Figure 2 : Carte de la zone d'appellation Chaource (Syndicat, 2021)

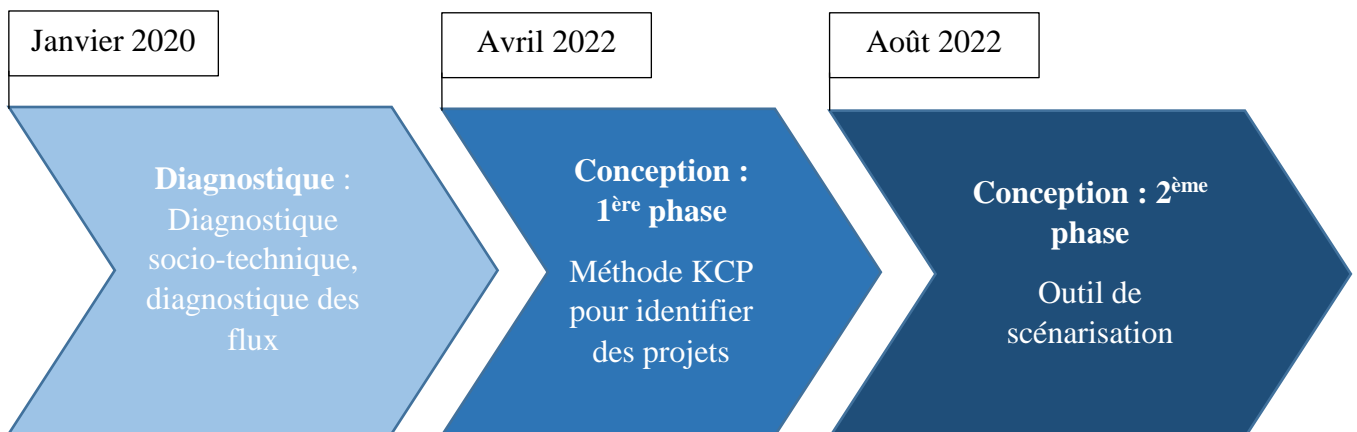


Figure 3 : Frise du projet Fédér'acteurs

Introduction

Les conditions climatiques sont un facteur clé de la production laitière, comme en témoignent les années 2023 et 2024 battant respectivement des records de sécheresse et d'humidité (Météo France). Le territoire de Chaource ne fait pas exception, les conditions ayant cette année amené les acteurs à demander une dérogation au cahier des charges de l'AOP pour des critères centraux de l'identité du fromage, comme les 5 mois de pâturage minimum, les 30% minimum d'herbe dans les fourrages, la limite de 15% maximum d'aliments importés depuis l'extérieur de la zone. La dernière modification du cahier des charges remonte pourtant à sa réécriture en 2012, et ses contraintes sont le fruit de l'historique et des particularités du territoire. Ce territoire est plutôt diversifié, puisqu'il est à cheval sur deux régions administratives (figure 2) et constitué de quatre petites régions agricoles : la Champagne Crayeuse propice aux grandes cultures, la Champagne humide, terres de prairies humide où l'élevage est dominant, le plateau calcaire du Barrois sensible à la sécheresse, et enfin les argiles à silex du pays d'Othe (Parmantier, 2021). On observe tout de même une dynamique générale sur l'ensemble de la zone : la spécialisation céréalière.

Afin de maintenir l'élevage dans un contexte de changement climatique, le projet Fédér'acteurs se propose d'étudier les impacts des interactions cultures-élevages. Notre stage se situe dans la deuxième phase du projet, la phase de conception (frise en figure 3), dans le but de proposer un outil de scénarisation des rations des vaches en lactation.

Mon stage s'intéresse ainsi aux évolutions et enjeux vécus par les exploitations face aux sécheresses répétées, en particulier aux évolutions de la ration, de l'assolement dans le cas du Chaource.

Méthode et matériel

1. Entretiens exploratoire pour définir les objectifs

Pour définir clairement le sujet et les attendus de ce stage, nous avons rencontré dès le début l'animatrice du syndicat de l'AOP et deux éleveurs.

L'animatrice du syndicat a été notre contact privilégié sur le terrain. En effet, bien qu'elle ne soit en poste que depuis septembre, elle connaît bien la situation des éleveurs via les audits réalisés par l'AOP et les différents acteurs comme les fromageries, affineurs, association de consommateurs... Elle est aussi investie dans le projet Fédér'acteurs. La rencontrer au début du stage a permis une prise en main rapides des enjeux rencontrés par le territoire et des objectifs du projet. Nous avons aussi réalisé un entretien en cours de stage avec elle, qui nous a permis de récupérer quelques données manquantes et d'adapter en cours de stage la direction prise par l'outil.

Nous avons aussi été voir un éleveur et producteur de Chaource fermier, ce qui nous a permis de comprendre les dynamiques vécues dans les exploitations agricoles et de préciser les objectifs de ce stage.

Par ailleurs, nous avons eu un entretien téléphonique avec un éleveur du Morvan, hors de la zone donc, mais avec un système d'élevage sans maïs ni tourteaux, ce qui nous a permis d'explorer les enjeux de tels systèmes et les conséquences des aléas climatiques.

Nous avons aussi assisté à la restitution d'une enquête menée par la chambre d'agriculture auprès de 47 des 53 éleveurs en AOP sur la synthèse de leurs besoins. Notre présence à cette réunion nous a permis d'actualiser quelques infos, et d'avoir des échanges spontanés avec des acteurs diversifiés.

2. Des entretiens semi-directifs pour comprendre le territoire

Nous avons réalisé deux entretiens semi-directifs qui nous ont permis de comprendre le territoire et d'affiner notre modélisation. Premièrement, nous sommes allés voir la conseillère d'une coopérative d'élevage qui suit la plupart des exploitants de l'AOP. Cet entretien nous a apporté une vraie vision d'ensemble de la zone sur toute l'année, et nous a permis d'affiner les chiffres que nous avions.

Nous avons ensuite été interroger un des vice-présidents du syndicat. Cet entretien avec un éleveur très représentatif nous a permis d'appréhender les freins et leviers appliqués à nos différents scénarios à l'échelle d'une exploitation et ceux à l'échelle de la filière.

3. L'outil Excel disponible

A l'issue des stages du projet Fédér'acteurs précédents, un outil Excel a été mis au point et successivement amélioré, notamment par Julie Menadi lors de son stage de fin d'étude en 2023. Cet outil a vu le jour sur la demande d'acteurs du territoire, dans le but de créer un support de discussion grâce à des calculs prospectifs, permettant de tester des hypothèses. Dans le cadre de notre stage, nous avons donc repris cet Excel, corrigé certaines valeurs pour correspondre mieux à nos observations, et y avons apporté les modifications nécessaires à la modélisation de nos scénarios.

Cet outil permet de calculer une ration pour nourrir l'ensemble des vaches en lactation de l'exploitation. Il prend en compte les aliments disponibles, la surface disponible et le nombre de vaches, et fournit une ration optimisée, prenant en compte les contraintes du cahier des charges de l'AOP, des contraintes physiologiques et techniques.

3.1 La ferme Chaource moyenne

L'outil Excel fonctionne sur la base d'une ferme Chaource « moyenne » déterminé lors des stages précédents : 100 ha, 68 vaches en lactation. Il connaît les principaux aliments de la zone, leurs rendements moyens sur la zone et leurs valeurs alimentaires, tirées des tables INRA 2007. Des données plus récentes existent, mais les tables 2007 ont été choisies par cohérence avec d'autres données anciennes lors de stages précédents.

3.2 Ajustement des rendements selon le climat

Pour s'intéresser aux conséquences des variations du climat d'une année sur l'autre, nous avons réalisé une étude statistique des rendements de la zone selon le déficit hydrique entre les années 2000 et 2016. Nous avons traité à l'aide du logiciel R les données du site européen

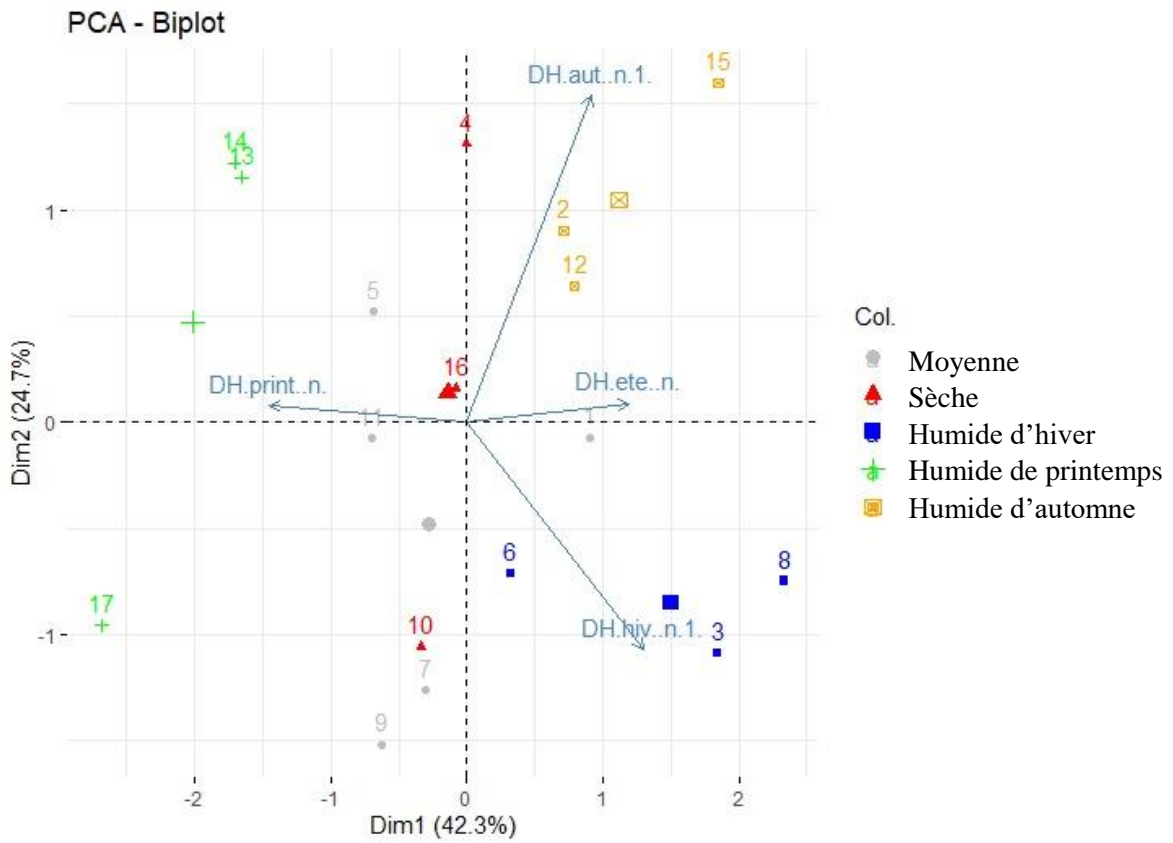


Figure 4 : Représentation graphique de l'ACP selon les dimensions 1 et 2 et positions des groupes d'années.

awa.agriadapt.eu, qui met en libre disposition les rendements moyens et les données climatiques observés dans un carré de 25 km de côté centré sur la ville de Chaource.

Ainsi, une Analyse en Composante Principale, ou ACP, des déficits hydriques de chaque saison nous a permis une analyse graphique de la situation climatique de chaque année (figure 4) : en plaçant les points des années sur le graphique, nous avons pu constituer cinq groupes d'années selon leurs déficits hydriques moyens. On utilise les déficits hydriques pour avoir une approche du stress hydrique réel, impacté par la pluviométrie et la température.

Le groupe « Sèche » rassemble les années ayant le déficit hydrique annuel le plus fort, toute saison confondues, ce qui n'est pas visible sur ce graphique. Les groupes « Humide » regroupent les années selon la saison où le déficit hydrique a été le plus faible. Les années du groupe « Moyennes » sont les cinq années de déficit hydrique moyen. Il a été nécessaire de séparer les années humides selon la saison d'humidité maximale pour avoir des rendements moyens cohérents. En effet, on a ensuite extrait les rendements moyens de chaque groupe que nous avons comparés aux rendements du groupe « Moyenne » afin de déterminer un pourcentage de variation de rendement dû au climat.

Par exemple, on trouve un rendement moyen de 5,6 t/ha dans le groupe « Moyenne », et de 4,3 t/ha dans le groupe « Sécheresse ». Ainsi, le rendement en année sèche atteint seulement 70% du rendement des années moyennes. Nous avons ensuite rentré ces variations dans l'outil, pour calculer les rendements des années d'aléas à partir des rendements moyens de l'outil, établis au fur et à mesure des différents stages à l'aide d'une grande diversité d'acteurs.

Les rendements sont les seuls paramètres modifiés lorsque l'on change de climat dans la modélisation, car les effets sur les valeurs alimentaires, le temps de travail ou le coût de production sont trop complexes et variables pour être modélisés simplement et justement.

4. Les différentes optimisations

L'outil est désormais capable d'optimiser les rations des vaches selon 4 critères :

- 1) Le coût total de la ration, pour toutes les vaches sur un an, en euro.
- 2) Le temps de travail en heure nécessaire pour cultiver les différentes ressources, du travail du sol jusqu'au stockage. Le temps de distribution n'est pas pris en compte. Cette optimisation est particulièrement intéressante dans la zone Chaource, où de nombreuses exploitations recourent à une main d'œuvre employée, payé au taux horaire.
- 3) Les imports depuis le reste de la zone ou depuis le reste du monde, en kg de matière sèche pour toutes les vaches sur un an. Cette optimisation permet de réfléchir à la problématique d'autonomie du territoire, critère du cahier des charges et volonté politique, comme le montre le programme régional ARPEEGE.
- 4) L'IFT moyen de l'exploitation : la somme des IFT de chaque culture (d'après Agreste, 2017) moyenné en divisant par le nombre d'hectares nécessaires. Cette optimisation permet d'avoir une première approche agro écologique du système modélisé.

De ces différentes optimisations est venu le nom de l'outil CR:EME, pour Calculatrice de Ration : Economie, Main d'œuvre, Environnement.

Afin d'avoir une ration synthétisant ces quatre critères, CR:EME dispose enfin d'un dernier indicateur : le « compromis ». Pour chacun des quatre critères, on a noté le minimum

Quantité de matières premières nécessaires sur la ferme en t

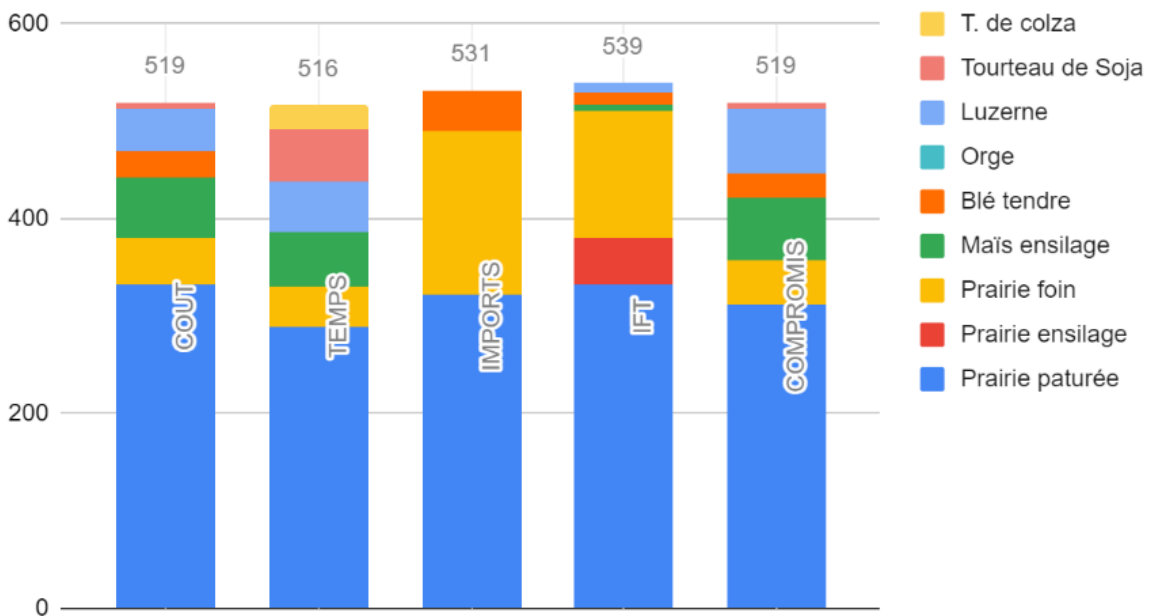


Figure 5 : Ration annuelle en tonne de la ferme moyenne selon les cinq critères d'optimisations possibles

Répartition des surfaces nécessaires sur la ferme en ha

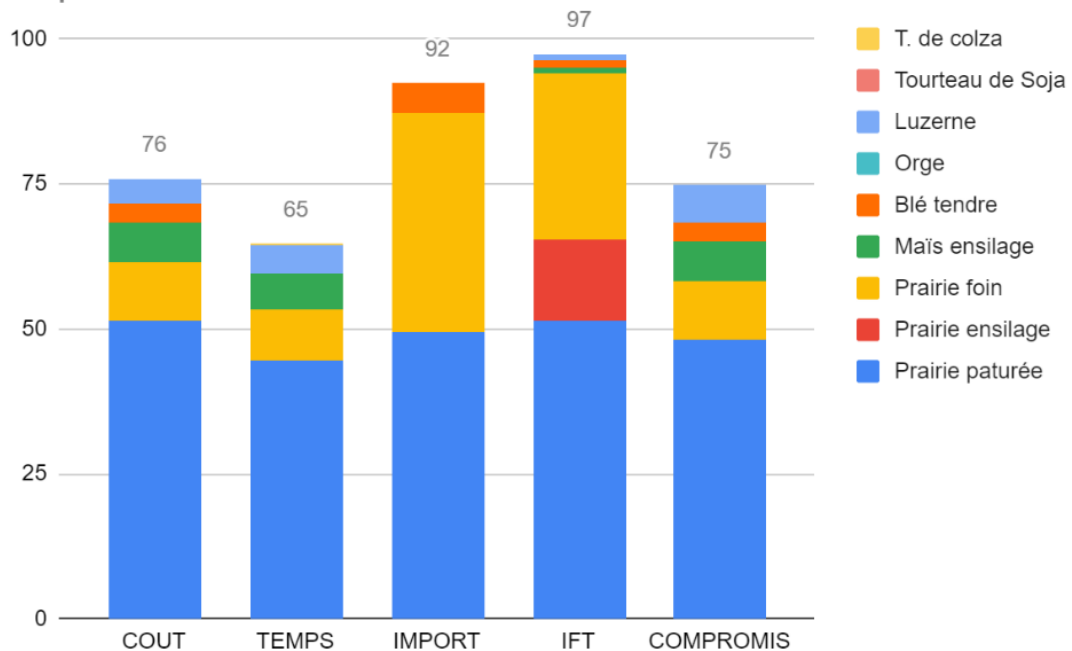


Figure 6 : Assolements associés aux différentes rations selon les cinq critères d'optimisations possibles

atteignable (lorsqu'on optimise selon ce critère) et le maximum (que l'on a atteint en optimisant selon un autre critère). On calcule ensuite la distance au minimum pour chaque critère : $distance = \frac{x-min}{max-min}$, et on somme les quatre distances pour trouver le compromis. Ainsi, plus cette valeur de compromis est basse, plus les quatre critères ont été pris en compte. Cette optimisation évite ainsi de trouver des rations trop extrêmes et irréaliste.

La notice d'utilisation de CR:EME que nous avons rédigée est disponible en annexe 3.

Résultats

1. Comparaison des rations proposées selon les différents critères d'optimisation

1.1 Composition des rations et répartition de l'assolement nécessaire

Les rations annuelles déterminées selon les différentes optimisations sont présentées en figure 5. On remarque en premier lieu que les quantités sont relativement semblables d'un critère à l'autre, ce qui est bien logique puisque les vaches consomment presque chaque jour la même quantité de matière sèche. On remarque aussi l'importance de la prairie pâturée, entre 50 et 60% de chaque ration.

Par ailleurs, l'optimisation par les coûts propose la ration la plus proche du compromis. L'optimisation selon les imports ne nécessite aucun tourteau, et comme les tourteaux sont quasi systématiquement associé avec de l'ensilage de maïs pour équilibrer l'apport énergétique, cette ration ne nécessite pas non plus de maïs. Par conséquent, elle a une composition relativement proche de la ration selon optimisation des IFT. Ces deux optimisations sont celles qui ont le plus d'herbe au total, qu'elle soit pâturée ou distribuée sous forme de foin ou d'ensilage. A l'inverse, avec 15% de tourteaux dans la somme des aliments annuelle, l'optimisation par le temps produit la ration qui contient le plus de tourteaux. En effet, c'est la seule ration à atteindre les 27% de concentrés distribués (en hiver seulement), et c'est celle qui a le moins d'herbe. On voit donc clairement un antagonisme entre herbe et maïs/tourteaux : plus il y a de maïs/tourteaux, moins il y a d'herbe et vice-versa.

Cette ration optimisée selon le temps de travail, de par la grande proportion d'aliments importés, est logiquement la ration qui a le moins de besoin de surface, avec seulement 65 ha comme on le voit sur la figure 6.

Les rations n'ont jamais besoin des 100 ha, ils peuvent ainsi être utilisés pour faire des stocks pour les mauvaises années, ou pour des cultures de ventes afin d'avoir une entrée de trésorerie supplémentaire. Cependant, sur ces 100 ha moyens, une ferme doit aussi nourrir le reste du troupeau, génisses et vaches tarées. Par manque de temps, nous n'avons pu nous intéresser au cas des génisses et des tarées, dont la dynamique d'évolution des besoins rend leur intégration dans le modèle très complexe avec le fonctionnement actuel de CR:EME. Cependant, la feuille « Besoin Tarées et Génisses » réalisée par les stages précédents prévoit un besoin de 27 hectares pour nourrir les génisses et tarées d'une ferme moyenne (une douzaine de tarées et 75 génisses de moins de 2 ans et demis). Dans ce cas, les surfaces nécessaires pour les optimisations selon le coût, le temps et le compromis approchent la limite des 100 ha, ces modèles tendent vers la

Cout de la ration pour un an

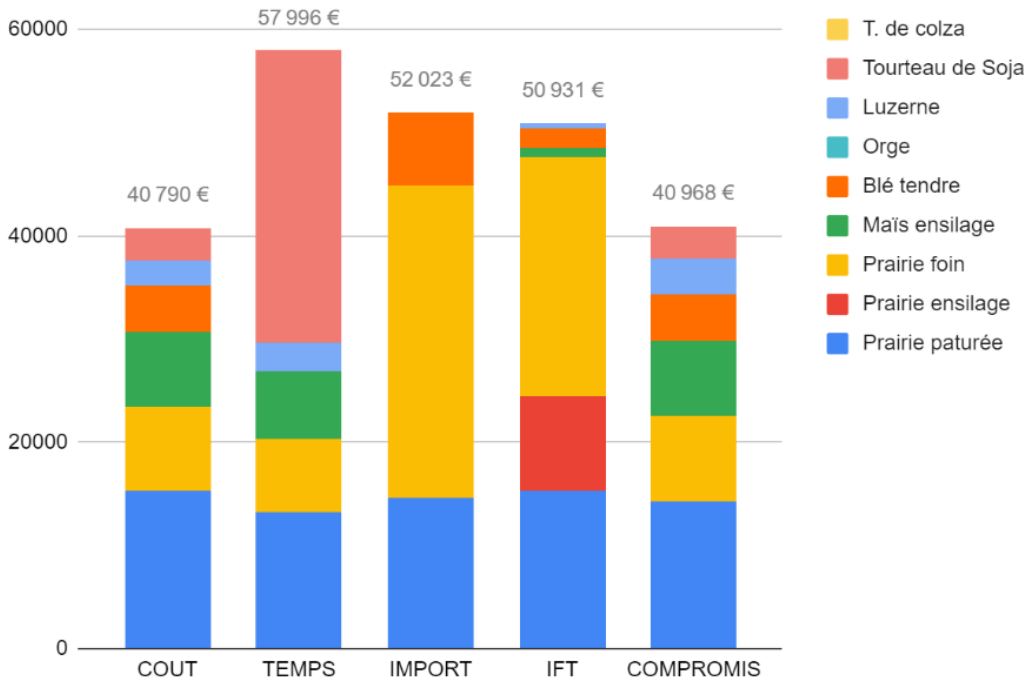
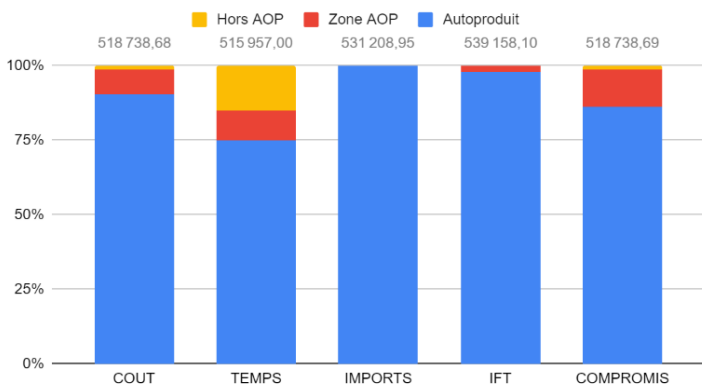


Figure 7 : Coût total de chaque ration selon les cinq critères d'optimisations possibles

Autoproduit, Zone AOP et Hors AOP



Temps de travail en heure

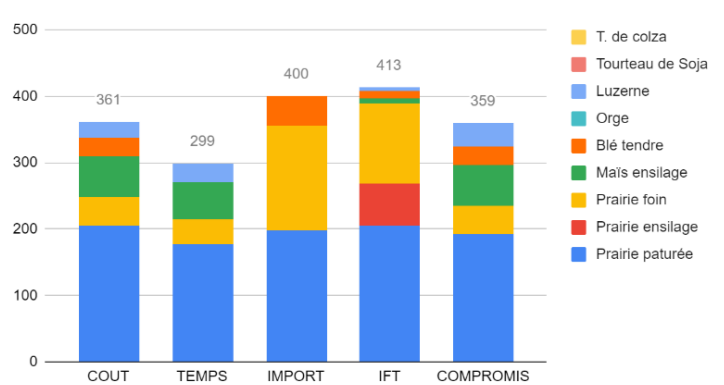


Figure 8 : Provenance des aliments et temps de travail nécessaire pour chaque ration selon les cinq critères d'optimisations possibles

limite de l'autonomie. L'optimisation selon les imports et les IFT ne sont réalisables que pour des fermes avec une surface plus grande que la moyenne.

1.2 Part de chaque matière première dans le cout total

Les coûts totaux des rations sont présenté en figure 7.

Le tourteau est un gros poste de dépense : toujours dans l'optimisation selon le temps de travail, le tourteau représente 42% du coût total de la ration, alors qu'il ne représente que 10% de la ration sur l'année, et qu'il n'est distribué qu'en hiver.

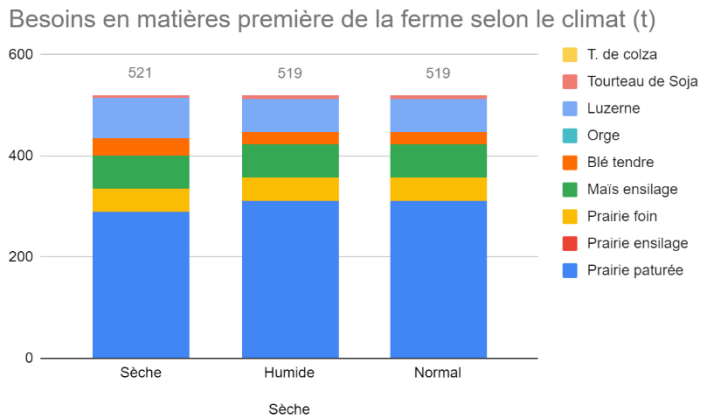
Au contraire, le pâturage est très économique : il représente 60% de la ration sur l'année en optimisation des imports, alors qu'il représente seulement 28% du coût. C'est principalement dû au temps de travail nécessaire qui est faible.

1.3 Opposition entre autonomie et temps de travail

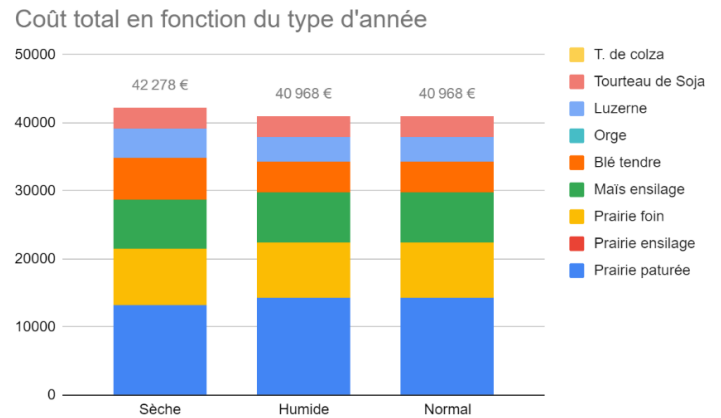
En comparant les graphique d'autonomie des exploitations et celui des temps de travail nécessaires à l'obtention des matières premières des différentes rations (figures 8), on peut voir qu'autonomie et imports sont opposés. En effet, si l'optimisation par le temps de travail permet d'avoir 25% d'heures de travail en moins qu'avec l'optimisation par le compromis, c'est bien parce que le temps de travail nécessaire aux tourteaux (importés) est nul. A l'inverse, l'optimisation selon l'import a un temps de travail très élevé car tout est autoproduit. Cette opposition se retrouve dans l'utilisation des tourteaux : acheter des tourteaux, c'est acheter le temps de travail nécessaire pour obtenir ces protéines.

Notons que pour faciliter la modélisation, la luzerne est comptée comme importée depuis la zone AOP sur le graphique des provenances, alors qu'elle est comptée dans l'assolement de la ferme (figure 6). Ceci permet par ailleurs de calculer pour la ferme étudiée la surface de luzerne nécessaire, et de faciliter les discussions potentielles avec des céréaliers.

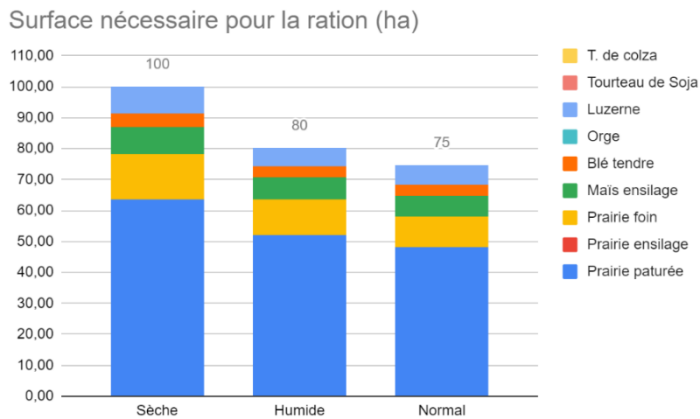
On voit donc l'importance de l'herbe sur le territoire : pour maintenir l'élevage, il est nécessaire de maintenir les prairies. On voit deux modèles un peu différents : le modèle avec tourteaux et maïs ensilage, économe en temps et en argent, et le modèle basé uniquement sur l'herbe, économe en imports et impact environnemental.



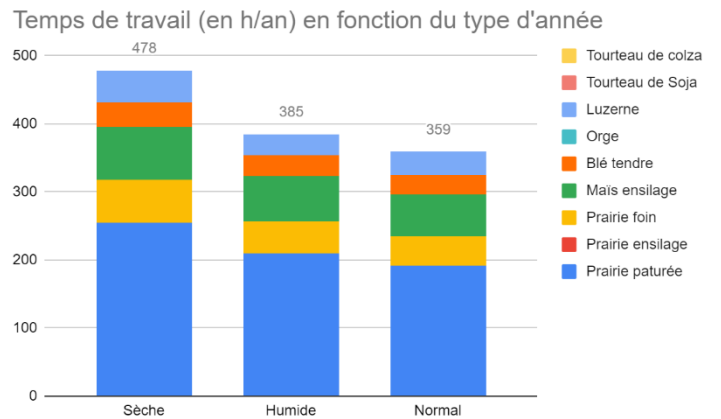
9.a : Ration annuelle



9.b : Coût total



9.c : Assolement



9.d : temps de travail

Figure 9 : Rations annuelles, coût total, surface nécessaire et temps de travail pour la ferme moyenne optimisées selon le compromis pour les années sèches, humide et normale.

2. Comparaison des rations selon les aléas climatiques modélisés

2.1 Etudes des rations optimisées selon le compromis.

On optimise dans un second temps les rations selon le compromis, pour les 5 types de climats : normal, sec, hiver humide, printemps humide et automne humide. Les trois rations des années humides étant identiques, elles ont été réunies en une seule catégorie sur les graphiques de résultats.

La première chose que l'on remarque sur le graphique des rations annuelles (figure 9.a) est que ces rations sont toutes très similaires. La ration proposée est déjà très optimisée, sans grande marge de progression. Cela peut être vu de manière positive : la ration déjà principalement utilisée sur la zone reste adéquate dans une grande diversité de climats, ou bien de manière plus négative : les exploitations sont obligées d'absorber les conséquences du climat sur le coût, le temps de travail et autre sans pouvoir changer la ration. Le système actuel semble connaître de nombreux verrouillages techniques.

Les rations ont tout de même quelques différences : la ration en année sèche contient plus de blé et de luzerne et moins d'herbe pâturée que la ration en année normale. Par conséquent, en année sèche, la ration coûte 5% plus cher qu'en année normale (figure 9.b).

En année humide, pas de changement de coût car le coût est proportionnel au poids, et qu'une augmentation de la surface nécessaire suffit à produire la même quantité de matières premières (figure 9.c).

Avec l'augmentation de la surface, on observe une augmentation du temps de travail en année sèche (figure 9.d), qui n'est pas compensé par l'utilisation de tourteaux. En plus de l'augmentation de la charge de travail, les années de stress hydrique augmentent aussi le stress et la charge mentale, comme le montrent les témoignages d'éleveurs.

2.2 Modélisation des leviers identifiés lors des entretiens

Les entretiens semi-directifs nous ont permis de dresser une liste des principaux problèmes causés par les aléas, ainsi que les freins et leviers à la mise en place de solutions. La liste complète est en annexe 2, nous développerons dans les paragraphes suivants les deux principaux leviers identifiés.

2.2.1 Stocks de foin

Un des premiers leviers identifiés avec les acteurs a été la capacité à stocker du foin les bonnes années, où l'on voit d'ailleurs dans le modèle que la totalité des 100 hectares n'est pas utilisée, pour la distribuer les meilleures années. Pour modéliser la plus grande disponibilité du foin, on double le rendement des surfaces de foin : ainsi, on compte que les prairies ont données du foin deux fois, une fois l'année précédente et une fois l'année en cours. Pour comparer avec autres années et les autres matières premières, on n'étudie le coût et le temps de travail uniquement pour l'année en cours : on divise ces deux chiffres par deux.

Ce levier nécessite tout de même un grand hangar de stockage, qu'il n'est pas toujours évident de financer, et une alternance entre années compliquées et années clémentes pour

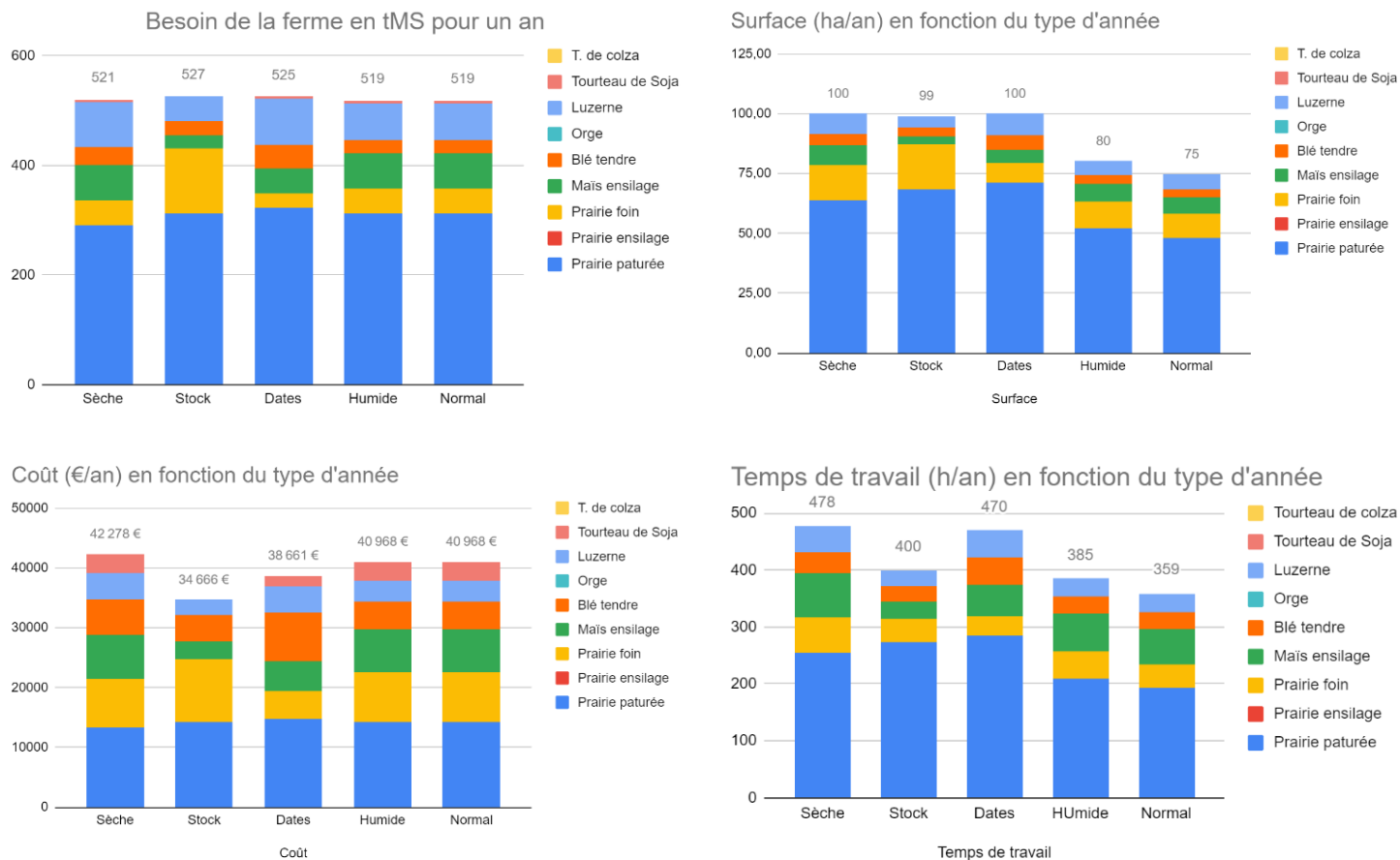


Figure 10 : Rations annuelles, coût total, surface nécessaire et temps de travail pour la ferme moyenne optimisées selon le compromis pour les années sèches, les années sèche avec stock de foin (« stocks »), les années sèches avec décalages de dates de pâturage (« dates »), années humides et années normales.

pouvoir réaliser ces stocks. Si tous les éleveurs de la zone ont déjà une certaine capacité de stockage, c'est à des échelles très différentes. Une seule exploitation dispose d'un séchage en grange.

2.2.2 Avancer la date de mise au pâturage et reculer la rentrée

Un autre levier souvent évoqué est l'adaptation des dates de pâturages : commencer plus tôt au printemps, rentrer plus tard en hiver. Ce levier est très dépendant de l'année, et nécessite une très grande adaptabilité. Pour la modélisation, une mise au pâturage le 15 février et une rentrée dans la stabulation le 1^{er} décembre ont été choisis suite à divers entretiens.

Ces deux scénarios de gestion de l'année sèche ont donc été modélisés, et leurs caractéristiques sont présentés en figure 10.

Sans grande surprise, le scénario avec stockage de foin est la ration qui en utilise le plus. C'est aussi la ration la plus économique, car elle coûte 15% de moins que la ration de base en année normale, et la conduite d'année sèche qui demande le moins d'heure de travail. Cependant, si ces graphiques ne montrent que les coûts de l'année en cours, il ne faut pas oublier que le foin a été fait l'année précédente, ce qui demande du temps et de l'argent, et stocké, ce qui représente une immobilisation importante de trésorerie.

Le scénario de modification des dates de pâturage ne change presque pas la ration annuelle, ni l'assolement nécessaire, ni le temps de travail nécessaire. La ration coûte tout de même presque 10% moins cher qu'en année sèche non aménagée, ce qui est un avantage non négligeable.

Par ailleurs, quoi qu'on fasse, l'année sèche a toujours besoin des 100 hectares pour optimiser les rations selon le compromis.

Ainsi, le stockage et l'adaptation de la conduite d'élevage sont deux leviers pour améliorer la résilience des exploitations aux aléas climatiques.

2.2.3 Augmenter la limite de concentrés

D'après la synthèse de l'analyse des besoins des producteurs de lait de l'AOP Chaource réalisé par la Chambre d'Agriculture de l'Aube, 12 des 47 éleveurs considèrent que la limite à 27% de concentrés est un point du cahier des charges dur à respecter. Cependant, parmi nos scénarios, l'année sécheresse sans conduite aménagée est celle qui en utilise le plus, à hauteur de 7.6% en moyenne sur l'année (blé et tourteau de soja), et 16% par jour en hiver. En effet, CR:EME a une limite de 3 kg de céréales par jour et par vache pour raison physiologique, et prend en compte la limite de 15% d'aliments qui peuvent être importés hors du territoire. Ces deux limites sont systématiquement franchies avant la limite des 27% de concentrés, il ne semble donc pas justifié de revoir ce point du cahier des charges.

Discussion

1. Simplification dues au modèle

Un modèle simplifie la réalité pour mieux l'étudier. CR:EME repose donc sur de nombreuses simplifications, notamment la prise en compte des vaches en lactation uniquement, et non des génisses ni des vaches tarées. En effet, la dynamique très rapide des besoins des génisses ne peut être calculée avec la calculatrice actuelle. Par ailleurs, les coûts de production, le temps de travail unitaires et la qualité nutritionnelle des aliments ne changent pas selon le climat de l'année, par manque de données réalistes.

De plus, les chiffres utilisés par CR:EME sont des moyennes sur toute la zone de l'AOP pour les plus précis, alors qu'on sait que les conditions sont très disparates selon les petites régions agricoles. Pour adapter un peu la calculatrice à chaque acteur qui voudra s'en servir, il est facile d'adapter manuellement les rendements préexistants dans la calculatrice. Cependant, l'analyse de ce rapport est par contre basée sur des moyennes.

2. Simplifications dues aux manques de données

La zone Chaource est assez peu documentée. Pour l'herbe, les tables INRAe se cantonnent aux prairies normandes ou de montagnes. Les acteurs du conseil considèrent que les semences sont sélectionnées pour ces mêmes régions.

Une plus grande précision aurait aussi pu être apportée en prenant en compte les effets des conditions climatiques sur la modification des valeurs alimentaires, le temps de travail, les traitements sanitaires et le coût total des rations.

Conclusion

Le territoire de Chaource est sensible aux variations climatiques d'une année à l'autre. Cependant, de nombreux blocages socio-techniques verrouillent le système et rendent complexe l'adaptation de la filière aux conditions climatiques variant annuellement.

Certains leviers existent, comme le stockage de foin ou le décalage des dates de pâturages et sont déjà utilisés dans une certaine mesure, qu'il peut être intéressant de développer.

Il peut dès lors être intéressant de comparer l'adaptabilité du système actuel avec la résilience d'autres systèmes peu ou pas représentés sur la zone, comme des systèmes sans maïs ni tourteaux ou tout à l'herbe, étudiés par Yrieix Darbois.

Conclusion personnelle

Ce stage m'a apporté beaucoup, que ce soit en compétences techniques, en capacité d'analyse ou en capacité de communication.

En premier lieu, ce stage m'a permis de me familiariser avec l'élevage bovin laitier, et notamment d'acquérir des ordres de grandeurs de besoins des vaches, de composition des rations, de temps de travail nécessaires... En parallèle, j'ai ainsi pu développer mon esprit critique en essayant de comparer les résultats du modèle à la réalité observée sur le terrain.

Plus techniquement, j'ai développé mes compétences Excel lors de ce stage, et ma capacité d'analyse et de synthèse des résultats. La réalisation d'entretiens en autonomie n'était pas un exercice nouveau pour moi, cependant ceux réalisés au cours de ce stage ont tous été très enrichissants.

Bibliographie

Données météorologiques : awa.adapt.eu

Bilan climatique de l'année 2023 Météo France, disponible sur meteofrance.fr

Cahier des charges de l'appellation d'origine « Chaource » homologué par le décret n°2013-1063 du 25 novembre 2013, JORF du 27 novembre 2013, Bulletin officiel du Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt n° 48-2013

Coût de production des fourrages et céréales, conjoncture 2021, Chambres d'Agriculture 12, 15, Institut de l'élevage

J. Menadi, 2023 : mise en place d'une méthodologie de création de partenariats culture-élevage au sein du territoire de l'AOP Chaource, à travers la scénarisation

M. Parmantier, 2020 : Freins et leviers à l'intégration culture-élevage à l'échelle du territoire: diagnostic socio-technique de la zone de l'Appellation d'Origine Protégée du Chaource. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master Agrosociétés, Environnement, Territoires, Paysage, Forêt.

Pratiques culturales en grande cultures 2017, IFT et nombre de traitement. Agreste Chiffres et Données juin 2019

B. Roux, 2022 : Développement des interactions cultures élevages à l'échelle du territoire de l'AOP Chaource. Capitalisation d'un diagnostic socio-technique pour le lancement d'une phase de co-conception avec les acteurs du territoire. Rapport de stage

Tables INRA 2007

Résumé

Dans le cadre du projet Fédér'acteurs, mené par AgroParisTech, l'INRAe et le syndicat de l'AOP Chaource, ce rapport s'intéresse aux impacts des variations de conditions climatiques sur la ration des vaches laitières de l'AOP Chaource, et plus particulièrement à leurs conséquences sur les assolements, les coûts, le temps de travail et l'environnement.

L'étude se base sur une scénarisation à l'aide d'un tableur Excel, permettant de modéliser des rations optimisées pour minimiser différents critères (coût total, temps de travail, traitements phytosanitaires, et importations).

Abstract

This internship report takes place in the Fédér'acteurs project, financed by AgroParisTech, INRAe and the Chaource DPO. It focuses on the outcome of the variations of weather conditions on the DPO milking cows portion of feed, in particular the consequences on the crop rotation, the final costs, the work time and the environment.

This study is based on an Excel scenario tool, that can models rations optimised to minimise different criteria (final cost, work time, treatments and imports).

ANNEXES

Annexe 1 : thèmes évoqués lors des différents entretiens

ACTEUR	THEME
Animatrice de l'AOP	Attendus du syndicat de l'AOP sur notre stage Freins et leviers à l'échelle de la filière Communication de chiffres précis et récents
Eleveur et producteur de fromage fermier	Enjeux d'un système en tout à l'herbe, notamment en cette année humide.
Eleveur	Discussion du modèle de base de l'AOP, et comment il se trouve impacté par les années climatiquement exceptionnelles. Freins et leviers à l'échelle de la ferme, techniques, économiques, stratégiques...
Conseillère d'une coopérative d'élevage	Vision d'ensemble des pratiques Périodes à enjeux sur une année Chiffres précis : dates, rendements...

Annexe 2 : tableaux récapitulatif des scénarios d'années humides et d'années sèches

Légende :	Echelle exploitation agricole	Echelle territoire
-----------	-------------------------------	--------------------

Humide	PROBLEMES	SOLUTIONS	FREINS	LEVIERS
ELEVEURS	Difficulté à récolter le foin	Avoir du stock de foin	Avoir un grand espace de stockage ET des années précédentes clémentes	subventions
		Faire de l'enrubannage	Avoir du matériel adapté	Partage dans des structures types CUMA
		Séchage en grange	très coûteux	subventions
		Achat	très cher (tout le monde en a besoin en même temps)	subventions
			attention au critère d'autonomie de zone	demande de dérogation à l'INAO

		Pâturage ou affouragement vert	portance des sols	
			solution très court terme : ne règle pas le problème de manque de foin pour l'hiver et l'été	
		Choisir des races plus rustiques qui valorisent mieux la ration	diminution de la quantité de production	
			Le cahier des charges empêche un renouvellement rapide du cheptel	
		Changer les critères de sélection pour sélectionner des vaches plus résilientes	long et coûteux	
Temps de travail				
TRANSFORMATEURS	Chute des taux et donc des rendements fromagers	Augmenter la part de lait transformé	le Chaource n'est pas un fromage qui se garde longtemps, pas d'étalage des stocks possible	
	Difficulté à faire sécher les fromages : beaucoup de déclassés			
AUTRE	Amont : baisse des tonnages de betteraves destinées aux éleveurs			

Stress hydrique	PROBLEMES	SOLUTIONS	FREINS	LEVIERS
ELEVEURS	Manque d'herbe	Piocher dans les stocks de foin	Avoir un grand espace de stockage et des années précédentes clémentes	Subventions
		Acheter du foin	Achat : très cher et attention au critère d'autonomie	
		Décaler le pâturage plus tôt au printemps et plus tard l'automne	L'habitude, grande adaptabilité nécessaire	L'habitude se prend
	Manque d'eau dans les pâturages	Apporter de l'eau	Dépend de l'organisation du parcellaire	
		Rester en stabulation	Attention au critère de 5 mois de pâturage	
	Chute des taux et de la quantité de lait car les vaches mangent moins	augmenter le pourcentage de concentrés dans la ration	La modification du cahier des charges est une procédure longue, complexe, et les modifications dans le sens d'un assouplissement sont rarement acceptées	La prime du lait d'été permet de payer les concentrés
		Choisir des races plus rustiques	long, complexe, coûteux	
TRANSFO	Chute des taux et donc des rendements fromagers	Augmenter la part de lait transformé	le Chaource n'est pas un fromage qui se garde longtemps, pas d'étalage des stocks possible	

Utiliser CR:EME

La Calculatrice de Ration : Economie, Main d'œuvre, Environnement

Préambule

Cet outil n'est pas un absolu : il a été pensé pour proposer des chiffres, des solutions, en bref pour lancer une réflexion plus générale. La réalisation de la calculatrice a nécessité de poser de nombreuses hypothèses, comme les rendements moyens, leurs variations selon les années, le temps de travail, les objectifs de production... Ces chiffres se veulent le plus réaliste possible, mais étant donnée la variabilité du monde agricole ils ne sont que des approximations moyennes. Il ne faut pas hésiter à changer ces chiffres selon la situation étudiée.

Table des matières

Préambule.....	29
Organisation générale de la calculatrice.....	30
1. Accueil	30
2. Optimisation ration VL	30
3. Graphiques résultats	30
4. Sources	30
5. Coûts, temps de travail	30
6. Besoin Taries et Génisses.....	31
7. Valeurs méteils.....	31
Utilisation simple de l'outil.....	31
1. Définition du modèle.....	31
2. Calcul de la ration	32
3. Extraire les résultats	34
Fonctionnement de l'outil	35
1. Organisation de la feuille Optimisation ration VL.....	35
2. Les sources	Erreur ! Signet non défini.

Organisation générale de la calculatrice

La calculatrice est composée de huit feuilles.

1. Accueil

Cette feuille est l'endroit où l'utilisateur rentre les paramètres de la ferme étudiée, comme les ressources alimentaires disponible, leurs rendements, leur provenance, mais aussi le nombre de vaches en lactation, la surface disponible et le type de climat de l'année.

Les valeurs par défaut sont les valeurs moyennes d'une ferme en AOP Chaource : 68 vaches en lactation, 100ha disponibles pour les nourrir, et les aliments cochés par défaut sont ceux qui sont le plus classiquement utilisés.

Toutes les cases bleues sont modifiables par l'utilisateur.

2. Optimisation ration VL

Cette feuille est le cœur des calculs, mais il n'y a presque rien à toucher pour une utilisation classique. C'est sur cette feuille que l'on choisit le critère d'optimisation voulu parmi : le coût total de la ration, le temps de travail, les importations hors zone ou hors exploitation ou les IFT totaux sur la ferme. Les résultats sont dans les encadrés verts.

3. Graphiques résultats

Un certain nombre de graphiques se réalisent automatiquement et permettent une visualisation rapide des résultats. Ces graphiques représentent :

- Les compositions des rations pour chaque période de l'année et le total sur l'année, ainsi qu'une ration quotidienne moyenne
- L'origine de la ration : autoproduit, zone AOP et hors AOP
- Les surfaces nécessaires pour cultiver les matières premières de la ration trouvée
- Le coût de la ration par matière première
- Les IFT par matière première
- Le temps de travail par matière première

4. Sources

Cette feuille retrace l'origine de toutes les données utilisées par la calculatrice. Aucun calcul n'a lieu sur cette feuille, mais presque toutes les autres feuilles font appel à ses valeurs.

5. Coûts, temps de travail

Cette feuille rassemble les calculs finaux de coûts, temps de travail et IFT une fois la ration optimisée. Ces données sont reprises dans la feuille Graphiques résultats, une utilisation classique de CR:EME ne nécessite pas d'aller sur cette feuille.

6. Besoin Taries et Génisses

Par manque de temps, notre stage n'a pas pu s'intéresser aux questions des génisses et taries qui composent aussi le troupeau laitier. Cette feuille conserve les travaux de stages précédents pour fournir une base de travail, si quelqu'un veut reprendre l'outil.

7. Valeurs méteils



Un stage précédent s'était beaucoup intéressé aux différents méteils possibles. Cette feuille conserve ce travail, à titre informatif.

Utilisation simple de l'outil

1. Définition du modèle

La première chose à faire est de remplir la page d'accueil : **les cases bleues sont modifiables.**

1.1 Encadré ressources

Ressource	Descriptif	Choix	Rendement (T/ha)	Ajustement rendement	Origine
Prairie pâturée		<input checked="" type="checkbox"/>	6,5	1	Ferme
Prairie ensilage/enrubannage		<input checked="" type="checkbox"/>	3,4	1	Ferme
Prairie foin		<input checked="" type="checkbox"/>	4,5	1	Ferme
Méteil 3	 29% de protéagineux ; ensilage de méteil	<input type="checkbox"/>	6	1	Ferme
Méteil 3.2	correctif de -30% aux valeurs alimentaires du méteil 3	<input type="checkbox"/>	6	1	Ferme
Méteil 4	 29% de protéagineux avec féverole ; ensilage de méteil	<input type="checkbox"/>	6	1	Ferme
Méteil 4.2	correctif de -30% aux valeurs alimentaires du méteil 4	<input type="checkbox"/>	6	1	Ferme
Sorgho fourrager		<input type="checkbox"/>	9	1	Zone AOP
Maïs ensilage		<input checked="" type="checkbox"/>	9,5	1	Ferme
Blé tendre		<input checked="" type="checkbox"/>	7,66	1	Ferme
Orge		<input checked="" type="checkbox"/>	7,14	1	Ferme
Luzerne		<input checked="" type="checkbox"/>	10,25	1	Zone AOP
Luzerne déshydratée	Disponible en filière tracée	<input type="checkbox"/>	9	1	Zone AOP
Pois protéagineux		<input type="checkbox"/>	4,5	1	Zone AOP
Pois toasté		<input type="checkbox"/>	3,8	1	Zone AOP
Tourteau de colza		<input checked="" type="checkbox"/>	999	1	Hors AOP
Tourteau de Soja		<input checked="" type="checkbox"/>	999	1	Hors AOP

Cocher les ressources disponibles

Ajuster les rendements proposés

Choisir la provenance des aliments

Dans cet encadré on trouve la liste des aliments connus de l'outil. L'utilisateur coche les ressources disponibles dans le cas étudié, et choisi dans la liste déroulante la provenance de l'aliment (Ferme, Zone AOP ou Hors AOP).

<input checked="" type="checkbox"/>	10,25	1	Zone AOP
<input type="checkbox"/>	9	1	Zone AOP
<input checked="" type="checkbox"/>	3,075	0,3	Zone AOP
<input type="checkbox"/>	9	1	Zone AOP

Des rendements moyens en t/ha sont déjà rentrés dans CR:EME : il est possible d'ajuster ces rendements dans la case d'à côté. Par exemple, si on veut modéliser qu'on ne fait qu'une seule coupe de luzerne à 3tMS, on ne réalise que 30% du rendement proposé, et on remplace alors le 1 de la case G22 par un 0,3. Le rendement ajusté se corrige automatiquement, il faut bien vérifier les valeurs proposées avant d'aller plus loin dans la modélisation.

1.2 Encadré cheptel

Dans cet encadré, il faut rentrer le nombre de vaches en lactation durant chaque période. Noter que les dates de début et fin de périodes sont dans des cases bleues, elles sont donc modifiables.

	Début	Fin	Durée (j)	Nombre de vaches en production
Hiver	15/11	01/04	137	62
Printemps	01/04	01/07	91	68
Été/automne	1/7/2023	15/11/2023	137	68

Les valeurs de 62 et 68 vaches en lactation ont été choisies car ce sont les valeurs moyennes des exploitations de la zone Chaource.

1.3 Encadré surface

Surface (ha)	100
---------------------	-----

Il faut remplir ici la surface disponible sur la ferme. La valeur par défaut est de 100 ha car c'est la moyenne des exploitations de la zone Chaource.

1.4 Encadré année

Ici il s'agit d'une liste déroulante où vous pouvez choisir le type de climat de l'année : si l'année est normale, sèche, si l'hiver est anormalement humide, si le printemps est anormalement humide ou si l'automne est anormalement humide.

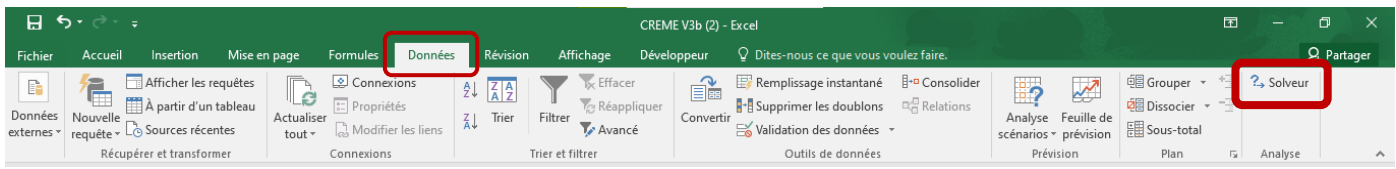
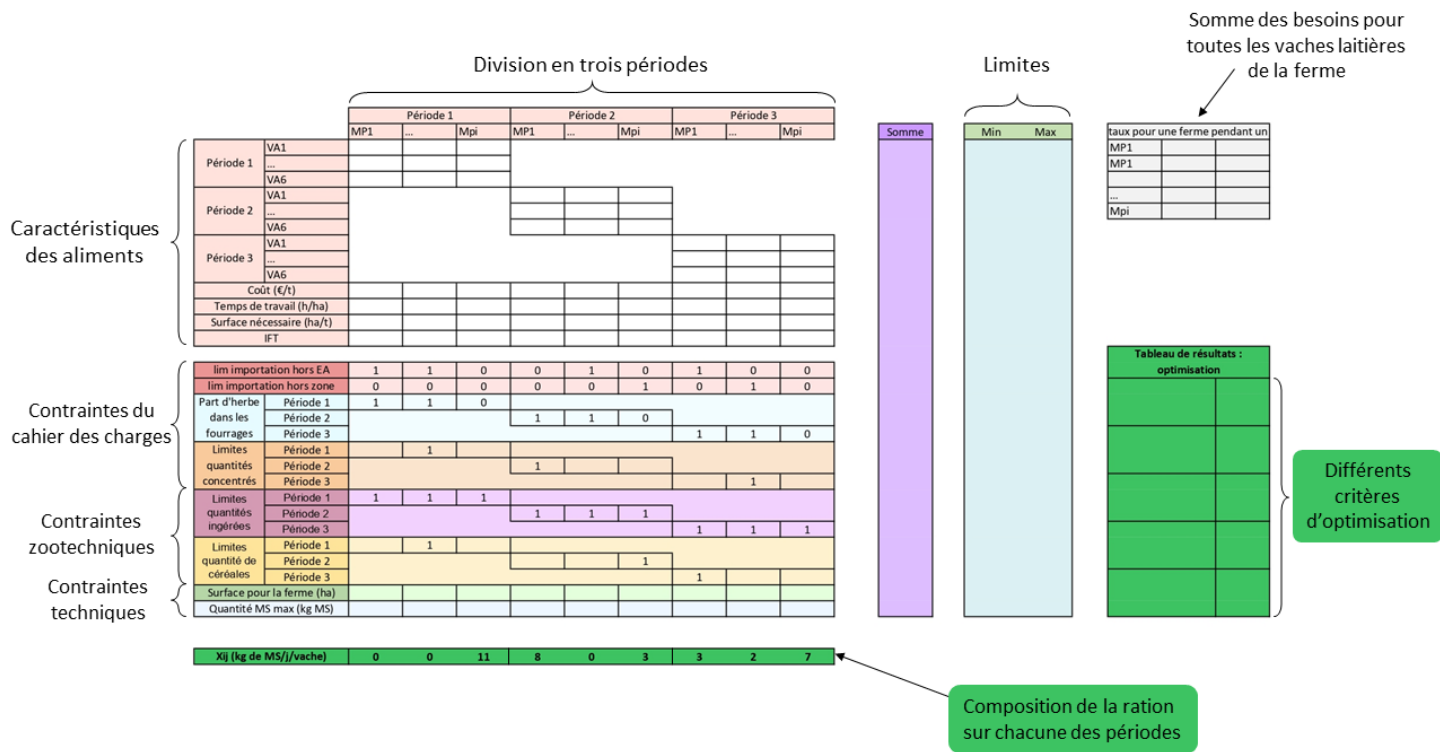
Année	normale
	normale
	sèche
	hiver humide
	printemps humide
	automne humide

2. Calcul de la ration

Une fois le modèle déterminé, il faut calculer la ration.

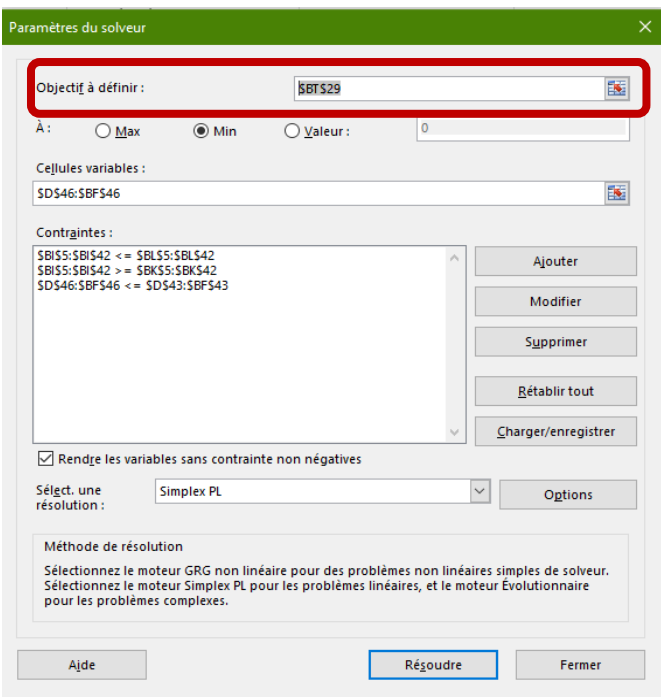
Pour cela, il faut aller sur la feuille *Optimisation ration VL* dont voici un schéma de l'organisation.

Il y a beaucoup d'informations, mais les seules qui nous intéressent pour l'instant sont celles présentes dans le Tableaux de résultats en bas à droite.



Utiliser l'outil Solveur dans l'onglet Données. Si l'outil Solveur n'apparaît pas sur votre version d'Excel, il faut le faire apparaître : aller dans fichier > options > Compléments > atteindre, et vous cocher la case Complément Solveur.

Une fenêtre intitulée « Paramètres du solveur » s'ouvre. La seule chose à faire est de désigner dans la case « Objectif à définir » la cellule à optimiser. Vous pouvez écrire le nom de la cellule ou cliquer directement dessus.



	BP	BQ	BR	BS	BT	BU
26	Tableau résultats : récapitulatif pour l'ensemble					
27	des vaches laitières de l'exploitation					
29	Coût total de la ration(€)				40789,72	
31	Temps de travail (h)				414	
33	IFT				33,72	
35	IFT/ha				0,39	
37	Quantité d'aliments importés hors				5935,89	
38	de la zone sur l'année pour					
39	l'ensemble des vaches (kg MS)					
41	Quantité d'aliments importés hors				50081,27	
42	de l'exploitation sur l'année pour					
43	l'ensemble des vaches (kg MS)					
45	Importations hors de la zone (%)				1,14%	

Vous pouvez prendre les cellules en vert plus foncé du tableau de résultats. Ces cellules vous permettent d'optimiser selon :

- le coût total de la ration pour toutes les vaches sur un an

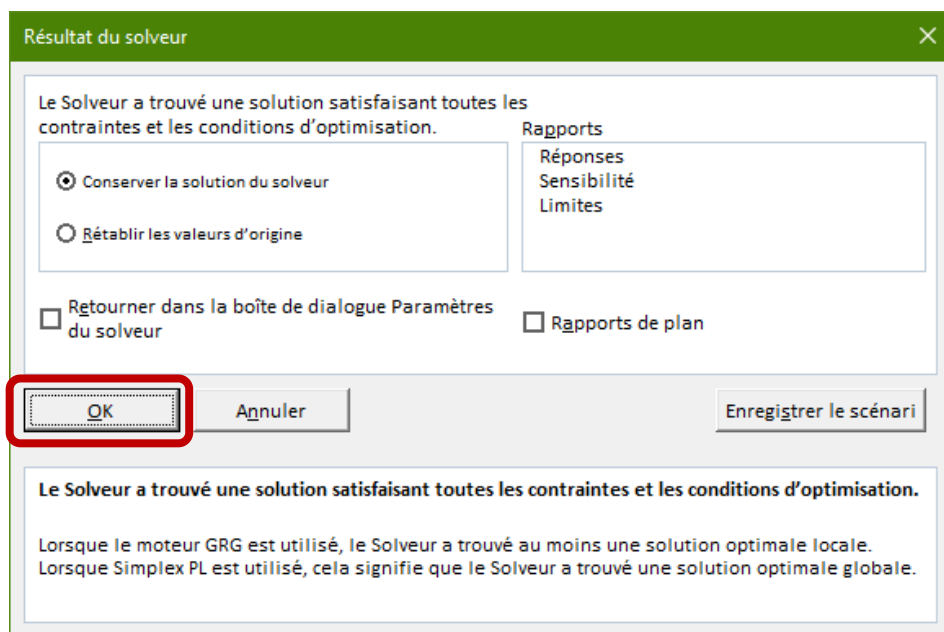
- le temps de travail dédié aux cultures (du travail de préparation du semis au stockage, ne prend pas en compte le temps de distribution)

- les IFT. Il est plus intéressant d'utiliser la valeur d'IFT/ha, qui est une moyenne des IFT reçus par chaque hectare de la ferme, que la valeur brute IFT. Cependant, Excel ne peut pas optimiser les IFT/ha : il faut donc optimiser les IFT et retenir la valeur IFT/ha qui se calcule automatiquement.

- l'autonomie de la ferme. De la même manière, Excel ne peut pas optimiser directement le pourcentage d'aliment importés, il faut optimiser les quantités d'aliments brutes.

Une fois la cellule choisie, cliquer sur Résoudre en bas de la fenêtre. Une nouvelle fenêtre s'ouvre.

Vérifier que cette fenêtre n'indique pas de message d'erreur, et cliquer sur OK.



3. Extraire les résultats

Le tableau de résultats se met à jour automatiquement, et permet d'avoir un premier aperçu des résultats. Pour en savoir un peu plus, ouvrir la feuille *Graphiques résultats*.

Les premiers graphiques présentent la composition de la ration selon les périodes, les suivants donnent à voir le poids de chaque aliment dans plusieurs critères de comparaison des rations : la surface nécessaire, le coût, les intrants et le temps de travail. Ils changent automatiquement à chaque utilisation du solveur.

Les aliments ont tous une couleur qui est identique sur la plupart des graphiques : la prairie pâturée sera toujours en bleu, le foin en marron, l'ensilage de maïs en vert...

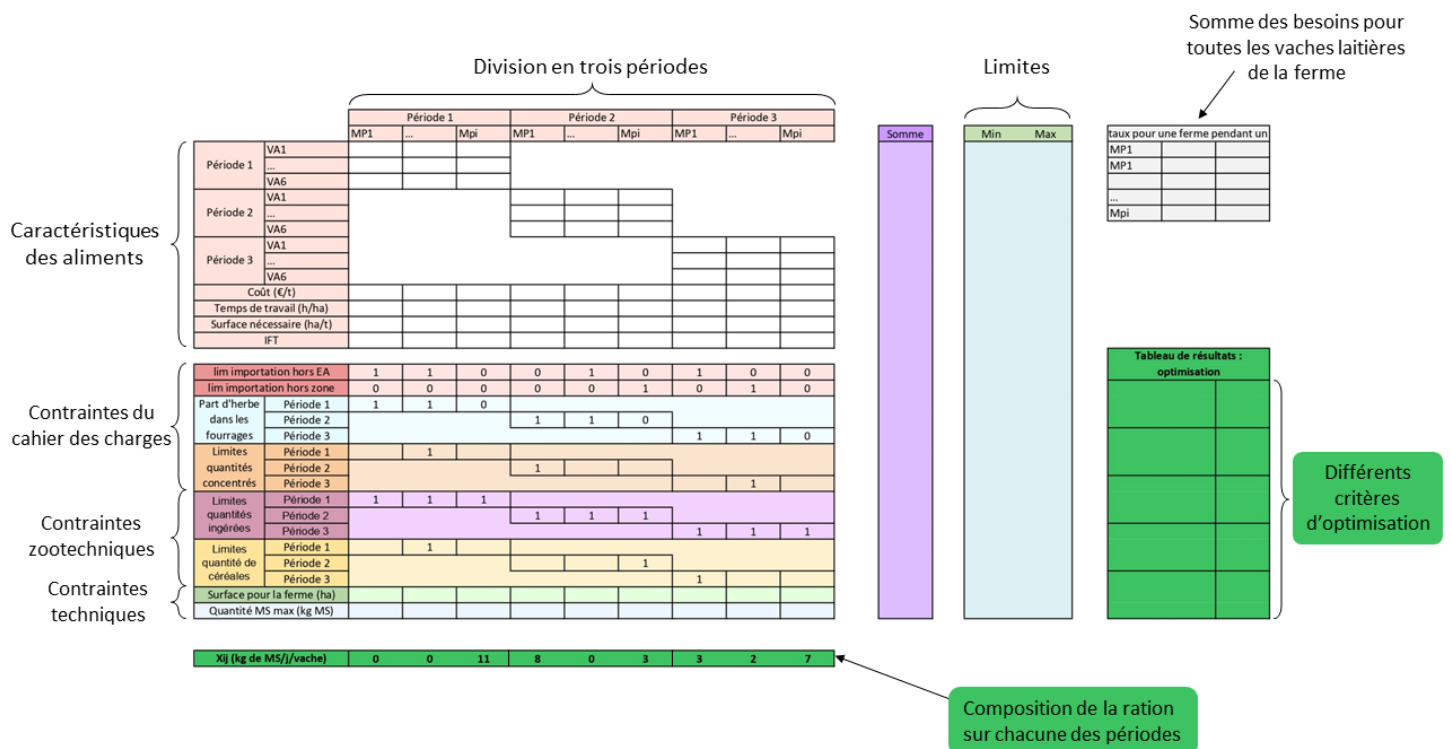
Vous pouvez copier ces graphiques sur un document à part pour conserver les informations, et les comparer à la modélisation suivante.

Fonctionnement de l'outil

Ce paragraphe développe plus en profondeur le fonctionnement de l'outil, et notamment la page *Optimisation ration VL*. Il n'est pas nécessaire de connaître ces informations pour une utilisation normale, mais il peut être utile à toute personne voulant modifier certains paramètres ou calculs.

1. Organisation de la feuille Optimisation ration VL

Pour appréhender cette feuille, voici un schéma de son organisation.



La ligne verte tout en bas (la ration journalière par période) est remplie automatiquement par Excel lors des optimisations, elle ne peut être modifiée par l'utilisateur.

Les aliments sont alignés en colonnes. Les aliments ont une colonne dans chaque période, ils ont donc chacun 3 colonnes.

Les contraintes fonctionnent ligne par ligne (ou par ensemble de 3 lignes quand il est nécessaire d'avoir le détail période par période). Il y a trois types de contraintes :

- Les contraintes du cahier de charges : autonomie de la ferme, 30% d'herbe dans les fourrages, 27% de concentrés maximum

- Les contraintes zootechniques : entre 21.5 et 23 kgMS par jour, pas plus de 3kg de céréales. Les contraintes zootechniques de quantité d’UFL et de PDI sont dans le tableau de *Caractéristiques des aliments* tout en haut.
- Les contraintes techniques : la surface totale, et les quantités maximums par aliment et par jour, pour diverses raisons.

Fonctionnement de ces contraintes :

Dans le grand tableau des contraintes, on associe à chaque aliment un 1 ou un 0 selon s’il est concerné ou non par la contrainte de cette ligne. Dans la colonne violette « somme », on calcule la somme des produits entre cette ligne de 1 et de 0 et la ligne des quantité d’aliment par jour par vache (ligne verte tout en bas). Ainsi, si l’aliment n’est pas concerné, il est multiplié par 0 : il n’est donc pas pris en compte dans la somme.

Cette somme est ensuite comparée aux valeurs minimales et maximales possible pour cette contrainte : pendant l’optimisation, Excel s’assure que toutes les constraints soient respectées.

Prenons en exemple la contrainte d’avoir 15% maximum de la ration qui peut venir de l’extérieur de la zone AOP.

Sur ce tableau simplifié, on regarde donc la ligne 29. Seul le tourteau de soja est importé hors de la zone : il est donc le seul aliment à avoir un 1 sur cette ligne.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3				Été/automne - 1er juillet/ 15 nov							Durée (j) : 137	Nb vaches 68					
4				Prairie paturée	Prairie ensilage/en rubannage	Prairie foin	Mais ensilage	Blé tendre CC0050	Orge CC0010	foin luzerne	Tourteau de Soja 48	T. de colza CX0040		Somme aij*Xij		Bi min	Bi max
28		lim importation hors EA		0	0	0	0	0	0	1	0	0	48417,51	0	129684,671		
29		lim importation hors zone		0	0	0	0	0	0	0	1	0	6510,33	0	77810,8027		
30		d'herbe dans les fourrages proseccos	Hiver Printemps										0,00	5,44	999		
31	Contraintes du cahier des charges		Été/automne	1	1		1			1			0,00	6,45	999		
32		Limites quantités concentrés	Hiver Printemps										0,00	0	5,89342181		
33			Été/automne										0,00	0	5,805		
34		Limites quantités ingérées	Hiver Printemps										0,00	21,5	23		
35			Été/automne				1	1			1	1	34458,33	0	5,805		
36		Limites quantité de céréales	Hiver Printemps										0,00	0	3		
37	Contraintes zootechniq ues		Été/automne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	203344,88	21,5	23		
38			Hiver										0,00	0	3		
39			Été/automne				1	1					0,00	0	3		
40		Surface pour la ferme (ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0	3		
41		Quantité MS max (kg MS)		999	999	999	0	0	0	0	0	0	0,00	0	3		
42	Contraintes techniques															PCO max :	0,27
43																	
44																	
45	Compositio n de la ration	Xij (kg de MS/j/vache)		0	0	5	7	3	0	5	1	0					
46																	
47																	

Dans la colonne N, on fait la somme des produits entre la ligne 46 et la ligne 29 :

$$0*0+0*0+5*0+7*0+3*0+0*0+5*0+0*1 = 1$$

On multiplie ce résultat par le nombre de vache et par jour :

$$1*137*68 = 9316$$

On additionne ensuite les valeurs des deux autres périodes de l’année, et on trouve le total des aliments importé : **48 417,51**.

Les limites des contraintes sont indiquées dans les cases P29 et Q29 : le minimum vaut 0 (atteint quand tous les aliments sont produits sur l'aire) et le maximum vaut 129 684 kg (soit 15% de la quantité totale d'aliments distribués à toutes les vaches sur toute l'année). On a bien dans la colonne N un résultats compris entre les valeurs minimales et maximales.

L'outil fonctionne de la même manière pour toutes les contraintes des lignes suivantes.