



Automatisation de l'alimentation en élevage bovin

- Etat des lieux et description des différentes options
- Conséquences sur la conception des bâtiments
- Impacts techniques et financiers

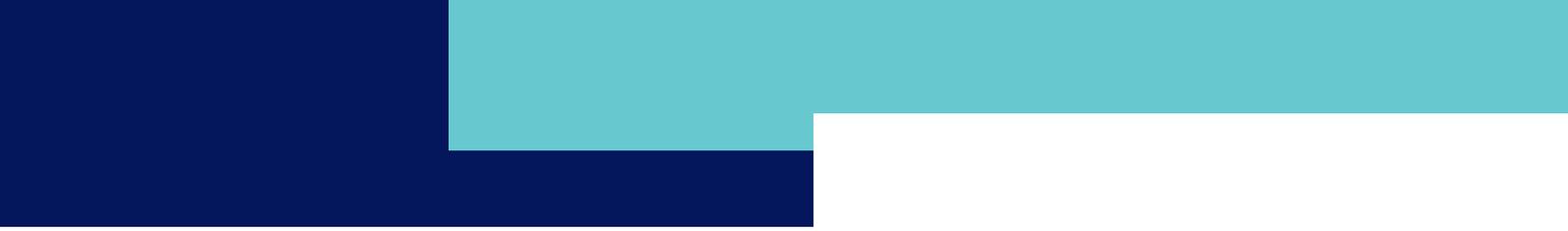


Avec la collaboration de :



Avec la participation financière :





Sommaire

1 • INTRODUCTION	4	9.2 - Temps de gestion des refus dans l'auge	39
2 • CONTEXTE	5	9.3 - Moins de pénibilité	39
3 • LIMITES DE L'ETUDE	6	9.4 - Plus de flexibilité et facilité de remplacement notamment le week-end	39
4 • LES DIFFERENTES FAMILLES DE MATERIELS	7	9.5 - Conclusion sur le travail et proposition d'une démarche d'évaluation du gain de temps	39
5 • L'AUTOMATISATION DE L'ALIMENTATION, ETAPE PAR ETAPE	9	10 • CONSOMMATION D'ENERGIE DES SYSTEMES ROBOTISES D'ALIMENTATION	40
5.1 - Les stockages primaires des fourrages	10	10.1 - Différentes sources d'énergie selon l'automate	40
5.2 - Approvisionnement de la cuisine en ensilage (vrac ou en cube), en foin, en concentrés et en minéraux	10	10.2 - Les automates sur roues alimentés sur secteur	41
5.3 - Stockage intermédiaire dans la cuisine	11	10.3 - Les automates sur roues alimentés par GNR	41
5.4 - Confection de la ration dans l'automate de distribution ou dans une mélangeuse fixe	13	10.4 - Les automates sur roues alimentés par batterie(s)	41
5.5 - Distribution de la ration : caractéristiques et tâches effectuées par l'automate de distribution	13	10.5 - Consommation et coût de l'énergie	41
6 • ELEMENTS DE CONCEPTION DE LA CUISINE	15	11 • ASPECTS ECONOMIQUES, COÛTS	44
6.1 Implantation	15	11.1 - Les coûts d'investissements	44
6.2 Orientation et exposition de la cuisine	16	11.1.1 - Composition des coûts d'investissement	44
6.3 Choix des matériaux	16	11.1.2 - Coût des équipements	44
6.4 Aménagement intérieur des cuisines	18	11.1.3 - Autres coûts d'investissements induits par le choix d'un robot de distribution	44
6.5 Dimensionnement de la cuisine	20	11.1.4 - Comment réduire les coûts induits ?	45
6.5.1 Dimensionnement des cuisines avec tables et stockeurs	20	11.1.5 - Gains économiques induits par la robotisation de l'alimentation	46
6.5.2 Dimensionnement des cuisines avec stockage des fourrages au sol	21	11.2 - Les coûts de fonctionnement	48
7 • CIRCULATION DE L'AUTOMATE DE DISTRIBUTION	23	11.3 - Modélisation des coûts de l'automatisation de l'alimentation	48
7.1 Cas des automates suspendus sur rail	23	11.3.1 - Modélisation des coûts d'investissements	48
7.2 Cas des automates sur roues	25	11.3.2 - Modélisation des coûts de fonctionnement	49
7.3 Problématique des portails	26	11.3.3 - Modélisation du coût total annuel	50
7.4 Critères de choix entre les automates sur roues et ceux suspendus sur rail	26	11.4 - Comparaison des coûts de l'automatisation de l'alimentation avec d'autres modes de distribution les plus courants	52
7.5 Faut-il réduire la largeur des couloirs d'alimentation ?	27	12 • AUTOMATISATION DE LA TRAITE OU DE L'ALIMENTATION : CRITERES DE CHOIX	53
8 • ROBOTISATION ET CONSEQUENCE SUR L'ALIMENTATION ET LE COMPORTEMENT DES ANIMAUX	28	12.1 - Main d'œuvre / temps de travail	53
8.1 - Quel intérêt alimentaire à multiplier le nombre d'ingrédients dans une ration (fourrages, concentrés...) ? Quel lien avec l'automatisation de l'alimentation ?	28	12.2 - Pénibilité du travail	53
8.2 - Quelle gestion des refus ou inconsommables ?	29	12.3 - La taille du troupeau	53
8.3 - Quels sont les effets d'une fréquence élevée de la distribution ?	29	12.4 - Complexité de la ration et nombre de rations	53
8.4 - Quelle fréquence de réapprovisionnement de la cuisine selon le mode de désilage ?	32	12.5 - Souplesse dans le travail	54
8.5 - Y a-t-il des points de vigilance des automates vis-à-vis de l'alimentation ?	36	12.6 - Vétusté de la salle de traite et/ou du matériel de distribution	54
8.6 - Comment gérer les périodes intermédiaires avec accès partiel au pâturage ?	36	12.7 - Organisation des bâtiments	54
9 • TRAVAIL : TEMPS, PENIBILITE, SOUPLESSE	36	12.8 - Temps de présence des animaux en bâtiment	54
9.1 - Temps de travail (hors entretien de l'auge)	36	13 • ENTRETIEN DU MATERIEL & DUREE DE VIE DES PIECES	55
9.1.1 - Approvisionnement de la cuisine	37	13.1 - Type de contrats proposés	55
9.1.2 - Nettoyage de la cuisine	37	13.2 - Principales interventions de maintenance selon les marques et pièces d'usure	55
9.1.3 - Entretien du matériel	37	13.3 - Durée de vie et voies d'amélioration possible	56
9.1.4 - Programmation des rations	37	14 • SECURITE	57
9.1.5 - Temps total	38	14.1.1 Cuisine et sécurité	57
9.1.6 - Comparaison du temps avec une chaîne d'alimentation non robotisée	38	14.1.2 L'automate et son déplacement	58
		15 • CONCLUSION	60
		16 • Références bibliographiques citées	61
		17 • ANNEXES	62

1 • INTRODUCTION

L'automatisation de l'alimentation des élevages bovins permet de faciliter et de limiter le travail d'astreinte journalier. Elle accompagne souvent l'agrandissement de ces élevages, en particulier ceux qui ont des rations complexes et variées pour différents lots d'animaux et pour lesquels la main d'œuvre est limitante.

Après la mise au point et le développement du robot de traite, l'automatisation de l'alimentation est un sujet d'actualité avec des innovations très récentes y compris chez des fournisseurs français.

Ces équipements sont coûteux en investissement par rapport aux solutions les plus répandues, désileuse tractée, automotrice en CUMA... mais permettent, de réduire le temps et la pénibilité de travail, de mieux adapter la ration à des lots spécifiques, et d'augmenter la fréquence des apports.

L'installation de ces équipements a des incidences sur les bâtiments en termes de conception, de dimensionnement et d'implantation, d'organisation des circuits, de surveillance... En plus du choix de l'automate d'alimentation et de ses fonctionnalités, se pose également la question de son intégration cohérente dans les bâtiments d'élevage neufs ou existants.

Le terme générique de « Robot d'alimentation » recouvre une multiplicité de modèles, d'équipements et de types de fonctionnement. Le choix de tel ou tel équipement a des conséquences non négligeables sur la disposition des espaces et des éléments qui le composent.

Il faut tout d'abord choisir un équipement en fonction de la situation existante : le positionnement des silos, l'éclatement ou non du troupeau dans des bâtiments séparés, l'existence de pentes, la présence de bâtiments déjà construits et réutilisables pour la cuisine...

Certains équipements nécessitent la création d'un bâtiment spécifique appelé « cuisine » pour entreposer les composants de la ration en particulier les fourrages pour une durée plus ou moins limitée. Le positionnement de ce bâtiment doit être réfléchi au mieux pour s'intégrer naturellement dans le circuit d'alimentation et limiter le temps d'approvisionnement. Sa conception et son dimensionnement doivent respecter des règles précises.

Mais ces nouveaux équipements ne sont pas adaptés techniquement et financièrement à toutes les situations. Avant d'opter pour ces techniques, il faut se poser les bonnes questions. Que peuvent réellement apporter ces nouvelles techniques en termes d'alimentation, de résultats techniques du troupeau, de gain de temps et d'énergie... Enfin, quels impacts financiers auront-elles sur les résultats de l'exploitation ?

2 • CONTEXTE

L'automatisation de l'alimentation est un concept largement répandu dans les pays d'Europe du Nord depuis les années 70, voire avant en Amérique du Nord. Là-bas les troupeaux ont un temps de séjour en bâtiment important qui peut justifier des niveaux d'investissement élevés. Au contraire en France et jusqu'à une période récente, la taille modérée des troupeaux et la prédominance des systèmes d'élevage avec beaucoup de pâturage n'étaient pas en faveur du développement de l'alimentation automatisée. Mais depuis les années 2000, l'augmentation de la taille des troupeaux, les contraintes de main d'œuvre et les coûts d'alimentation croissants avec la diminution du pâturage ont changé la donne. Les premiers robots d'alimentation ont été présentés au SPACE en 2012. Aujourd'hui, au moins douze constructeurs proposent leur matériel sur le marché français pour automatiser l'alimentation des bovins. Il s'agit non seulement d'équipementiers traditionnels de la distribution des fourrages, mais aussi de la robotisation de la traite.

En 2018, environ 160 exploitations bovines étaient équipées de robots d'alimentation en France dont 75 dans l'Ouest (chiffres communiqués par les constructeurs rencontrés lors de l'étude).

Chaque année des nouveautés sont régulièrement proposées. Des tendances ou des évolutions se dégagent actuellement : développement des robots de distribution

sur roues avec batteries au détriment de ceux sur rail, proposition en 2019 de solutions hybrides sur roues avec rail de guidage et d'alimentation électrique (marque Trioliet), automatisation du désilage dans les silos couloirs (marques Wasserbauer).

Tous ces indicateurs montrent que ce marché a un potentiel de croissance dans un contexte où les agriculteurs recherchent plus de technologies de précision, un gain de temps et de meilleures conditions de travail (pénibilité, flexibilité). L'automatisation de l'alimentation s'intègre également et potentiellement dans une démarche « bas carbone » et de réduction des impacts environnementaux.

Cependant, dans un contexte de volatilité des prix du lait et de la viande, il est plus que nécessaire de maîtriser les coûts de production. Un projet d'automatisation de l'alimentation nécessite donc une étude économique poussée en le comparant à d'autres solutions. Mais, il est logique aujourd'hui dans les grands troupeaux laitiers peu pâturant de se poser la question de l'automatisation de l'alimentation comme celle de la traite en particulier lorsque les équipements existants deviennent obsolètes ou qu'un projet d'aménagement du bâtiment est envisagé. Dans ces grands troupeaux, la question peut aussi être un choix stratégique entre automatiser l'alimentation OU la traite.

3 • LIMITES DE L'ÉTUDE EN TERMES D'ÉQUIPEMENTS ÉTUDIÉS

L'alimentation des troupeaux bovins est composée de plusieurs tâches qui peuvent être robotisées. Dans la majeure partie des solutions techniques proposées aujourd'hui, seule une partie de ces tâches est automatisée. Il est donc nécessaire de mieux définir ce qu'est l'alimentation automatisée.

Le cadre de notre travail se limite aux équipements proposant une préparation et une distribution automatiques de la ration constituée avec les fourrages. C'est pour cela par exemple que les Distributeurs Automatiques de Concentrés (DAC) n'ont pas été intégrés à l'étude.

Il existe sur le marché des techniques de distribution avec tapis au niveau de l'auge. Mais ces équipements très spécifiques et surtout présents essentiellement en élevage de petits ruminants n'ont pas été traités dans cette étude.

L'utilisation de silos-tour pour le stockage du fourrage en remplacement des silos d'ensilage à plat apporte un niveau d'automatisation supplémentaire puisqu'ils permettent d'éviter le stockage intermédiaire dans une cuisine. L'automate de distribution qui fait alors également le mélange de la ration vient s'approvisionner automatiquement au niveau des différents silos. Cette solution très intéressante puisque à 100 % automatisée est cependant beaucoup plus coûteuse, ce qui explique son très faible développement sur le territoire français. Comme notre étude est basée sur des enquêtes et que les silos tour sont peu représentés (seuls deux élevages en alimentation automatisée répertoriés dans le grand ouest en sont équipés), ils n'ont pas non plus été intégrés à l'étude.



4 • LES DIFFÉRENTES FAMILLES DE MATÉRIELS

L'alimentation robotisée recouvre une multiplicité de fonctionnement et de niveau de robotisation qui ont été regroupés par « familles ». Toutes permettent une distribution robotisée de la ration, et disposent

généralement d'un lieu de stockage intermédiaire des fourrages, la cuisine, à partir de laquelle sont constituées automatiquement les rations désirées.

Six familles principales sont ici proposées.

Tableau 4.1 : Synthèse du fonctionnement des options d'alimentation robotisée regroupés par famille et par mode de locomotion de l'automate de distribution

Famille	Schéma explicatif du fonctionnement de chaque famille (idéogrammes)	Option automate de distribution	Marque
A		sur rail	GEA, Kuhn, Rovibec, Trioliet
		sur roues	Trioliet, Rovibec
B		sur roues	Lely
C		sur rail	GEA, Kuhn, Trioliet, Delaval, Rovibec
		sur roues	Jeantil, Trioliet, Delaval, Cormall
		sur tapis	Cormall
D		sur rail	DeLaval, GEA
		sur roues	Delaval, Jeantil, Lucas
E		sur rail	Altec
		sur roues	Altec
F		sur roues	Wasserbauer

S1 : Stockage primaire des fourrages (silos d'ensilage, hangar fourrage, enrubannage)

S2 : Stockage intermédiaire des fourrages au sol, en stockeur (vrac) ou sur table (cube)

M : Mélange

D : Distribution

M+D : mélange et distribution effectués par l'automate,

 : approvisionnement de l'ensilage dans la cuisine en vrac exclusivement,

 : approvisionnement de l'ensilage dans la cuisine en vrac ou au dessil'cube

 : Cuisine couverte

Le tableau 4.1 illustre les familles de matériels aujourd'hui présents sur le marché et précise les marques qui les proposent. L'annexe 1 présente le schéma de fonctionnement détaillé des options robotisées proposées par chacune des marques présentes aujourd'hui sur le marché.

Les robots étudiés nécessitent tous l'utilisation d'une « cuisine », lieu de stockage intermédiaire des fourrages et autres ingrédients de la ration. L'agriculteur l'approvisionne avec les différents ingrédients de la ration qui, une fois mélangée, est distribuée automatiquement par l'automate.

La principale différence concerne la phase de constitution de la ration :

- soit la ration est mélangée dans une mélangeuse fixe qui peut être alimentée en fourrages par l'éleveur (famille C), ou automatiquement à partir des fourrages entreposés dans la cuisine (famille D),
- soit le mélange est assuré par l'automate mobile qui assure également la distribution de la ration (familles A, B et F).

Une autre différence vient du type de stockage des fourrages dans la cuisine. Les fourrages peuvent être stockés dans des cellules spécifiques (A, D et E), ou être stockés au sol dans une cuisine (B). Les termes utilisés pour qualifier ces cellules par les différentes marques étant différents, nous appellerons dans cette synthèse :

- « stockeurs », les cellules de stockage fermées sur 4 côtés dédiées au fourrage en vrac,
- « tables », les cellules de stockage fermées sur 3 côtés adaptées aux fourrages maintenus en cube.

Une autre différence majeure réside dans le mode de locomotion de l'automate de distribution. Trois modèles sont disponibles actuellement :

- les automates suspendus sur rail, alimentés sur secteur,
- les automates sur roues, plus souples d'utilisation mais moins autonomes, car fonctionnant sur batterie,
- les automates sur roues alimentés électriquement par un rail léger qui sert aussi de guide.

Les 2 premières options se retrouvent quasiment dans toutes les familles. La troisième n'a été développée que dernièrement par deux sociétés : Trioliet et Rovibec. Option hybride, elle permet d'allier la souplesse des roues à une alimentation électrique performante. La comparaison des avantages et limites de ces solutions est abordée dans le chapitre 7.

La famille F n'est, à ce jour, pas représentée dans des élevages français. Une seule marque (Wasserbauer) la propose depuis septembre 2019, avec quelques projets en cours d'étude. C'est un système totalement automatisé où la phase de dessilage est effectuée par un automate spécifique fixe positionné dans chaque silo ouvert. Le robot d'alimentation, quant à lui, collecte les ingrédients constituant la ration, mélange et distribue la ration. La nécessité de la cuisine n'est pour autant pas totalement évitée puisque minéraux concentrés et fourrages secs doivent continuer à être entreposés dans une cuisine. Sa surface sera toutefois plus limitée.

Par ailleurs, le constructeur hollandais Schuitemaker a développé un équipement 100% automatisé qui, par le même automate, dessilait, réalisait la ration et la distribuait. Cet équipement présenté au SPACE en 2014 n'a pas encore été commercialisé sur le sol français.

5 • L'AUTOMATISATION DE L'ALIMENTATION, ÉTAPE PAR ÉTAPE

Il existe plusieurs modes de fonctionnement et de niveaux de robotisation mais tous suivent le schéma de principe présenté ci-dessous.

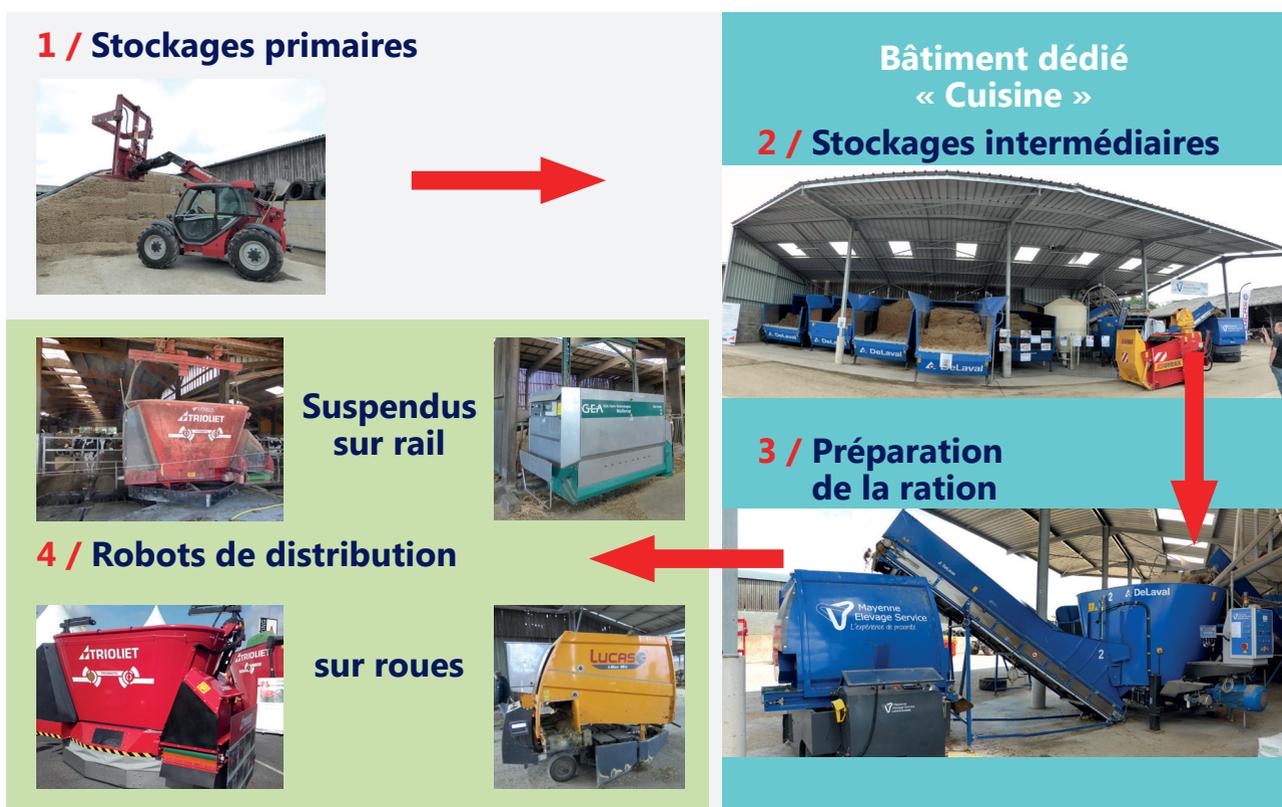


Figure 5.1 : Schéma de principe du mode de fonctionnement de l'automatisation de l'alimentation

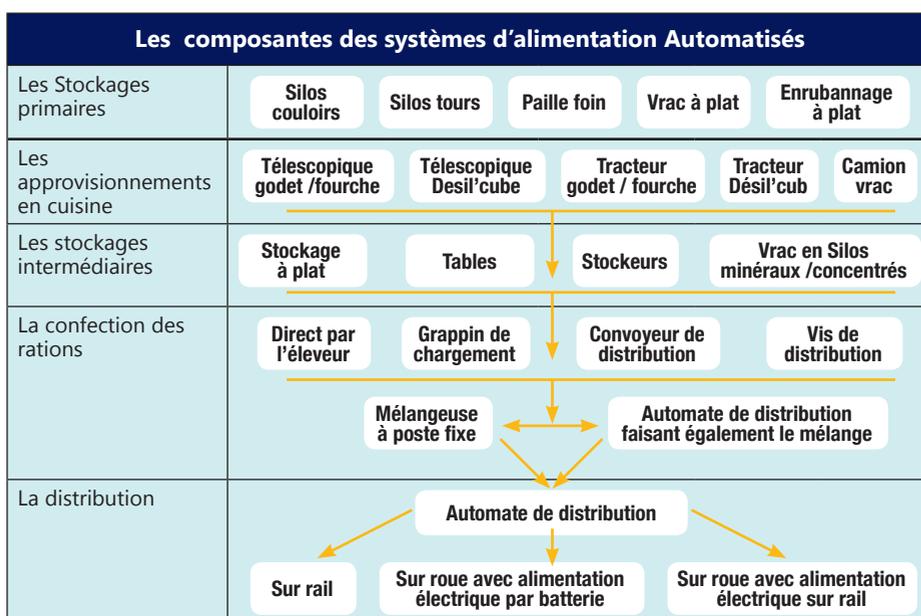


Figure 5.2 : Schéma de principe des différents éléments composants de l'automatisation de l'alimentation

La figure 5.2, quant à elle, précise les différents éléments potentiellement présents aux différentes étapes de l'automatisation de l'alimentation. Ils sont détaillés dans ce chapitre.

5.1 Les stockages primaires des fourrages

Le stockage primaire correspond à la zone de stockage initiale des fourrages grossiers. On le distingue du stockage secondaire (cuisine), nécessaire dans la plupart des options d'alimentation robotisées pour constituer les différentes rations.

Les stockages primaires peuvent être de plusieurs types :

- Silos couloirs béton.
- Silos tours.
- Stockage en bottes sous hangar (foin, paille,...).
- Stockages à plat (enrubannage, betteraves,...).
- Stockage sur pied (herbe pour affouragement en vert).

L'automatisation, de par ses objectifs qualitatifs, exige une attention particulière sur les conditions de récolte et de confection de l'ensilage dans les silos couloirs (voir partie 8). La forme du silo est aussi importante, d'autant plus si on utilise un dessil'cube pour stocker l'ensilage dans la zone de stockage tampon (la cuisine) sous forme de cubes qui permettent de gagner sur la durée de conservation de l'ensilage. On privilégiera dans ce cas des silos de formes carrées et une largeur et hauteur adaptées aux dimensions des cubes pour optimiser la découpe.



Photo 5.1 : Bien concevoir son silo pour une reprise avec un dessil'cube

Pour le stockage des fourrages secs, l'alimentation automatisée accepte aussi bien des bottes rondes que des bottes carrées stockées dans de bonnes conditions. Par contre, les stockages extérieurs en meules sous bâches sont à proscrire notamment pour des problèmes de qualité de conservation.

Les espaces de stockage à plat des bottes d'enrubannage et de betteraves doivent être adaptés pour préserver le fourrage et optimiser l'accessibilité (zones stabilisées, propres).

5.2 Approvisionnement de la cuisine en ensilage (vrac ou en cube), en foin, en concentrés et en minéraux

L'automatisation de l'alimentation requiert l'existence d'une zone de stockage tampon appelée communément « cuisine ». Elle doit être régulièrement approvisionnée par l'éleveur depuis la zone de stockage primaire des fourrages. A ce jour seul le robot de la marque Wasserbauer (Famille F) permet d'éviter ce travail à l'éleveur puisque le robot va lui-même s'approvisionner en ensilage depuis les silos couloirs.

L'approvisionnement des fourrages grossiers dans la cuisine peut être réalisé de deux manières différentes :

- Le vrac : l'éleveur approvisionne des stockeurs avec un godet (tracteur ou télescopique). La fréquence d'approvisionnement va d'une fois par jour à tous les 2 jours. En période estivale, il est fortement recommandé d'approvisionner les stockeurs au moins une fois par jour pour éviter les montées en températures du fourrage qui dégraderaient la qualité de la ration. Le godet ou la benne multiservice sont les plus utilisés. Les godets à mâchoires tranchantes (photo ci-dessous) permettent le découpage de blocs compacts ; ils sont plus onéreux à l'achat mais offrent plusieurs avantages (netteté du front de silo, produit peu détassé, meilleure valorisation du volume des stockeurs).
- Le cube qui nécessite un équipement spécifique : « le dessil'cube ». Cet outil peut être attelé à l'arrière d'un tracteur, sur un chargeur frontal, sur le relevage avant ou sur un télescopique. Le cube préserve davantage le fourrage d'une reprise des fermentations et permet une plus longue conservation dans la cuisine.

La cuisine doit être également accessible aux camions pour la livraison des concentrés et/ou des minéraux stockés en silos.



Photo 5.2 : Approvisionnement des fourrages grossiers : à gauche Godet à mâchoires tranchantes, à droite Dessil'cube fixé sur le chargeur du tracteur
source: Photo Redrock

5.3 Stockage intermédiaire dans la cuisine

La « cuisine » est le terme générique employé pour désigner les stockages intermédiaires. Sa dimension dépend de la taille du troupeau, des rations distribuées et de la périodicité de réapprovisionnement des fourrages grossiers.



Photo 5.3 : Cuisine avec stockage du fourrage grossier au sol

Il existe deux conceptions différentes pour le stockage intermédiaire des fourrages grossiers :

- Le stockage au sol de cubes d'ensilage et des bottes de fourrage sec (bottes carrées et rondes) avec reprise par griffe. A ce jour, seule la marque Lely propose ce concept (famille B). La cuisine est organisée par zones pour permettre de stocker, au minimum, les besoins de 4 jours d'alimentation (2 approvisionnements/semaine, soit 3 et 4 jours). Des espaces sont nécessaires entre les produits pour assurer une circulation d'air, gérer les éboulements et favoriser un bon positionnement du grappin de chargement.
- Le stockage sur table et/ou stockeurs avec reprise par convoyeur ou par l'automate de distribution (familles A, D et E).

Les tables

Il s'agit de tables ouvertes du côté de l'approvisionnement avec des parois latérales sur les trois autres côtés, qui sont adaptées au stockage des cubes d'ensilage de maïs ou d'herbe. Ces parois servent à guider le fourrage poussé vers les démêleurs par un fond mouvant fonctionnant avec des « chaînes et barrettes » simples (2 chaînes) ou doubles (4 chaînes).

La dimension des tables (tableau 5.1) est à adapter aux volumes et aux types de fourrages nécessaires pour constituer les rations. Elle varie en fonction de la taille du troupeau et de la périodicité de réapprovisionnement des fourrages grossiers souhaitée par l'éleveur.

Les tables sont disposées à plat ou en pente pour alimenter un convoyeur qui achemine le fourrage vers une mélangeuse fixe ou directement vers l'automate mélangeur/distributeur.

Selon les constructeurs, les tables sont équipées de pesons, de lubrificateurs automatiques et de parois en acier ou en matériaux composites.



Photo 5.4 : Table Exemple de table DeLaval

Tableau 5.1 :
Eléments indicatifs de dimensions des tables

Dimensions	mini	maxi
A : largeur (1)	2 m	2,65 m
B : Longueur compris démêleurs (1)	3 m	12 m
C : Hauteur pied compris (1)	2,50 m	3,10 m

(1) Voir photos 5.6



Photo 5.5 : Tables jointives de la marque Trioliet pour une plus grande compacité

Les stockeurs

Ce sont des « tables » fermées sur 4 côtés, avec des parois plus hautes pour stocker du fourrage en vrac (ensilage maïs, ensilage d'herbe,...) à fond mouvant à « chaînes et barrettes » simples (2 chaînes) ou doubles (4 chaînes). Leurs dimensions sont indiquées dans le tableau 5.2.

Certains stockeurs sont disposés à plat pour alimenter un convoyeur (Jeantil, LucasG, Trioliet...), d'autres plus en pente (GEA, Khun, ...) alimentent directement l'automate.

Selon les constructeurs, les stockeurs sont équipés de pesons, de lubrificateurs automatiques et de parois en acier ou en matériaux composites.



Photo 5.6 : Exemple de stockeurs Jeantil qui se chargent par le haut

Tableau 5.2 : éléments indicatifs de dimensions des stockeurs

Dimensions	mini	maxi
A : largeur (1)	2 m	2,70 m
B : Longueur compris démêleurs (1)	3 m	10 m
C : Hauteur pied compris, au point le plus bas si stockeur incliné (1)	2,40 m	3,10 m
Inclinaison	0	30°

(1) Voir photos 5.8

Les équipements spécifiques pour les fourrages secs en brins longs (foin, paille...)

Il existe plusieurs concepts, des tables à fond mouvant à « chaînes et barrettes » simples (2 chaînes) ou doubles (4 chaînes) sans parois latérales, avec 2 ou 3 rouleaux démêleurs.

Dans les tables avec démêleurs, les brins longs sont acheminés par le convoyeur dans la mélangeuse à poste fixe où ils sont plus ou moins recoupés. La dimension de ces tables est quasiment identique à celles utilisées pour stocker l'ensilage.



Photo 5.7 : Table à foin de marque Jeantil



Photo 5.8 : Découpe fourrage mobile à la sortie des tables Trioliet

Les sociétés Rovibec et Khun proposent un équipement spécifique pour le foin compatible avec les balles rondes ou carrées qui permet de couper et d'amener le fourrage, directement dans l'automate de distribution. Le tableau 5.3 présente quelques-unes de leurs caractéristiques.

Les tables Trioliet n'ont pas de démêleur mais une double-lame circulaire positionnée en bout de table qui coupe les fibres en alimentant le convoyeur (photo 5.8).



Photo 5.9 : Distrifoin de chez Rovibec



Photo 5.10 : Combicutter de chez Khun

Tableau 5.3 : exemple de dimensionnement d'équipements spécifiques au stockage des fourrages grossiers.

	Rovibec cuve standard + trémie de chargement	Rovibec cuve double + trémie de chargement	Kuhn (table)
Modèle	Distrifoin	Distrifoin	K2 Combicutter
Volume de stockage	NC	NC	3,6 m ³
Largeur	2,44 m	2,44 m	1,60 m
Longueur	2,44 m	2,44 m	3,42 m
Hauteur, pied compris	2,9 m	3,73 m	1,58 m

Stockage des concentrés et des minéraux

Il existe des silos sur pied en polyester ou en acier équipés de vis reliées à la mélangeuse ou directement à l'automate de distribution. Les concentrés sont pesés par la mélangeuse ou par l'automate. La quantité de minéraux, trop faible à évaluer par pesée, est déterminée par le temps et le débit de la vis ou de la chaîne à godet d'alimentation de la mélangeuse ou de l'automate.



Photo 5.6 : Trémies à minéraux

5.4 Confection de la ration dans l'automate de distribution ou dans une mélangeuse fixe

Il y a plusieurs niveaux d'automatisation pour la confection de la ration. Elle peut être préparée par l'éleveur lui-même depuis le stockage primaire directement dans une mélangeuse fixe (famille C). Mais dans la majorité des situations, elle est préparée par un robot depuis les stockages secondaires soit dans une mélangeuse à poste fixe (famille D), soit par l'automate de distribution lui-même (familles A, B et F). Le tableau 5.4 précise les dimensions des mélangeuses fixes.

Les différents aliments sont alors généralement apportés par un convoyeur (tapis ou convoyeurs à chaînes et barrettes) disposé à l'arrière des tables ou des stockeurs. On trouve également des équipements sans convoyeur où l'automate de distribution (en général sur rail) se déplace et s'approvisionne sous chaque stockeur et fait ensuite son mélange.

Un seul constructeur propose un chargement de l'automate de distribution par une griffe (famille B). Cette dernière se déplace dans la cuisine, soit sur un portique, soit sur un rail suspendu, et prend la quantité d'aliments paramétrée en amont.



Photo 5.12 : Griffes de chez Lely qui alimentent l'automate en attente dans la cuisine



Photo 5.13 : Mélangeuse fixe Delaval équipée d'une double sortie par convoyeur



Photo 5.14 : Automate Trioliet qui effectue le mélange et la distribution

Tableau 5.4 : Exemple de dimensionnement de mélangeuses fixes.

Volume	6 m ³	8 m ³	14 m ³
Largeur	3 m	2,30 m	2,57 m
Longueur	3 m	3,50 m	4,40 m
Hauteur, pied compris	1,60 m	2,20 m	2,72 m

5.5 Distribution de la ration : caractéristiques et tâches effectuées par l'automate de distribution

1^{ère} fonction : le transport

Les automates de distribution ont en général une capacité de chargement de 2 à 5 m³, exception faite de la marque Altec spécialisée dans la distribution de fourrages sec en vrac (foin) qui propose un volume de 8 à 35 m³.

Les automates de distribution sur roues (dimensions en tableau 5.5) alimentés par batterie ont une autonomie de déplacement de 10 à 18 h/jour. Les versions suspendues (dimensions en tableau 5.6) sont alimentées en direct par le rail. La vitesse de déplacement varie selon qu'ils sont en phase de distribution ou de déplacement de 2,5 à 7 km/h.

Pour les versions sur roues, l'automate peut être guidé par filoguidage (câble électrique positionné dans le sol tout au long du cheminement) ou par induction (plaques métalliques au sol).

2^e fonction : le mélange

On peut distinguer des automates de distribution qui assurent la fonction de mélange et d'autres qui ne font que la distribution.

Pour ceux qui mélangent, cette tâche se fait soit au chargement, soit pendant le déplacement, soit à la distribution à l'auge. A noter que certains font les deux continuellement.

3^e fonction : la distribution

L'automate distribue la ration par un tapis transversal, soit d'un seul côté, soit des deux côtés (droite et gauche).

Les différents lots sont repérés par des « pastilles » au sol (type puce RFID), par repérage optique ou grâce à des plaques au sol (induction).

Un seul mobile évalue la quantité d'ensilage qui reste dans l'auge et distribue en conséquence le complément nécessaire.

Le tableau 5.7 résume les modes de distribution selon les familles de robot et les marques.

Tableau 5.7 : descriptif des automates de distribution selon leur mode de cheminement (roues, rail, tapis) :

Famille	Altec	Cornall	DeLaval	GEA	Jeantil	Kuhn	Lely	Lucas	Rovibec	Trioliet	Valmétal	Wasserbauer
A				A		A			O A	O A		
B							O					
C		O T	O A	A	O	A			A	O A	O T	
D			O A	A	O			O				
E	O A											
F												O

4^e fonction : Le « repousse fourrage »

Chaque automate de distribution propose une fonction de « repousse fourrage » à chaque distribution d'aliment ou entre passage selon la programmation de l'éleveur.

On trouve plusieurs types de « repousse fourrage », à lame fixe, à brosses ou à jupe rotatives. Les matériels à lame fixe sont très fréquents mais peuvent poser des problèmes de pesée pour les automates sur rail (position des pesons).



Photo 5.15 : Repousse fourrage à brosses Kuhn

Tableau 5.5 :

Éléments de dimensionnement des automates sur roues

Dimensions mini/maxi des automates sur roues (m ³)	2,5 m ³	3,5 m ³	5,5 m ³
Largeur	1,2 - 1,8 m	1,26 - 1,6 m	1,7 - 2,5 m
Longueur	2,9 - 3,6 m	3,6 - 4 m	5 - 5,5 m
Hauteur	1,5 - 2,3 m	1,5 - 1,9 m	2 - 2,8 m

Tableau 5.6 :

Éléments de dimensionnement des automates sur rail

Dimensions mini/maxi des automates sur rail (m ³)	2,5 m ³	3,5 m ³	5,5 m ³
Largeur	1,2 - 1,8 m	1,45 - 1,6 m	1,6 m
Longueur	2,8 - 3,6 m	2,93 - 3,75 m	4,6 m
Hauteur	1,5 - 2,3 m	1,5 - 1,78 m	1,5 m



Photo 5.16 : Repousse fourrage à lame Lucas



Photo 5.17 : Repousse fourrage à jupe rotative Lely

6 • ÉLÉMENTS DE CONCEPTION DE LA CUISINE

La cuisine est l'un des éléments importants dans la chaîne de l'automatisation de l'alimentation. C'est un investissement qui vient s'ajouter à celui de l'automate de distribution. Son implantation et sa conception (dimensionnement, matériaux, ...) doivent être bien réfléchies pour optimiser les déplacements tout en limitant l'impact sur le logement des animaux, en particulier leur ventilation.

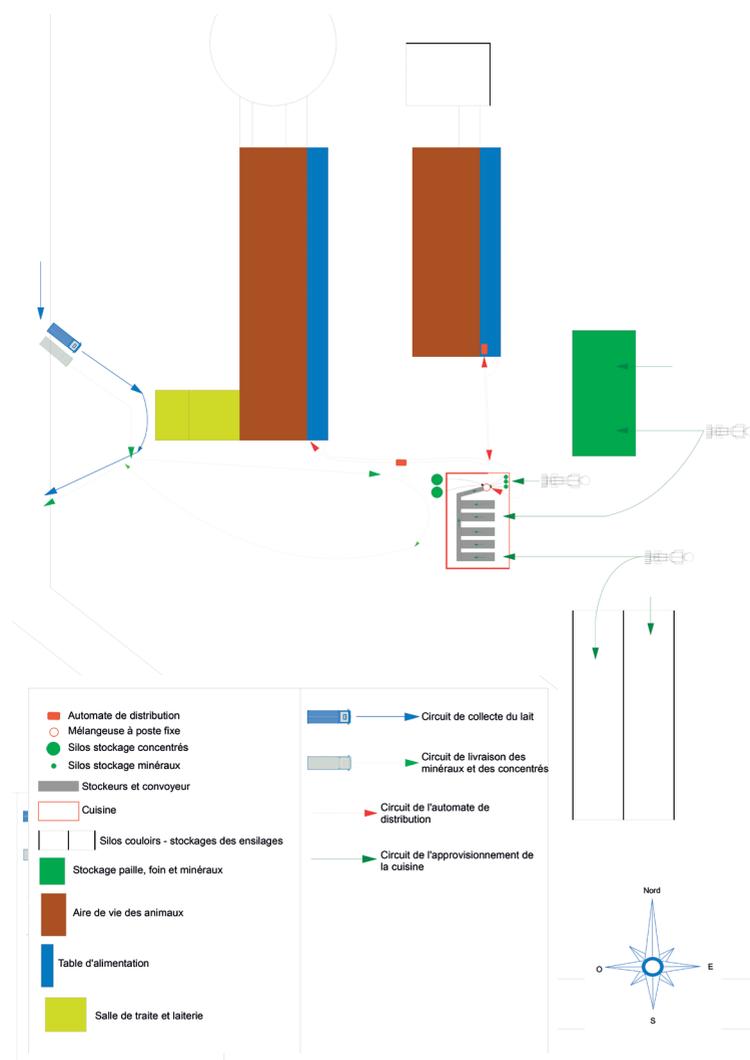


Photo 6.1 : Cuisine Trioliet collée à l'arrière de la stabulation pour vaches laitières et génisses

6.1 Implantation

La cuisine est le lieu de stockage intermédiaire (stockage secondaire) des différents composants des rations. Elle est située entre les ouvrages de stockage primaires des fourrages et les bâtiments de logement des animaux dans lesquels seront réalisées les distributions par l'automate. C'est également l'endroit où seront réalisés les mélanges. Ce bâtiment devra donc être placé non loin des silos et hangars fourrage et à proximité des bâtiments d'élevage concernés par l'automatisation. Elle devra également être accessible par les camions de livraison de concentrés et de minéraux.

Pour un vrai gain de temps pour l'éleveur, il faudrait privilégier un **positionnement de la cuisine près des silos** et des stockages de paille et de foin. En effet, il est préférable d'allonger le circuit du robot plutôt que celui du chargement de la cuisine par le tracteur depuis les silos. Cette proximité permettra également d'éviter des pertes de fourrages (effondrement de cube d'ensilage sur le parcours par exemple). Le schéma 6.1 propose un exemple de disposition de ce type dans le cas d'une cuisine indépendante du logement des animaux avec un automate de distribution sur roues.



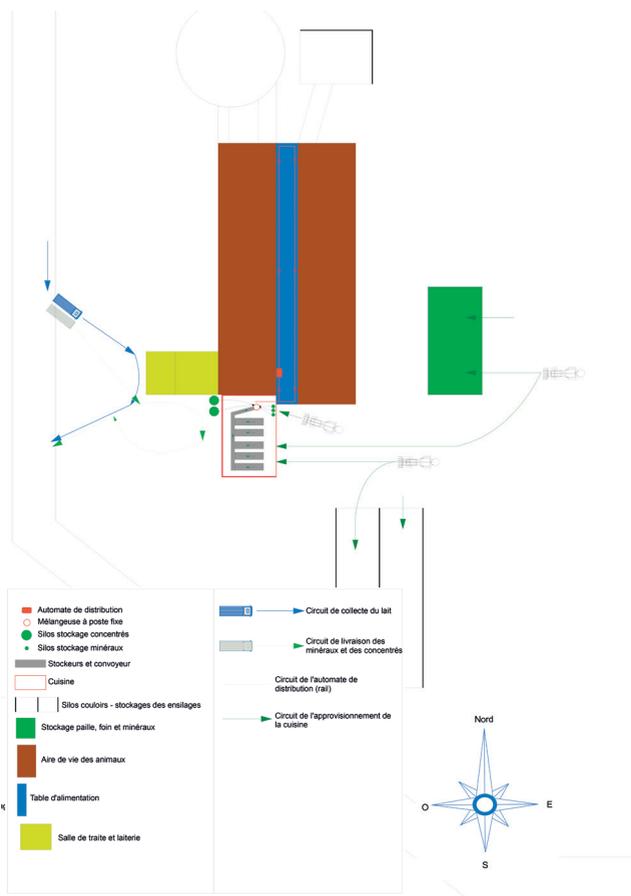
Plan 6.1 : Exemple de cuisine indépendante du logement des animaux avec un automate de distribution sur roues

On peut également envisager de coller la cuisine aux bâtiments d'élevage. Dans ce cas, la réalisation d'une paroi séparative entre les deux espaces est conseillée afin de limiter l'empoussièrement du bâtiment d'élevage contigu. Cette disposition de la cuisine permet de supprimer les circulations extérieures de l'automate et par conséquent est très adaptée à l'option rail. Il faudra cependant rester vigilant à ne pas perturber l'ambiance du bâtiment de logement des animaux (obstacle à la ventilation). Le Schéma 6.2 donne un exemple de cuisine jouxtant le logement et placée à proximité des silos et du hangar de stockage de la paille et des minéraux.

6.2 Orientation et exposition de la cuisine

Afin de permettre le chargement de la cuisine avec un tracteur équipé d'un chargeur frontal et/ou d'un dessil'cube, une façade devra être ouverte. Il convient donc d'orienter le bâtiment de manière à protéger cette façade des pluies et vents dominants (ouest à sud-ouest pour l'ouest de la France). Cette façade sera donc idéalement orientée Nord ou Est. Un rideau amovible ou des portails pourront être ajoutés à cette façade pour une protection plus efficace face aux intempéries et également afin d'éviter l'entrée des oiseaux dans cet espace de stockage.

Devant cette façade, un espace libre suffisant et stabilisé pour la manœuvre des engins agricoles lors du chargement et/ou du nettoyage de la cuisine sera nécessaire. Une distance minimale de 12 mètres est conseillée entre la cuisine et un obstacle (silos, bâtiments, ...).



Plan 6.2 : Exemple de cuisine joutant en pignon le logement des animaux avec un automate de distribution sur rail



Photo 6.4 : Les rideaux brise-vent amovibles équipent de plus en plus de cuisines



Photo 6.2 et Photo 6.3 : La cuisine, ici d'un élevage angevin, est installée sous un auvent dans le prolongement de la table d'alimentation. Elle comprend dans ce cas, un Combi Cutter qui stocke les balles et les intègre au wagon via un petit convoyeur et 2 trémies de 5 m³ pour les ensilages.

Les concentrés et minéraux seront stockés dans des silos extérieurs ou des cellules aménagées à l'intérieur. L'implantation de la cuisine devra permettre un remplissage aisé de ces ouvrages par un camion de livraison (silos), par un tracteur avec chargeur ou un télescopique.

6.3 Choix des matériaux

Charpente

La charpente pourra être métallique ou en bois. L'intérêt du métal est que l'encombrement de la charpente (section, bras de lien) sera moindre.

Cette charpente devra répondre aux contraintes particulières de la solution retenue. Par exemple, pour la famille B, la solution la plus répandue est l'installation d'un pont suspendu pour le déplacement du grappin dans la cuisine. La charpente sera donc dimensionnée en fonction des contraintes imposées par le pont et le grappin. De même, dans une solution d'automatisation avec un déplacement de l'automate de distribution sur rail, les contraintes techniques de suspension du rail seront à prendre en compte par le charpentier.

En fonction du type de stockage dans la cuisine (stockeurs, tables ou au sol), les largeurs des travées seront à adapter. La suppression d'un ou plusieurs poteaux en façade ouverte pourra être nécessaire de manière à faciliter le chargement.



Photo 6.5 : Cuisine avec tables et stockeurs Jeanfil et suppression d'un poteau pour accéder plus facilement aux stockeurs (ensilage en vrac)



Photo 6.6 : Cuisine Lely disposée en longueur avec fourrages entreposés au sol

Couverture

Deux matériaux peuvent être envisagés : le fibrociment ou le bac acier. Le bac acier devra être posé avec un feutre anti-condensation. Ce bâtiment doit être bien ventilé de manière à limiter l'empoussièrément. Le faitage sera donc ouvert, équipé d'une faîtière pare-vent avec un pare-pluie de manière à éviter les entrées d'eau (ou faitage décalé).

Dans des situations sombres (bâtiment fermé ou collé), il faudra privilégier une entrée de lumière naturelle par les côtés plutôt qu'en toiture afin d'éviter les risques d'échauffement des fourrages.

Parois

Un soubassement béton de 0,50 m de hauteur sera réalisé en pied de bâtiment. Ce soubassement est intéressant afin de ne pas descendre le bardage jusqu'au sol, faciliter le nettoyage du bâtiment et éviter toutes entrées d'eau depuis l'extérieur.

Dans le cas de stockage des fourrages à plat (famille B), le nettoyage du bâtiment peut être réalisé avec un tracteur équipé d'un chargeur. Dans ce cas, le muret béton pourra être élevé jusqu'à 1 mètre.

Les façades seront bardées avec des matériaux ventilant (tôles perforées, bois posé en claire voie, filet). Attention cependant à éviter les entrées d'eau pour les façades exposées à la pluie. Par exemple, la tôle ajourée sera proscrite en pignon ou en long pan ouest et sud. La cuisine est toujours poussiéreuse. Dans le cas de tôles perforées ou de filets brise-vent, un nettoyage régulier sera nécessaire. A contrario, un bardage bois n'offre que des avantages : il ne s'empoussièrera pas, laisse très peu passer la pluie et assure une parfaite ventilation, à condition qu'il soit bien posé (épaisseur des lames, espaces entre planches et nombre de lisses horizontales).

Sol

Le sol sera un radier béton. Une pente de 0,5 % vers la façade ouverte est conseillée de manière à évacuer vers l'extérieur les liquides éventuels (eaux de ruissellement, jus provenant de fourrages tels que de l'ensilage d'herbe, eaux de lavage...). Le radier lissé à l'hélicoptère est recommandé de manière à faciliter le nettoyage de la cuisine.

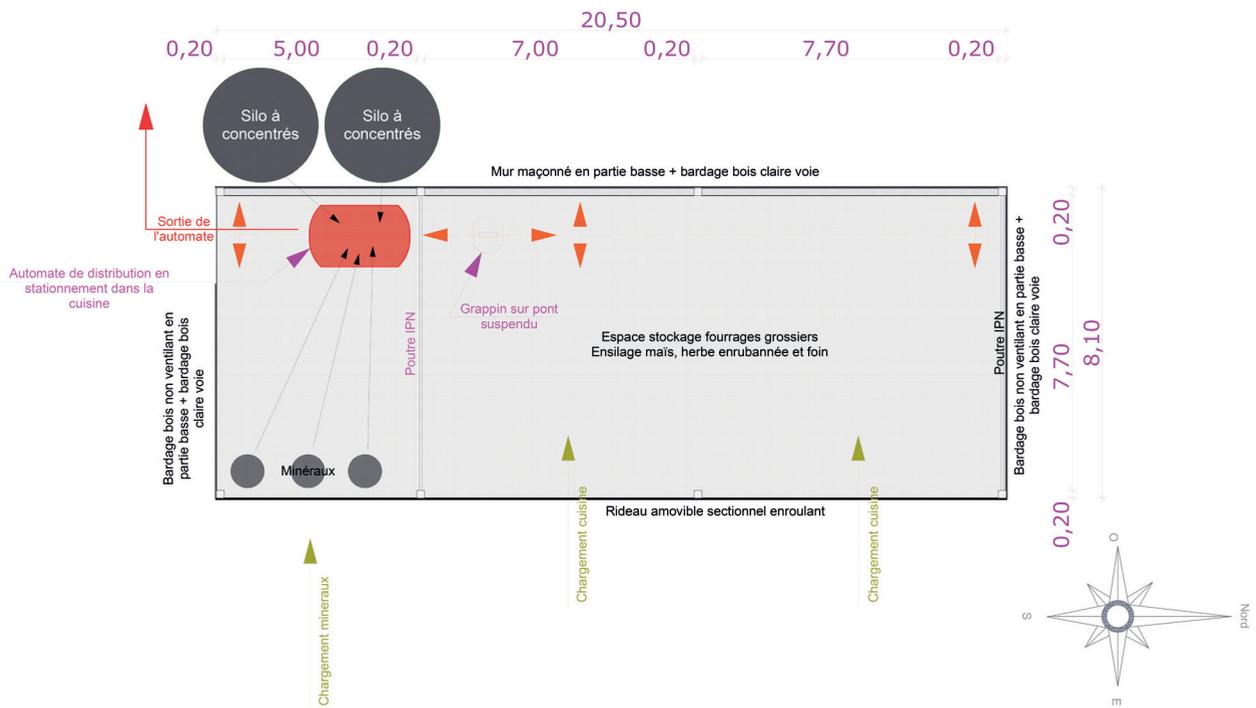


Photo 6.7 : Cuisine DeLaval : Accès de l'automate à la mélangeuse par le pignon Nord et façade Est totalement ouverte

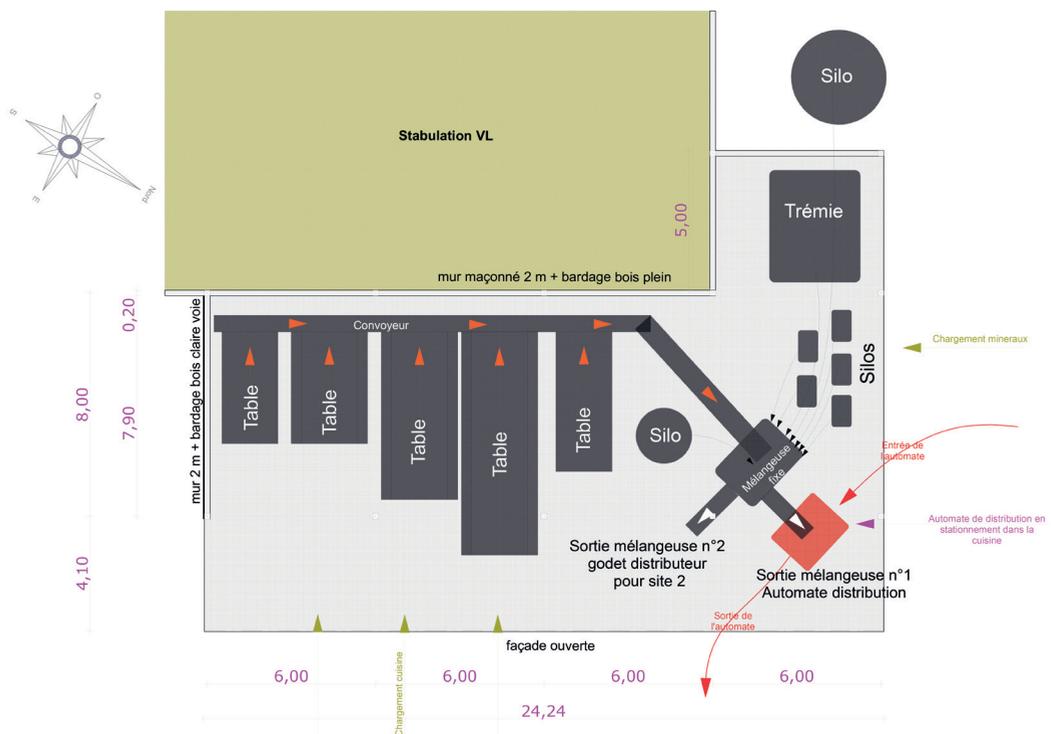
6.4 Aménagement intérieur des cuisines

Le plan d'aménagement des cuisines dépend avant tout de la famille à laquelle appartient le robot comme le montre les exemples de plans 6.3 à 6.6. Les autres paramètres sont les mêmes que ceux intervenants dans le dimensionnement des cuisines. Des contraintes extérieures liées à l'environnement de la cuisine et donc aux possibilités

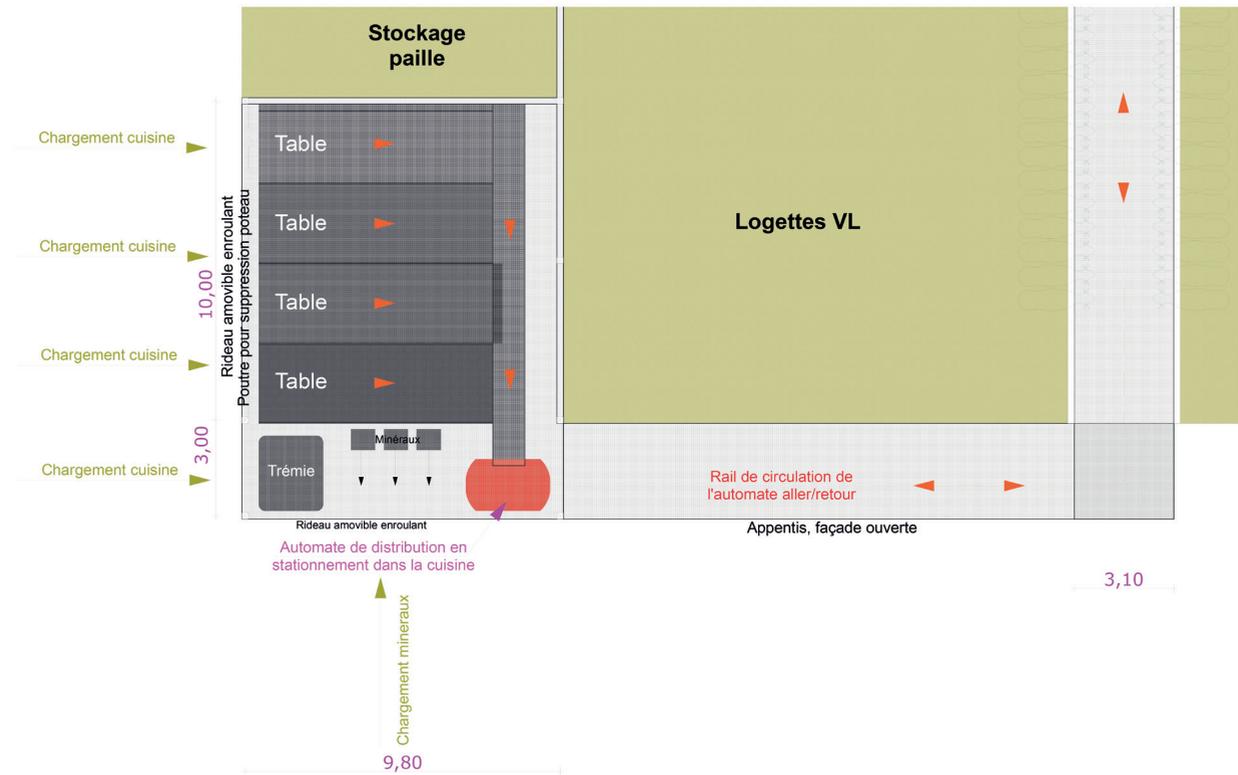
d'accès et les contraintes liées à la circulation des engins d'approvisionnement et de l'automate peuvent également déterminer précisément le type d'aménagement qui sera retenu. Une longue réflexion sera en tous les cas nécessaire pour éviter des erreurs préjudiciables.



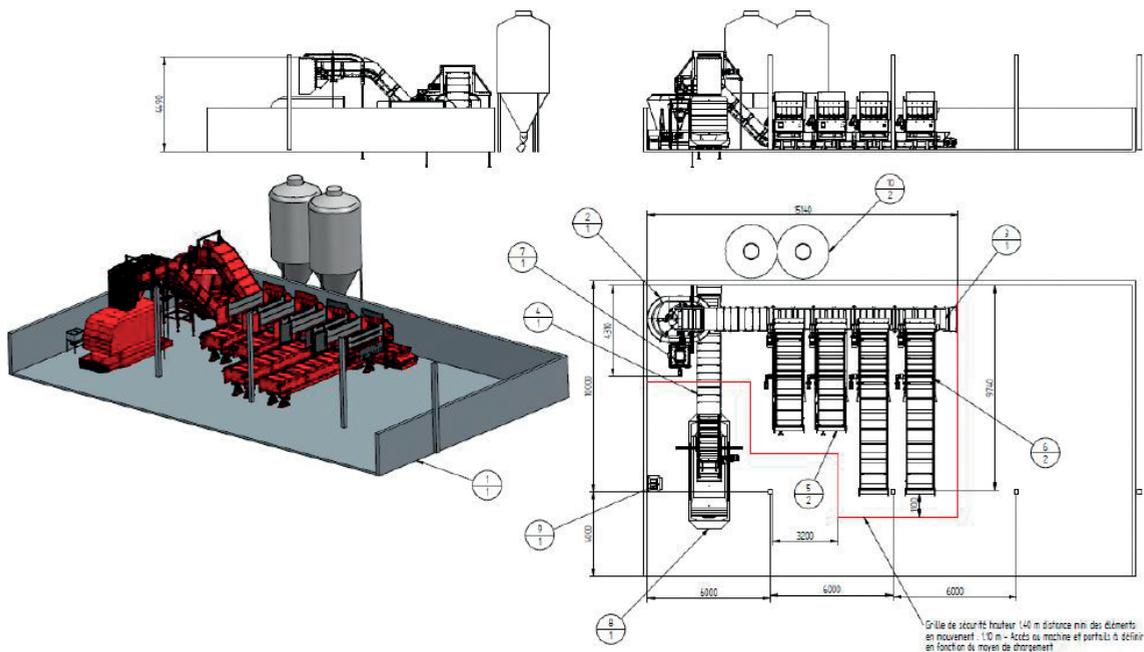
Plan 6.3 : Exemple d'aménagement interne d'une cuisine Lely (Famille B)



Plan 6.4 : Exemple d'aménagement interne d'une cuisine DeLaval (Famille D)



Plan 6.5 : Exemple d'aménagement interne d'une cuisine Trioliet (Famille A)



Plan 6.6 : Exemple d'aménagement d'une cuisine Jeantil (Famille D) - Source Jeantil

6.5 Dimensionnement de la cuisine

Deux types de cuisine répondent à des règles de dimensionnement différentes, celles qui utilisent des tables et des stockeurs (familles A, D et E) et celles proposant un stockage à plat au sol de cubes et du vrac (famille B).

Leurs dimensionnements répondent à de nombreux critères :

- nombre d'animaux à nourrir maximum (période hivernale) ce qui permet de calculer une quantité des différents ingrédients qui composent la ration,
- nombre d'ingrédients (composition de la ration),
- caractéristiques des ingrédients (foin, ensilage maïs, betteraves, ...),
- type de conditionnement (vrac ou cube) et des dimensions de ces équipements,
- et fréquence de réapprovisionnement.

6.5.1 Dimensionnement des cuisines avec tables et stockeurs

L'ensemble des éléments cités ci-dessus permet de définir le nombre et la longueur de tables nécessaires pour le stockage des fourrages grossiers. Les tableaux présentés au chapitre 5 donnent les dimensions les plus fréquentes de ces équipements. La combinaison de ces éléments permet de déterminer la surface nécessaire.

Les concentrés quant à eux peuvent être stockés dans des cellules ou des trémies à l'intérieur de la cuisine ou dans des silos placés à l'extérieur. A contrario des fourrages grossiers, les stockages de concentrés sont dimensionnés pour des périodes plus longues. Les dimensionnements sont directement fonction du volume stocké. Le tableau 6.1 propose des dimensions standards de cellules en acier galvanisé et de silos de stockage en polyester.

Tableau 6.1 :
Dimensions standards de cellules et silos

	Diamètre (m)	Hauteur (m)
Cellule intérieure galva 6 t	2,70	1,20
Cellule intérieure galva 10 t	2,70	2,30
Cellule intérieure galva 15 t	2,70	3,50
Silo polyester extérieur 4 t	2,05	4,35
Silo polyester extérieur 6 t	2,35	5,20
Silo polyester extérieur 10 t	2,47	6,20
Silo polyester extérieur 15 t	2,47	8,30

Calculer la profondeur de la cuisine

Dans certains cas, les ingrédients composant la ration sont acheminés par convoyeur depuis les stockages vers la mélangeuse à poste fixe. La profondeur de la cuisine se calcule alors en partant de la table la plus longue (ou du stockeur) et en ajoutant la largeur du convoyeur (90 cm à 1,30 m) plus celle nécessaire à l'accès des piétons pour d'éventuelles interventions (largeur 1,20 m). Il faut donc prévoir dans ce cas au minimum 2,50 m derrière les tables ou stockeurs. En utilisant des tables de 12 m qui sont les plus longues proposées par les fournisseurs, la profondeur minimum à couvrir serait donc de 14,50 m.



Photo 6.8 : Convoyeur disposé à l'arrière des tables Trioliet pour acheminer le fourrage vers la mélangeuse fixe

Dans d'autres cas, c'est l'automate de distribution qui circule sous les stockeurs lors du remplissage (exemple : GEA). Une largeur de 3 m entre les stockeurs et la paroi la plus proche est alors nécessaire pour permettre le déplacement de l'automate de distribution et la circulation des hommes en sécurité.



Photo 6.9 : L'automate passe et se charge directement sous les stockeurs et sous un convoyeur chargé d'apporter le foin

Calculer la longueur de la cuisine

Le nombre de tables ou stockeurs à disposer côte à côte, l'écartement entre les tables, la présence ou non d'une mélangeuse fixe et de stockages des minéraux, et la nécessité ou non de couvrir une zone de chargement de l'automate doivent permettre de calculer la longueur de la cuisine. La longueur de chaque travée devra être étudiée pour que les poteaux ne gênent pas le positionnement des différents équipements. Des poutres pourront être utilisées pour supprimer des poteaux gênants, mais attention au prix très élevé de ces poutres.

Pour permettre de réduire la longueur des cuisines, Trioliet propose une solution avec des tables accolées permettant un gain de place, tout en évitant les pertes au sol entre tables. Cela permet de limiter le temps de nettoyage.

Attention, seuls les fournisseurs disposent des caractéristiques techniques et dimensionnelles précises de leurs équipements pour permettre un dimensionnement suffisamment précis de la cuisine à construire. Les éléments proposés dans cet ouvrage ne sont qu'à titre indicatif mais peuvent aider les conseillers et les éleveurs à imaginer leur projet.

Quelle surface de cuisine au final ?

Exemples de dimensions des cuisines visitées dans les élevages enquêtés :

- 240 m² (24 m X 10 m) + 30 m² en appentis arrière = 270 m² pour DELAVAL / 270 têtes / 5 tables à plat + convoyeur + mélangeuse à poste fixe / 2 cellules concentrés et 5 silos minéraux
- 130 m² (10 m X 13 m) pour TRIOLIET / 150 têtes / 4 tables à plat + convoyeur / 1 trémie + 3 silos minéraux
- 150 m² (15 m X 10 m) pour KHUN / 144 têtes / 2 stockeurs + 1 démêleur de foin + convoyeur / 2 cellules céréales et concentrés
- 500 m² (21,50 m X 27,50 m) pour LUCAS / 450 bêtes / 6 stockeurs + convoyeur + mélangeuse fixe / 3 trémies
- 296 m² (10,20 m X 29,00 m) pour JEANTIL / 320 têtes / 2 stockeurs + 1 table démêleur + convoyeur + mélangeuse à poste fixe / 3 trémies + 4 silos minéraux.

Il en ressort **un ratio moyen de 100 m² de cuisine pour 100 têtes de bétail à nourrir**. Ce rapport n'est qu'indicatif et permet de réaliser une première approche de la surface nécessaire. Les dimensions finales seront à adapter aux différents équipements finalement retenus par l'éleveur.

Quelle hauteur prévoir ?

La hauteur utile doit être de 5 mètres ou plus. Il faut tenir compte du matériel utilisé par l'éleveur pour approvisionner les stockeurs mais aussi de la hauteur du convoyeur. Attention aux jambes de forces qui peuvent être gênantes. GEA demande une hauteur de 4 m minimum au-dessus des stockeurs.



Photo 6.10 : GEA demande une hauteur > 4 m au-dessus des stockeurs

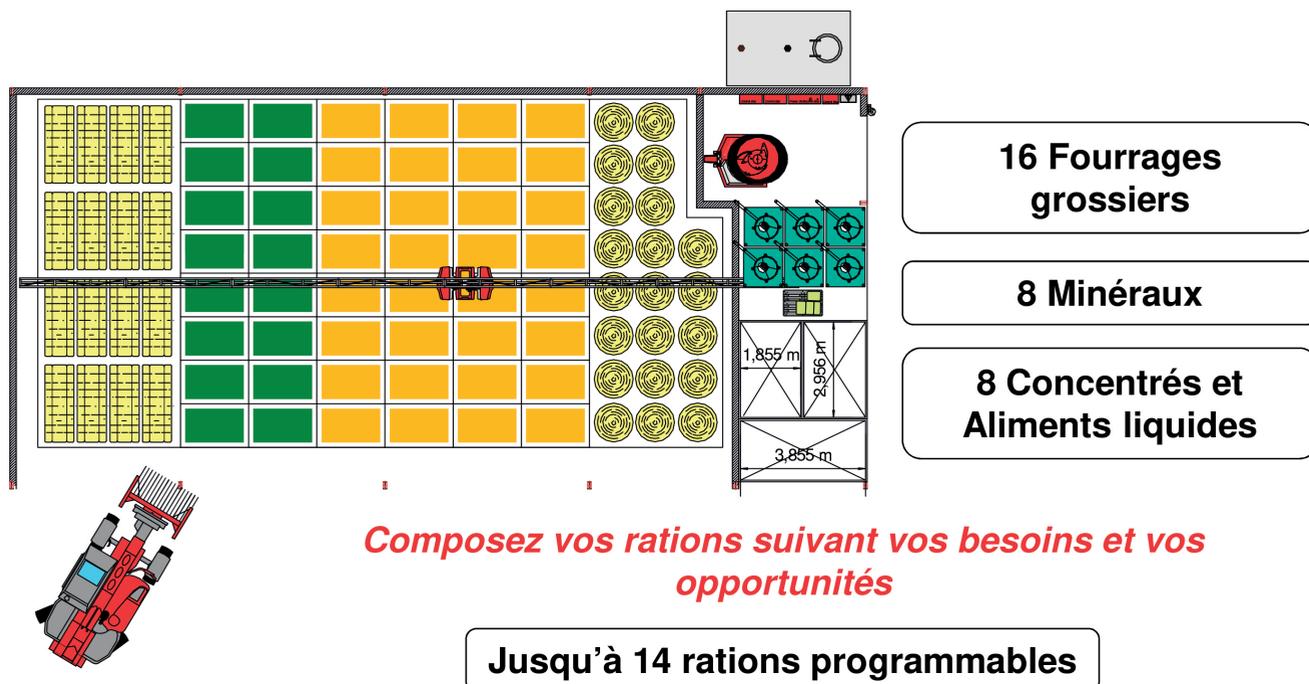
6.5.2 Dimensionnement des cuisines avec stockage des fourrages au sol

Les cuisines proposées par Lely répondent aux mêmes règles de dimensionnement que pour les cuisines avec tables et stockeurs. Cependant, le constructeur préconise un minimum de 3 à 4 jours d'autonomie de stockage dans la cuisine (2 approvisionnements par semaine) ce qui a des répercussions sur la surface de la cuisine à construire.

Les fourrages grossiers (maïs, foin, ...) sont stockés à plat au sol et en cubes. Des espaces sont nécessaires entre les produits pour assurer une circulation d'air, gérer les éboulements et favoriser un bon positionnement du grappin de chargement. Un marquage au sol est nécessaire pour déposer les différents aliments aux bons endroits. Des cellules au sol, protégées par des murs permettent également de stocker du fourrage en vrac. Les minéraux, concentrés et aliments liquides sont quant à eux stockés dans des silos.



Photo 6.11 : Cellules pour stockage au sol des fourrages en vrac



Plan 6.6 : Exemple d'aménagement interne d'une cuisine DeLaval (Famille D) - Source Lely.

Quatre installations possibles pour le déplacement du grappin (Source Lely)

Quatre installations sont envisageables dans la cuisine pour le déplacement du grappin : rail simple ou double, portique et pont suspendu. Les solutions sur rail sont peu présentes en France. Les solutions avec portique et pont suspendu sont détaillées :

Portique mobile

Le portique supportant le rail où se déplace en va-et-vient le grappin est une construction roulante. L'intérêt est de ne pas suspendre le rail à la charpente (pas de charges supplémentaires à un bâtiment existant par exemple). Le grappin peut se déplacer alors dans les 3 directions (aller, retour et transversal). La profondeur minimum de la cuisine devra être de 6,00 mètres et de 18,00 mètres maximum. La hauteur minimum de la charpente sera de 4,30 mètres afin d'installer le portique. C'est une solution qui est peu développée car onéreuse.

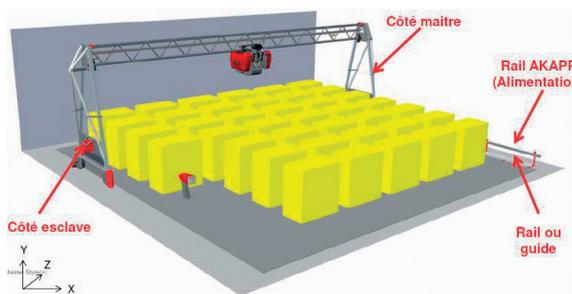


Photo 6.2 : Représentation 3D d'une cuisine équipée d'un portique mobile - Source Lely.

Pont suspendu

C'est la solution la plus développée car elle apporte le maximum de flexibilité (combinaison des différents types d'aliments) et de capacité. Le grappin se déplace dans les 3 dimensions sur un pont suspendu à la charpente.

La course du grappin en longueur est de 24,00 mètres maximum (X Total sur le schéma). Elle est de 20,00 mètres maximum en transversal (Y sur le schéma). Le pont est constitué de deux IPE qui portent le rail. La distance maximum entre les deux IPE est de 16,00 mètres (X2 sur le schéma). Les IPE seront fixés entre 4,00 et 4,20 maximum du sol de la cuisine. Cette hauteur permettra au grappin de s'ouvrir à 1,50 m du sol.

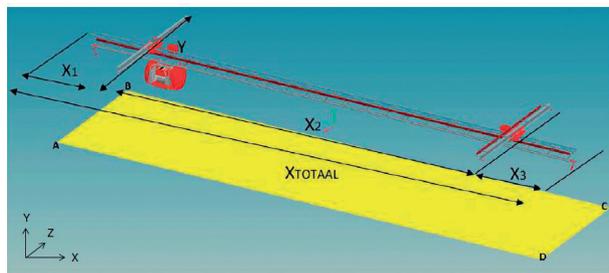


Photo 6.3 : Schéma de fonctionnement d'un pont suspendu - Source Lely.

7 • CIRCULATION DE L'AUTOMATE DE DISTRIBUTION

7.1 Cas des automates suspendus sur rail

L'automate de distribution se déplace sur un rail grâce à une combinaison de galets et de roues d'entraînement. Le rail est composé d'une poutrelle de type IPN/IPE sur laquelle est suspendu l'automate de distribution. Selon les situations et les préconisations des constructeurs, le rail peut être fixé à la charpente par l'intermédiaire de supports métalliques et de connecteurs adaptés, ou à des portiques indépendants reposant au sol.

L'énergie électrique nécessaire au fonctionnement est apportée soit à l'aide de batteries rechargeables, soit en continu par le réseau électrique. Dans ce dernier cas, l'alimentation électrique est assurée par un rail électrifié installé parallèlement à la poutrelle porteuse.

Repérage des lots de distribution

Pour distinguer les lots d'animaux, des butées ou contacteurs sont placés sur le rail.



Photo 7.1 : L'automate DEC de Rovibec est ici suspendu sur un rail fixé sur la charpente



Photo 7.2 : Les rails disposés en « U » permettent une distribution de part et d'autre du large couloir de distribution central

Intérêts et limites de ce mode de circulation de l'automate

La circulation sur rail nécessite de bien prendre en compte l'encombrement total de la structure porteuse et de l'automate de distribution. Attention donc à la hauteur disponible sous charpente.

Si le circuit d'alimentation nécessite des changements de direction, cela impose des rails courbés ou bien de mettre en place des aiguillages ce qui peut rendre leur adaptation compliquée dans des bâtiments existants. La présence de rails en extérieur lors du passage d'un bâtiment à un autre peut être gênante pour la circulation d'autres engins et peut nécessiter une protection contre les intempéries. Dans le cas de différence de niveau entre les bâtiments il faut aussi être vigilant sur les pentes admissibles.



Photo 7.3 : Rail fixé sur portique. Le rail électrifié est protégé des intempéries par une tôle



Photo 7.4 : La fixation des rails sur bâtiments existants peut être compliquée et nécessite parfois de nombreuses courbes et aiguillages

Ce mode de circulation permet de passer au-dessus de zones empruntées par les animaux (zones sales) ou infranchissables par roues. Il s'adapte plus facilement à des contraintes techniques en bâtiment existant. Certains modèles proposent des portiques relevables pour passer au-dessus d'obstacles hauts.

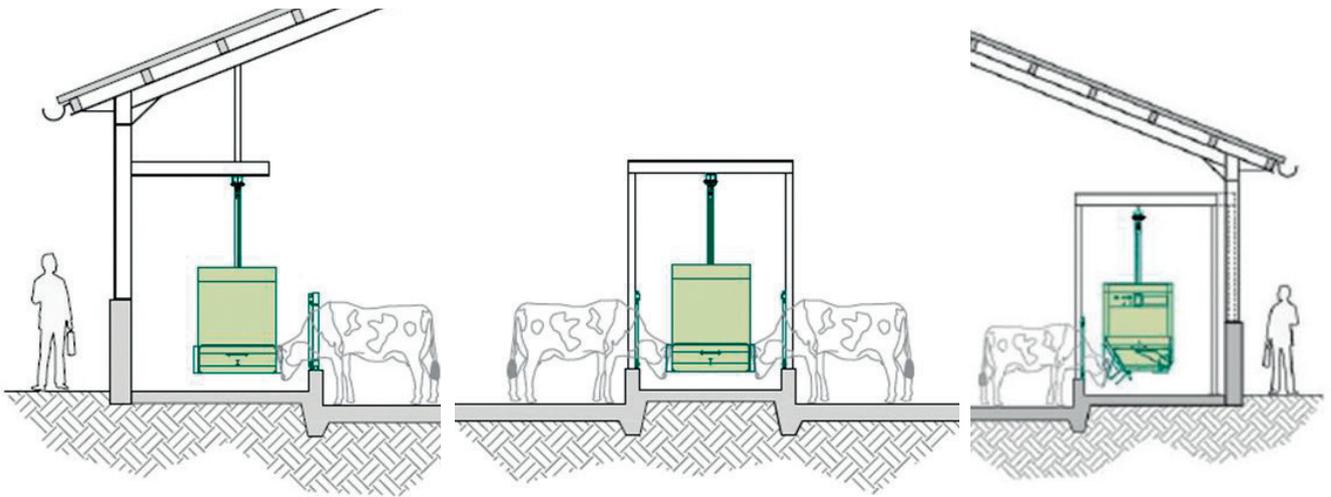


Figure 7.1 : Exemples d'adaptation du rail à la charpente (existant/neuf) – Source GEA

Selon la situation, en bâtiment neuf ou en aménagement de l'existant, le rail de support peut être fixé soit à la charpente du bâtiment, soit à des portiques indépendants (figure 7.1). Dans le premier cas, la charpente sera dimensionnée et validée par un bureau d'étude spécialisé en tenant compte des surcharges (rail, wagon en charge). Dans l'autre cas, des portiques métalliques dimensionnés suivant les distances entre appuis devront être installés sur les zones à desservir, là encore c'est un bureau d'étude qui les dimensionnera. Attention aux emprises de passage, si des opérations de paillage sont à réaliser depuis le couloir. Dans tous les cas, l'encombrement de l'ensemble automate, rail, supports de fixation, déports et ballants dus à ses déplacements sont à considérer.



Photo 7.5 : Les automates sur rail nécessitent parfois des aiguillages pour changer de circuit

Largeur des couloirs d'alimentation

En fonction des marques, la largeur minimale des couloirs où doivent évoluer les automates de distribution varie de 2,5 à 3,5 m. Ces largeurs sont déterminées par celle de l'automate complétée d'un espace de sécurité de 50 à 75 cm minimum de part et d'autre de l'automate qui peuvent être l'espace entre l'automate et le muret d'auge.



Photo 7.6 : Un couloir d'alimentation réduit ici à 3,10 m de large avec un rail central unique pour un fonctionnement de l'automate en va-et-vient avec distribution des deux côtés

La largeur maximale où un automate peut alimenter deux lignes d'auge avec un seul rail dépend du type d'automate, certains disposant d'une rallonge de tapis distributeur qui se déploie au moment de la distribution. Par exemple le robot Kuhn qui en est équipé annonce dans ce cas une largeur totale maximum de 4 m. Au-delà, il est nécessaire de rajouter un rail.

7.2 Cas des automates sur roues

Les automates de distribution circulant au sol sont mus par des roues pleines ou gonflées. L'entraînement se fait, soit au moyen d'un moteur thermique, soit au moyen d'un moteur électrique alimenté par des batteries embarquées ou par un rail dédié à l'alimentation électrique et au guidage. Dans le premier cas, la localisation du stockage de carburant et le mode d'approvisionnement du réservoir devront être réfléchis. Dans le cas des batteries électriques, celles-ci nécessitent un temps de recharge minimum. Le mode de recharge varie sensiblement d'une marque à l'autre. La recharge peut être réalisée pendant l'approvisionnement du wagon et/ou sur une autre période dédiée, à poste fixe. Dans certains cas, le mélange des fourrages se fera dans une mélangeuse fixe, alimentée sur secteur pour plus de puissance. Les questions d'autonomie, donc de cycles de recharge et de durée de vie des batteries qui ont un fort impact sur le coût de fonctionnement de l'automate, devront être considérées avant achat. Ce principe de distribution est fortement lié à la qualité et à la nature du sol. La mise en œuvre de voies de circulation adaptées entre les différentes zones sera donc indispensable.



Photo 7.7 : Cet automate sur roues peut gravir des pentes de 5%

Dispositif de guidage

Repérage du circuit à emprunter :

Les options sur roues doivent impérativement se repérer entre les zones de remplissage et de distribution. Pour ce faire, il faudra installer sur les circuits un fil noyé dans le béton à quelques centimètres de profondeur dans la zone de roulement (filoguidage), ou bien poser au sol des plaques métalliques de repérage. Ces éléments permettront aux capteurs embarqués de repérer la route à emprunter.

A l'intérieur du bâtiment, certains automates se dirigent à l'aide de capteurs à ultra-sons. Le cornadis ou le mur latéral servent alors de repère à l'automate. Ces équipements sont relativement simples à faire évoluer en cas d'extension.

Pour les sols existants, des travaux d'installation devront être envisagés (sciage du béton). Les systèmes à plaques sont plus sensibles aux passages d'autres engins (ex : le tracteur et la pailleuse) et peuvent vite se dégrader. L'arrachage de morceaux ou de plaques entières rompt la continuité du circuit et empêche l'automate d'assurer sa tournée.

Repérage des lots de distribution :

L'automate doit pouvoir distinguer les lots d'animaux à alimenter, tout au long de son cheminement. Certains utilisent des puces fixées dans le béton (puces RFID / Radio Identification). D'autres se repèrent en fonction de la distance parcourue. Enfin, certains utilisent une combinaison de panneaux et de détecteurs optiques.

Intérêts et limites de ce type d'automate

Le mode de distribution sur roues impose des sols roulants stabilisés (bétonnés ou enrobés) sans seuils ni différence de niveau trop importante. Suivant les modèles, une pente maximale acceptable est annoncée par le fournisseur (en général 5 à 10 %) ; c'est un point important à considérer pour la circulation entre différents bâtiments. Imaginer les circuits et chiffrer leur stabilisation devront être intégrés au projet. La possibilité de disposer d'une organisation compacte des bâtiments, sans croisement de circuits, entre la cuisine et les bâtiments desservis constituera un réel avantage. L'autonomie des batteries et le nombre quotidien de distributions déterminent la longueur maximale du circuit. Une distance excessive réduit le temps effectif de distribution et augmentera le montant d'investissement en parcours à stabiliser.



Photo 7.8 : Les automates sur roues adaptés notamment quand les bâtiments à desservir sont séparés les uns des autres

Remplacement et durée de vie des batteries

Pour les options qui en disposent, la question de la durée de vie des batteries et donc de leur remplacement, suivant le nombre de cycles assurés quotidiennement, est importante. Elle impacte directement leur coût de fonctionnement. Certaines marques annoncent un remplacement annuel d'autres plusieurs années. Cela est lié au type de batteries (lithium, plomb, etc).

Largeur des couloirs d'alimentation

La majorité des modèles assurant des petites distributions fréquentes, ont une emprise limitée. Ainsi, la distribution peut s'effectuer dans des couloirs moins larges qu'avec un matériel de distribution classique. Cet avantage permet de gagner de la surface de bâtiment mais n'a de réalité que dans le cas de construction d'un bâtiment neuf avec robot d'alimentation, ce qui n'est pas le plus fréquent. Ces surfaces gagnées de bâtiment représentent une économie d'environ deux mètres carrés par mètre linéaire de table d'alimentation comparativement à une solution traditionnelle. Dans ce cas, pour les versions sur roues, il faudra veiller à disposer d'assez d'espace pour que l'automate puisse faire demi-tour en bout de couloir.

La largeur minimum préconisée par les marques pour les couloirs où doivent évoluer les automates de distribution sur roues, est sensiblement la même que pour les automates sur rail. Elle varie de 2,50 à 3,50 m.

Lorsqu'il n'y a pas d'obstacle sur les côtés, la largeur minimum du cheminement bétonné extérieur est comprise entre 2,00 et 2,80 m.

7.3 Problématique des portails

Quel que soit le mode de déplacement, sur rail ou sur roues, et dès lors que le matériel de distribution autonome doit circuler entre plusieurs bâtiments, la question de l'ouverture autonome des portes doit être posée. Evidemment dans le cas de bâtiments semi-ouverts sans porte sur la table d'alimentation, l'accès est direct et la question ne se pose pas. Les portes en filet ou bâche à enroulement automatique sont particulièrement adaptées à cette ouverture commandée par l'arrivée du wagon. Attention, à la bonne coordination de l'ensemble. En général, le remplacement des portails sur rail devra donc être envisagé. La pose de lanières translucides pourra également être étudiée si celle-ci est compatible avec le dispositif de sécurité du wagon. Cependant, ces lanières, si elles ne sont pas articulées individuellement ont tendance à s'arracher aux passages fréquents et réguliers des automates.



Photo 7.9 : Porte électrique en filet enroulable à ouverture automatique déclenchée lors du passage du robot

7.4 Critères de choix entre les automates sur roues et ceux suspendus sur rail

Points de vigilance	Circulation sur rail	Circulation sur roues
Bâtiments à desservir dispersés	Peu adaptée	Adaptée
Type d'alimentation électrique	Rail électrifié	Le plus courant : batteries rechargeables mais aussi moteur thermique, voire rail électrifié (Trioliet)
Croisement de circuits (alimentation, animaux)	Possible (Attention à la sécurité)	Sensible à la propreté des sols
Passage au-dessus des zones de couchage	Possible	Impossible
Hauteur de passage	Attention hauteur libre sous rail surtout entre les bâtiments	Indifférent sauf gros format (Altec)
Changement de direction	Possible	Facile
Aller-retour	(Surcoût avec rail courbe et aiguillage)	(Suivant rayon de braquage)
Pente des sols	Indifférent	5 à 10 % suivant modèles et options
Distribution sur double table d'alimentation	Demande 2 rails parallèles si largeur importante	Distribution à l'aller puis au retour

Tendance aux automates sur roues : Est-ce justifié ?

Les premiers modèles proposés issus des étables entravées du Canada et de l'Europe du Nord étaient des automates sur rail distribuant au-dessus des auges dans des bâtiments très compacts. Les nouvelles technologies de guidage et l'autonomie des batteries ont permis d'élargir la gamme avec les automates sur roues vendus actuellement. Pour autant les automates sur rail conservent des atouts, notamment en termes d'autonomie (pas de temps de recharge), de coût de fonctionnement (pas de batteries à renouveler) et de sécurité avec l'évolution probable de la réglementation sur les engins autonomes.

L'avantage des robots sur roues est son adaptation aux bâtiments existants. Il n'est pas nécessaire de prévoir une structure porteuse dans et entre les bâtiments. Certaines marques proposent des équipements intermédiaires : automate sur roues alimenté par un rail électrifié qui pèse beaucoup moins lourd et peut s'adapter dans quasiment tous les bâtiments.

Le tableau 7.10 ci-dessous permet d'identifier les intérêts et les limites de chaque type d'automate.

Tableau 7.1 : Intérêts et limites des automates sur roues et sur rail

	Roues	Rail
Intérêts	<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs bâtiments • Pas de contraintes sur la charpente • Capacité de charge • Adaptation en bâtiment existant • Repousse fourrage adaptable 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de contraintes • Passe au-dessus des circuits sales • Permet un mélange et une distribution simultanés • Evolutif : permet augmentation effectif
Limites	<ul style="list-style-type: none"> • Circuit / nature des sols • Batterie (temps de rechargement, durée de vie) • Cahier des Charges Sécurité des engins roulants autonomes 	<ul style="list-style-type: none"> • Charpente - portique et adaptation au bâti existant • Passages / portique entre bâtiment • Pente • Capacité de charge • Repousse fourrage impossible si l'automate pèse

7.5 Faut-il réduire la largeur des couloirs d'alimentation ?

La réduction de largeur de couloir d'alimentation permise par les robots d'alimentation est un des arguments mis en avant par les constructeurs. Certaines entreprises n'hésitent pas à annoncer des largeurs de couloir de 2,50 m seulement ce qui est inférieur de 2 m au moins aux largeurs des couloirs d'alimentation pratiquées dans les bâtiments traditionnels. En effet, avec une telle largeur, en cas de panne, une désileuse classique ne pourrait pas

intervenir. Les élevages équipés en robot d'alimentation n'ont d'ailleurs pas, la plupart du temps, conservé d'autres équipements de distribution qui pourraient être utilisés comme dépannage car le choix du robot se pose souvent au moment du renouvellement du matériel de distribution. Cette largeur ne pourra donc s'envisager que s'il y a un bon contrat de maintenance. Il est toutefois à noter qu'aucun éleveur enquêté ne s'est plaint de panne qui aurait pu remettre en question l'intérêt du robot. Le matériel semble plutôt fiable. Pour autant, faire des couloirs de distributions classiques d'une largeur de 5 m pour une distribution sur un côté ou 6 m sur deux, peut donner une marge de sécurité très appréciable et rendre le bâtiment plus évolutif.

La réduction des largeurs de couloir n'a d'autre intérêt que celui de réaliser des économies sur la surface de stabulation à construire. Cette situation se présente pourtant rarement, le coût de l'achat d'un robot d'alimentation étant déjà élevé il est rarement couplé à un projet de nouvelle construction. Et si la situation se présentait, elle ne concernerait qu'une partie du troupeau.

Cette économie affichée permet de mieux accepter le surcoût des robots d'alimentation. Mais le niveau d'économie obtenu est-il suffisamment significatif sachant qu'une fois le bâtiment construit on ne peut revenir en arrière ? Le paragraphe 11.2 donne une estimation du gain de l'ordre de 230 €/UGB sur le coût de la stabulation si on réduit les couloirs d'alimentation de 2,50 m. Le paragraphe 11.3.3 intègre, lui, une réduction de 2 m de large par linéaire d'auge dans la simulation qui donne au final une économie de 1,5 €/1000L sur le coût total (investissement + fonctionnement).

C'est donc surtout la proximité du service après-vente et les délais d'interventions qui devront guider l'éleveur dans son choix à limiter ou non la largeur de ses couloirs d'alimentation.

Enfin, réduire la largeur des couloirs d'alimentation ne veut pas forcément dire la réduire au strict minimum. Limiter la largeur des couloirs à 2,50 m paraît exagéré surtout si l'on veut se donner la possibilité d'intervenir dans le couloir pour un dépannage. Il faut de toute façon prévoir la largeur de l'automate plus la marge de sécurité de 0,50 m à 0,75 m de part et d'autre de l'automate. Une largeur de 3,10 m semble être un minimum, ce qui permet déjà de faire des économies.

8 • ROBOTISATION ET CONSEQUENCE SUR L'ALIMENTATION ET LE COMPORTEMENT DES ANIMAUX

Cette partie traite des questions zootechniques souvent posées par les éleveurs ou les intervenants en élevage concernant l'automatisation de l'alimentation. Les réponses peuvent être très différentes selon les interlocuteurs. Cette partie fait donc l'état des connaissances à partir de la bibliographie et de l'expérience des éleveurs visités sur des questions récurrentes :

8.1 Quel intérêt alimentaire à multiplier le nombre d'ingrédients dans une ration (fourrages, concentrés...) ? Quel lien avec l'automatisation de l'alimentation ?

Selon certains prescripteurs, multiplier les ingrédients de la ration serait bénéfique pour les vaches laitières et permettrait notamment d'améliorer leur santé.

Ces allégations ont fait l'objet d'un essai de 2011 à 2014 à la ferme expérimentale des Trinottières (49) où une ration « simple » (5 ingrédients dont les concentrés) a été comparée à une ration « complexe » (10 ingrédients). Les deux rations distribuées couvraient de manière identique les besoins des animaux. Cet essai n'a pas mis en évidence de plus-value avec une ration « complexe » tant sur la production laitière que sur la santé et la reproduction des animaux (Rouillé et al., 2015). Au contraire, l'étude montre, dans un troupeau à niveau de production relativement élevé, que la ration « simple » s'est accompagnée d'une augmentation de production, d'une amélioration de la qualité du lait, d'une légère amélioration des résultats de reproduction et d'une diminution des troubles de santé. Ce n'est donc pas le nombre d'ingrédients qui fait la qualité de la ration. Les facteurs les plus importants sont prioritairement la qualité des aliments, le bon respect des équilibres nutritionnels et la prise en compte des risques sanitaires.

La plupart des élevages visités ont un nombre limité de fourrages mais leur nature peut être variable dans le temps. Par ailleurs, la tendance actuelle de développer l'autonomie protéique et donc de limiter la consommation du tourteau de soja peut conduire à diversifier les aliments. Le matériel doit donc être adapté pour distribuer la gamme de fourrages envisagée par l'éleveur (des fourrages secs en bottes, en passant par les différents types d'ensilages, les racines comme les betteraves, voire du fourrage vert en vrac ...). Ce peut être un critère de choix du fournisseur de l'automate d'alimentation. En outre, on peut aussi en conclure que ce n'est pas le matériel qui doit dicter la composition et la nature de la ration.



Photo 8.1 : Réserve de paille en vrac

Tous les éleveurs signalent un intérêt de l'automatisation pour adapter différentes rations selon les différentes catégories animales sans forcément multiplier les ingrédients mais en changeant plus facilement leur quantité et/ou leur nature. Ceci est d'autant plus intéressant pour alimenter des petits lots d'animaux (vaches tarées, génisses, taurillons, etc...) sans risque de suralimentation ce qui est beaucoup plus difficile avec des équipements plus conventionnels tels qu'une remorque mélangeuse.



Photo 8.2 : Des rations adaptées par lot selon le nombre et le type d'animaux



Photo 8.3 : Des codes recettes par lot d'animaux

8.2 Quelle gestion des refus ou inconsommables ?

Un des arguments des fournisseurs de robot d'alimentation est de réduire la quantité de refus et d'en simplifier leur gestion avec une élimination peu fréquente ; cette tâche n'étant pas automatisée. Cette simplification est confirmée dans la plupart des élevages enquêtés : l'enlèvement journalier des refus, conforme aux recommandations, est l'exception. La majorité des éleveurs adapte les volumes distribués au jour le jour pour limiter au minimum ces refus et les éliminer le moins fréquemment possible (hebdomadaire le plus souvent). D'autres éleveurs ont une stratégie encore plus stricte « zéro refus » avec un enlèvement toutes les 2 voire 4 semaines, ce qui est alors considéré comme des « inconsommables ».

Malgré tout, l'accès à volonté de la ration par les animaux reste primordial afin de favoriser la production et d'éviter les problèmes de santé ainsi que la compétition à l'auge. Pour cela et même avec l'automatisation, un objectif de 5 % de refus consommables avec un nombre de places à l'auge en adéquation avec l'effectif d'animaux sont les seuls moyens d'assurer une mise à disposition à volonté de la ration. Si ces éléments ne sont pas respectés et qu'une production laitière élevée est recherchée, il faudra augmenter la part de concentrés, ce qui aboutit à une ration plus coûteuse.

Cela passe aussi par une élimination journalière des refus consommables valorisés par d'autres animaux. L'élimination journalière des refus présente aussi un intérêt hygiénique et sanitaire avec un nettoyage très régulier de l'auge. Selon des fournisseurs, la simplification de la gestion des refus n'entraverait pas la production grâce à la distribution plus fréquente d'une ration fraîche.

8.3 Quels sont les effets d'une fréquence élevée de la distribution ?

La pratique des éleveurs

Dans 14 élevages de l'ouest visités, la fréquence de distribution journalière de la ration (tableau 8-1) est assez homogène pour les génisses, les vaches tarées et les bovins viande avec 1 à 4 distributions par jour. Par contre, pour les vaches laitières en production, la fréquence de distribution journalière de la ration est beaucoup plus variable (de 3 à 10 fois par jour) avec une moyenne à 6,7. Ce résultat est équivalent à celui observé dans 18 élevages de vaches laitières de différents pays européens avec 7,1 distributions par jour en moyenne (3 à 13) (Nydegger et Grothmann, 2009).

Tableau 8.1 :
Fréquence journalière de distribution de la ration selon le type d'animaux dans 14 élevages des régions du grand ouest

Types de bovins	Nombre d'élevages	Fréquence journalière de distribution moyenne (min. – max.)
Vaches laitières en production	13	6,7 (3 à 10)
Génisses laitières et vaches tarées	6	2,2 (1 à 3)
Vaches allaitantes	1	4
Engraissement (taurillons, vaches)	5	2,8 (2 à 4)

De plus, pour les vaches laitières, la répartition des distributions dans la journée est très variable d'un élevage à l'autre :

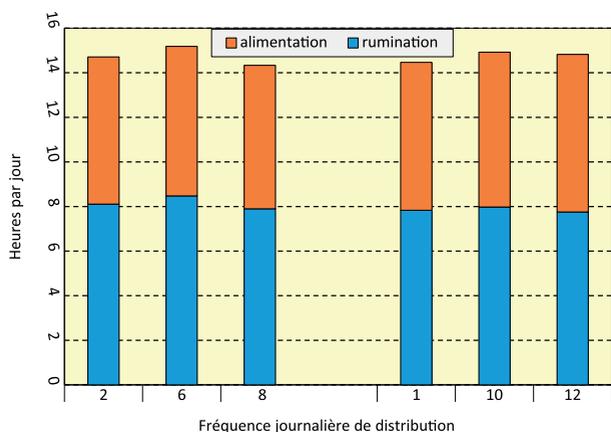
Espacement régulier entre les distributions en incluant souvent une période de non distribution la nuit, soit courte (par exemple de minuit à 5 heures du matin, correspondant à la période de repos de la plupart des animaux), soit plus longue (de 22 heures à 6 heures du matin par exemple pour éviter d'avoir des pannes nocturnes et des alertes sur cette période). Cette stratégie est plutôt adaptée aux élevages disposant de suffisamment de places à l'auge (au moins une place par vache) ;

Espacement irrégulier entre les distributions, par exemple 3 distributions à une demi-heure d'intervalle, répétées 3 fois à 5 heures d'intervalle, soit 9 distributions par jour. D'après des éleveurs, cette stratégie permet aux vaches dominantes de se nourrir au 1^{er} voire au 2^e apport ; les vaches dominées viennent alors plus tard. Cette stratégie est sans doute à conseiller en cas de manque de places à l'auge.

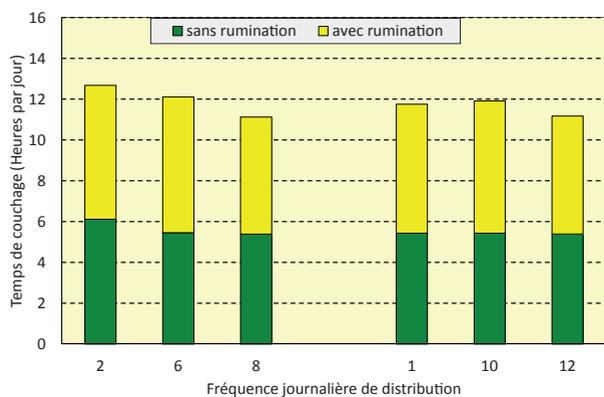
Fréquence de distribution et comportement des animaux

Le temps d'alimentation et de rumination quotidien des animaux (graphique 8-1) comme le temps de couchage (graphique 8-2) ne sont pas modifiés par une fréquence de distribution élevée. Cela peut s'expliquer par le fait que tous les animaux ne se déplacent pas forcément à chaque distribution.

Graphique 8-1 : Durée moyenne d'alimentation et de rumination par animal et par jour selon la fréquence journalière de distribution : essai 1 = 2, 6 ou 8 distributions par jour ; essai 2 = 1, 10 ou 12 distributions par jour (Grothmann, 2015)



Graphique 8-2 : Temps moyen de couchage selon la fréquence journalière de distribution : 1er essai = 2, 6 ou 8 distributions par jour ; 2^e essai = 1, 10 ou 12 distributions par jour (Grothmann, 2015)



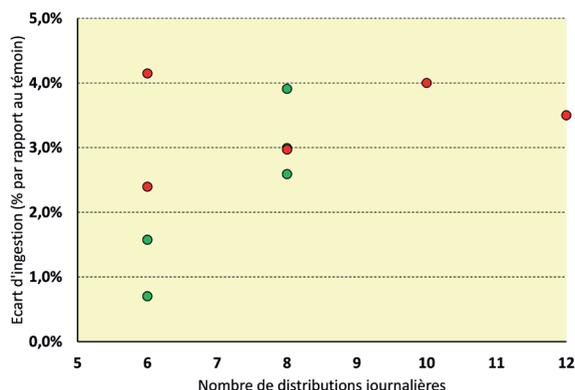
Fréquence de distribution et production des animaux

De nombreuses études ont été menées dans différents pays sur la production laitière et en conditions contrôlées et optimisées avec des rations conformes aux recommandations. 11 essais sont ici présentés tirés de 6 publications : Crossley et al., 2018, (CAN), Ferard et al., 2013 (FR), French et al., 1990 (CAN), Grothmann, 2015 (D - CH), LeLiboux et al., 1999 (FR), Nocek et al., 1985 (USA). Les écarts entre les fréquences de distribution « témoin » (1 ou 2 fois par jour) et celles étudiées (6 à 12 fois par jour) sont retranscrits par thème dans les graphiques 8-3a, 8-3b et 8-3c :

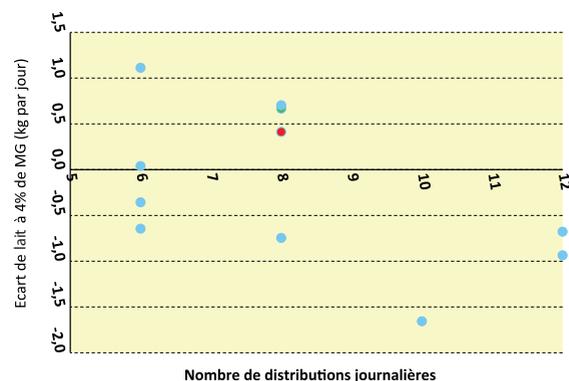
- Au-delà de 5 distributions par jour, l'ingestion journalière en matière sèche augmente légèrement de l'ordre de 2 à 4 % (graphique 8-3a);
- Les écarts de production laitière standard (4 % de matière grasse), sont faibles et non significatifs dans la grande majorité des essais (graphique 8-3b) ;
- Une tendance à l'amélioration du taux protéique, de l'ordre de 0,5 g/kg, est constatée avec l'augmentation de la fréquence de distribution (graphique 8-3c). Cette tendance peut s'expliquer par l'augmentation de l'énergie ingérée.

En conditions contrôlées et optimales, l'effet sur la production laitière est donc limité.

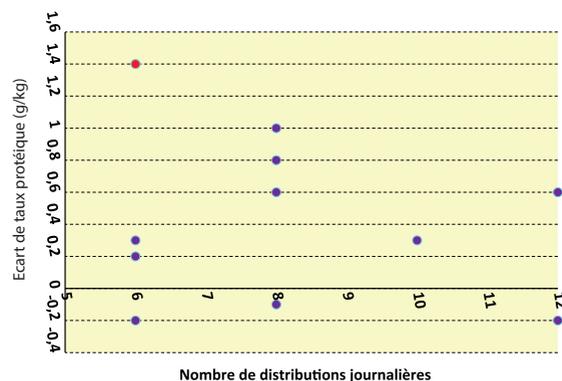
Graphique 8-3 : Ecart d'ingestion, de production laitière et de taux protéique entre les modalités « témoin » (1 ou 2 distributions journalières) et les modalités « essai » (6 à 12 distributions journalières) – synthèse de 11 essais (ronds rouges : écarts significatifs ; autres : non significatifs)



Graphique 8-3a : Écarts d'ingestion (en % de kg de MS/VL/jour) selon le nombre de distributions journalières



Graphique 8-3b : Écarts d'ingestion (en % de kg de MS/VL/jour) selon le nombre de distributions journalières



Graphique 8-3c : Écarts de taux protéique (g/kg) selon le nombre de distributions journalières

Pour autant, après la mise en place de l'automatisation et l'augmentation de la fréquence des distributions, beaucoup d'éleveurs signalent des améliorations des performances des animaux, malgré une gestion simplifiée des refus. Cependant, à partir de témoignages d'éleveurs (voir encadré 8-1), il a été constaté que ces améliorations sont souvent liées à d'autres facteurs explicatifs comme l'évolution des rations, l'inadaptation du matériel de distribution précédent, l'optimisation des pratiques

précédentes ou à des facteurs structurels limitants (comme le manque de place à l'auge). Ces éléments ne sont donc pas liés directement à l'automatisation de l'alimentation car pouvant être améliorés par ailleurs. Ces exemples montrent tout l'intérêt d'une analyse de la situation et des facteurs limitants avant l'automatisation de l'alimentation.

Encadré 8-1

Constats d'éleveurs sur les performances des animaux et pratiquant une fréquence de distribution élevée (5 à 9 fois par jour)

- 1.** Eleveurs du 22 (120 VL, 5 distributions par jour, et 50 vaches allaitantes avec engraissement) : Les éleveurs estiment qu'ils ont beaucoup gagné sur l'efficacité alimentaire, notamment pour les taurillons dont l'engraissement est plus rapide. La production des vaches laitières s'est maintenue malgré une forte diminution des concentrés distribués. Les éleveurs considèrent que les rations sont plus précises, tout est pesé, et le technicien peut avoir des vraies valeurs et cela l'aide dans son travail ;
- 2.** Eleveurs du 49 (180 VL, 7 distributions par jour) : Plus de lait (de l'ordre de plus de 4 %) avec la même ration mais en situation de compétition à l'auge ; Par exemple un lot de 100 vaches multipares pour 68 cornadis ;
- 3.** Eleveurs du 49 (72 VL, 9 distributions par jour) : Amélioration des taux grâce à une meilleure maîtrise des fibres car auparavant la ration était hachée trop finement. Avec l'automatisation, la ration est donc moins hachée et il y a moins de refus car plus de fibres consommées ;
- 4.** Eleveurs du 50 (100 VL, 8 distributions par jour) : Avec l'automatisation, la ration pour les vaches a changé : augmentation de l'ensilage d'herbe et de méteil et plus de foin. Grâce à l'automatisation, les fibres sont plus facilement incorporées et mélangées à la ration par rapport au matériel d'avant qui était obsolète. Par ailleurs, l'équilibre de la ration en azote a été amélioré. Mais, pourtant le niveau de production est équivalent. Par contre, les taux ont augmenté de l'ordre d'un point. Pour les génisses, auparavant, la ration était simplifiée, à base de fourrages sans correcteurs azotés. Avec l'automatisation, le déficit en protéines a été corrigé et la croissance des génisses s'est améliorée ;
- 5.** Eleveurs du 44 (75 VL, 6 distributions par jour) : La production par vache n'a pas augmenté. Par contre, la qualité est meilleure (augmentation des taux).

Fréquence de distribution et maladies métaboliques comme l'acidose

Le respect des bonnes pratiques de rationnement est le meilleur moyen de prévenir les problèmes métaboliques, notamment l'acidose ruminale. La ration doit être accessible et à volonté pour tous les animaux. Par ailleurs, quand la ration contient une quantité importante de concentrés, leur apport doit être fractionné au cours de la journée. Le recours à la ration complète permet d'étaler la consommation de la ration et donc des concentrés sur la journée.

L'acidose aigüe et même sub-clinique est rare en élevage. La vache est en mesure de réguler d'un jour sur l'autre avec une ration bien équilibrée même si elle est potentiellement acidogène (ensilage de maïs). En fait, l'acidose est moins fréquente que l'on croit du fait d'une maîtrise suffisante de l'alimentation en particulier dans les élevages utilisant l'ensilage de maïs comme fourrage dominant (Gelé et al., 2019).

Conclusion sur la fréquence de distribution

Dans des conditions correctes d'alimentation, l'augmentation de la fréquence de distribution a des effets très limités sur la production laitière. Les effets positifs parfois constatés par les éleveurs sont souvent liés à des facteurs améliorés avec la mise en place de l'automatisation (évolution des rations, matériel de distribution obsolète...). L'augmentation de la fréquence de distribution peut être favorable pour compenser des facteurs structurels limitants (comme le manque de place à l'auge). L'augmentation de la fréquence de distribution peut aussi se justifier par un calibrage limité de l'automate de distribution avec la réduction de sa taille, de son encombrement et de son poids. Ce dernier point a une incidence sur l'adaptation de la structure porteuse pour les systèmes sur rail. Ce calibrage optimisé de l'automate obtenu grâce à l'augmentation de la fréquence de distribution peut donc limiter son coût d'investissement.



Photo 8.4 : Distribution de la ration dans une auge avec cornadis

8.4 Quelle fréquence de réapprovisionnement de la cuisine selon le mode de désilage ?

Sur 12 élevages enquêtés, 5 désilent en vrac et réapprovisionnent la cuisine tous les jours.

Les 7 autres élevages désilent en cubes et réapprovisionnent la cuisine de manière différente :

- 3 élevages réapprovisionnent tous les jours : une des raisons est l'équipement de la cuisine limité aux besoins de stockage des ensilages pour une journée, voire un peu plus, afin d'optimiser les investissements (nombre de tables et stockeurs, emprise de la cuisine).
- 2 élevages réapprovisionnent tous les 2 jours : les équipements sont donc plus importants, mais permettent de mieux rationaliser le travail, et de passer le week-end sans réapprovisionnement
- 2 élevages réapprovisionnent tous les 3 ou 4 jours : Ils sont équipés de robot Lely où les cubes d'ensilage sont

posés sur le sol de la cuisine. Dans ce cas, l'investissement dans une cuisine plus grande est limité au bâtiment, sans équipements complémentaires (sans besoin de réserves types tables ou stockeurs supplémentaires)

Sur 8 élevages qui approvisionnent la cuisine tous les jours, 4 le font aussi le dimanche contrairement aux 4 autres. Ces derniers s'organisent pour approvisionner la cuisine le samedi en fin de journée, puis le lundi matin. Dans ce cas, les réserves auraient intérêt à être dimensionnées pour l'équivalent de 1,5 jour de rationnement, comme ce qui a été observé dans quelques élevages. Cependant, c'est aussi l'optimisation du dimensionnement de la cuisine qui détermine cette durée.

Effet du type de reprise (vrac ou cubes) et de la durée de stockage dans les réserves sur la qualité de l'ensilage.

Peu d'études ont été réalisées mais celle de Grothmann (2015) a comparé 3 conduites de l'ensilage de maïs :

1. ensilage en silos tours transporté vers les réserves par l'intermédiaire d'une bande transporteuse, assimilé à de l'ensilage très bien conservé avec apport en vrac ;
2. balles cubiques enrubannées, assimilées à du désilage en cube très bien maîtrisé ;
3. ensilage sous film plastique assimilé à un silo classique avec approvisionnement en vrac.



Photo 8.5 : Désileuse cube en action avec de l'ensilage d'herbe



Photo 8.6 : Front d'attaque très net malgré un désilage avec un godet pour un approvisionnement en vrac



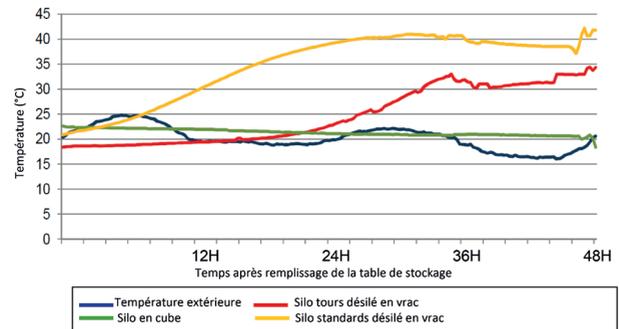
Photo 8.7 : Désilage avec godet pour alimenter les stockeurs (vrac)

Effet des 3 conduites sur l'évolution de la température des ensilages de maïs dans les réserves pendant 48 heures :

- En période hivernale : Pas de reprise de fermentation jusqu'à 48 heures avec une température quasiment stable dans les trois processus de conservation et de reprise (cube ou vrac). Pour le silo classique désilé en vrac (conduite 3), la température augmente légèrement à la fin des 2 jours, ce qui correspond sans doute à la durée maximale de stockage en période hivernale.
- En période estivale : une reprise des fermentations est observée pour les deux conduites en vrac à partir de 12 heures, contrairement aux cubes. La température de l'ensilage en cube (Graphique 8-4, courbe verte) n'a guère varié et est comparable à la température ambiante de 20°C en moyenne (graphique 8-4, courbe bleue). Dans l'ensilage très bien conservé et désilé en vrac, la température augmente après 24 heures pour atteindre

30 à 35°C après 36 heures (graphique 8-4, courbe rouge). L'augmentation de température est encore plus élevée avec l'ensilage standard désilé en vrac avec une température qui augmente après seulement quelques heures pour atteindre 40°C à partir de 24 heures (graphique 8-4, courbe jaune).

Graphique 8-4 : Evolution de la température extérieure et des ensilages en période estivale (Grothmann, 2015)



Effet des 3 conduites sur l'évolution du pH des ensilages au désilage et dans les réserves (tables ou stockeurs) 48 heures plus tard :

Le pH des ensilages au moment du désilage est correct pour les 3 conduites (tableau 8-2) et conforme aux recommandations (voir encadré 8-2). La conduite 1 obtient le pH le plus faible en hiver comme en été ce qui confirme l'option d'un « ensilage très bien conservé ».

Tableau 8-2 : Valeurs moyennes du pH de l'ensilage de maïs, avant et après 48 heures de stockage selon la saison (hiver / été) et le type d'ensilage (Grothmann, 2015)

saison	Mode de conservation et de désilage	pH avant stockage	pH 48 heures après
Hiver	1 - Ensilage très bien conservé avec désilage en vrac	3,68 ± 0,11	3,69 ± 0,10
	2 - Balles enrubannées, assimilées à du désilage en cube	3,86 ± 0,08	3,86 ± 0,11
	3 - Silo classique bâché avec désilage en vrac	3,86 ± 0,06	3,89 ± 0,08
Eté	1 - Ensilage très bien conservé avec désilage en vrac	3,81 ± 0,46	4,64 ± 0,68
	2 - Balles enrubannées, assimilées à du désilage en cube	3,83 ± 0,07	3,84 ± 0,12
	3 - Silo classique bâché avec désilage en vrac	3,96 ± 0,34	4,76 ± 0,61

Encadré 8-2

Le pH = un bon repère de la qualité de conservation des ensilages

Pour l'ensilage de maïs, le pH de stabilité doit être inférieur à 4,0, y compris en surface. Pour l'herbe, le pH de stabilité dépend du taux de matière sèche (tableau 3).

Tableau 3 : Valeurs de pH de stabilité de l'ensilage d'herbe en fonction de la teneur en matière sèche

Taux de MS	< 20 %	20-25 %	25-30 %	30-35 %	35-40 %	40-45%	> 45 %
Eté	4,0	4,2	4,3	4,5	4,6	4,8	5,0

L'évolution du pH après 48 heures de stockage subit par contre des différences significatives :

En période hivernale : Après stockage en tables ou stockeurs pendant 48 heures, le pH reste en moyenne inférieur à 4 pour les 3 conduites, en cubes donc comme en vrac ;

En période estivale, le pH augmente de manière significative pour les 2 conduites en vrac, y compris dans le cas d'un ensilage très bien conservé (conduite 1) ce qui aboutit à des valeurs de pH trop élevées qui traduisent une reprise en fermentation et une dégradation de l'ensilage. Au contraire, la conduite avec des cubes aboutit à une stabilité du pH, sans reprise de fermentation et sans échauffement.

En résumé, pour l'hiver, une conduite bien maîtrisée en vrac comme en cube permet un stockage de 48 heures dans les stockeurs ou tables. Par contre, en été, la conduite en vrac ne devrait pas dépasser 24 heures pour assurer une stabilité de l'ensilage.

Peut-on stocker plus de 48 heures en cubes ?

A partir d'un suivi de la température et du pH des ensilages de maïs, Sèité et al. (2009) ont montré qu'avec une distribution en auge mobile en libre-service, des cubes bien compacts et bien posés au sol, peuvent se conserver sur une longue durée (jusqu'à 7 jours). Par contre, des cubes légèrement effrités ou éboulés ne se conservent au maximum que quelques jours. Un circuit d'approvisionnement court avec un sol le plus plan possible permet de limiter l'effritement des cubes.

Dans le cas de tables à fond mouvant, le risque d'effritement des cubes est plus élevé. Il est donc recommandé de ne pas dépasser 48 heures de stockage, en particulier en été, et sous réserve d'avoir des ensilages très bien conservés et très bien repris (cubes compacts).



Photo 8.8 : Des ensilages bien conservés en cubes restés bien compacts

Conclusion et compléments :

Indépendamment du mode de reprise, le stockage intermédiaire des ensilages dans les cuisines augmente le risque de dégradation des ensilages. Il est donc d'autant plus important de bien maîtriser non seulement la conception des silos (encadré 8-3) mais aussi les pratiques à la récolte et quotidienne (encadré 8-4). Ces pratiques doivent être vérifiées et améliorées si besoin avant l'automatisation de l'alimentation comme le signale un éleveur (encadré 8-5).

Encadré 8-3

Attention, la conception des silos intervient aussi sur la qualité de conservation et la reprise des ensilages.

L'emplacement des silos doit faciliter le remplissage, le tassage lors du chantier et le désilage. Le dégagement minimum à l'avant du silo devrait être de 15 mètres minimum. Il est également préférable que les silos soient les plus proches possible de la cuisine avec des accès de qualité tant pour limiter le temps de travail que pour maintenir l'état des cubes d'ensilage si cette option est retenue.

Pour protéger le front d'attaque des intempéries, les silos doivent être bien orientés, si possible dos aux vents pluvieux du sud-ouest, voire de l'ouest, et de la chaleur (sud). La pente du radier doit se situer entre 1 et 2 % pour permettre l'écoulement des jus et des eaux de ruissellement par l'avant du silo.

Pour éviter l'échauffement de l'ensilage, l'avancement du front d'attaque doit être au minimum de 10 à 15 cm l'hiver et de 20 à 25 cm l'été. A partir du volume d'ensilage consommé quotidiennement par le troupeau (fonction de la densité en kg de MS/m³ d'ensilage), il est alors possible de calculer la surface maximum du front d'attaque du silo. Une fois cette surface déterminée, il faut choisir la hauteur des murs et calculer la largeur du

silo. Pour les grands troupeaux, la tendance actuelle est de construire des murs très hauts, de plus de 3 m. Cela ne facilite ni le tassage, ni la reprise.

Les murs à parois inclinées (préfabriqués) ont l'avantage de favoriser le tassement de l'ensilage au ras du mur et de permettre d'atteindre un niveau de tassement global de l'ensilage supérieur à la moyenne, gage d'une bonne qualité.



Photo 8.8 : Des ensilages bien conservés en cubes restés bien compacts

Encadré 8-4

Rappel des pratiques pour une bonne conservation des ensilages

Toutes ces recommandations sont encore plus importantes à respecter avec l'automatisation de l'alimentation qui nécessite souvent un stockage intermédiaire supplémentaire dans la cuisine :

Bien tasser le silo

- Hacher suffisamment fin : brins de 1 cm pour l'ensilage de maïs, 5 cm pour l'herbe.
- Eviter de dépasser 35 % de matière sèche (intérêt aussi pour la reprise en cube et pour éviter la reprise des fermentations dans les réserves de la cuisine).
- Remplir le silo par couches horizontales de faible épaisseur.
- Régler le rythme d'arrivée des remorques pour laisser du temps pour un bon tassage.
- Pour bien tasser contre les murs : donner une forme concave au tas en cours de remplissage.
- Pour les silos taupinières : tasser dans les deux sens, donc silos pas trop haut.

Bien fermer le silo, y compris au front d'attaque

- Recouvrir les murs d'une bâche qui sera ramenée en surface du silo en fin de chantier.
- Couvrir très rapidement après la fin du chantier.

- Utiliser une bâche neuve de qualité (certifiée) et la protéger par une autre bâche de l'année précédente).
- Charger soigneusement les bordures.
- Recouvrir uniformément la surface avec un matériau non agressif et sain (sable par exemple), ou faire des bandes rapprochées de boudins parallèlement au front d'attaque.

Ajouter des conservateurs ?

- OUI en surface : La conservation de la surface des ensilages est très délicate. Incorporer un conservateur à la dernière couche d'ensilage (par exemple 1,5 litre d'acide formique dilué par m²) permet de réduire d'environ 80% la contamination butyrique de cette zone à risque, de limiter les pertes visuelles et de simplifier la reprise en évitant ou limitant le tri ;
- NON dans la masse pour l'ensilage de maïs, OUI pour les ensilages d'herbe, sauf en conditions favorables à la conservation (+ de 35 % MS, riche en sucre, chantier brins courts...), INDISPENSABLE dans des conditions défavorables à la conservation (fourrages riches en azote comme la luzerne, conditions pluvieuses avec fourrage ayant perdu ses sucres fermentescibles...)

Encadré 8-5

Témoignage d'un éleveur (département 49) sur la qualité des ensilages

La première année d'utilisation du robot a abouti au constat d'un manque de tassement de l'ensilage et à la nécessité d'optimiser sa qualité de conservation. Le rythme du chantier d'ensilage a été diminué pour privilégier l'éclatement des grains et le tassement au silo couche par couche. La densité d'ensilage doit être la plus élevée possible. « Le coût du chantier d'ensilage doit se faire à l'hectare et non à l'heure ! La facturation à l'hectare permet de respecter la priorité au tassement et non au rendement du chantier au champ. »

8.5 Y-a-t-il des points de vigilance des automates vis-à-vis de l'alimentation ?

Oui, il est nécessaire de vérifier régulièrement les équipements de pesée : les quantités programmées correspondent-elles bien à celles réellement distribuées ? Il est intéressant de demander au fabricant de fournir la précision de pesée et le mode opératoire pour faire la tare et le contrôle du matériel. Son contrôle annuel est probablement un minimum, voire plus fréquemment en cas de doute.

8.6 Comment gérer les périodes intermédiaires avec accès partiel au pâturage ?

La plupart des élevages équipés conduisent leurs vaches en zéro pâturage. Quand les vaches laitières sont alimentées avec un régime mixte pâture et ration conservée, l'objectif est de favoriser l'ingestion d'herbe (Brocard et al., 2010 ; Chambres d'agricultures Bretagne et Pays de la Loire, 2011). Pour cela, il est recommandé de réduire les quantités de ration distribuée en fonction de la quantité d'herbe à pâturer. Au pâturage, il est préférable que les vaches n'aient pas accès à l'auge. Avec un automate, il est possible de programmer les horaires de distribution de la ration conservée. La distribution qui précède la sortie dans les prairies peut être supprimée pour inciter les vaches à consommer de l'herbe pâturée.

9 • TRAVAIL : TEMPS, PENIBILITE, SOUPLESSE

9.1 Temps de travail (hors entretien de l'auge)

Le temps de main d'œuvre pris en compte dans cette étude intègre l'approvisionnement de la cuisine, son nettoyage, la programmation de l'automate et l'entretien de l'équipement dans sa globalité.

9.1.1 Approvisionnement de la cuisine

De nombreux facteurs peuvent influencer le temps d'approvisionnement :

- Distance moyenne entre la cuisine et les silos et hangars de stockage.
- Type et dimensionnement du matériel (godet, désileuse cube, fourche)
- Nombre d'ingrédients de la ration
- Fréquence d'approvisionnement
- Niveau de robotisation (familles A à F, approvisionnement de la cuisine ou de la mélangeuse)

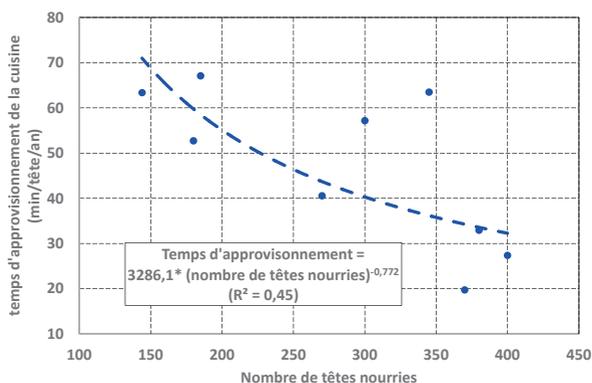
Indépendamment de ces facteurs, le temps d'approvisionnement de la cuisine indiqué par 9 éleveurs enquêtés est en moyenne de 34 minutes par jour (± 12 minutes) en période hivernale avec l'ensemble des animaux nourris (hors pâturage). Ce résultat tient compte de la fréquence d'approvisionnement (un éleveur qui réapprovisionne tous les 2 jours pendant 1h30 correspond à un approvisionnement journalier de 45 minutes). Les données collectées ne montrent pas de différence importante entre l'approvisionnement en vrac et en cube.

Dans le graphique 9.1 construit à partir des données recueillies lors de nos enquêtes, le temps de travail, ramené en minutes par tête et par an, a été corrélé au nombre de têtes nourries. Il met en évidence que plus l'effectif est élevé plus le temps d'approvisionnement annuel par tête est faible. Pour les plus grands troupeaux, les équipements choisis sont plus efficaces (godets plus gros, desil' cube plus volumineux, taille des silos adaptés, etc.). Il en résulte une économie d'échelle qui permet une plus grande efficacité du travail pour les troupeaux de taille plus importante.

L'équation de régression indiquée dans le graphique 9.1 peut être utilisée pour estimer le temps d'approvisionnement pour un effectif à 100 % en bâtiment. Les périodes de pâturage selon les catégories animales peuvent être prises en compte afin d'adapter le nombre d'animaux nourris avec l'automate et aboutir à des temps d'approvisionnement journaliers variables selon les saisons. Cette méthode a été utilisée pour modéliser les temps retenus dans le calcul des coûts proposé dans le chapitre 11.



Photo 9.1 : Le désilage en cube et le remplissage des stockeurs est un travail plus minutieux que l'approvisionnement en vrac



Graphique 9-1 : Temps d'approvisionnement de la cuisine (minutes par tête et par an) en fonction de l'effectif du troupeau présent et nourri par l'automate à 100% en bâtiment

9.1.2 Nettoyage de la cuisine

Quel que soit le matériel retenu, il y a toujours des poussières produites lors de la confection des rations, des aliments qui tombent entre les tables ou stockeurs. Le nettoyage est indispensable non seulement pour l'hygiène de l'alimentation et du site mais aussi pour garantir la pérennité du matériel, voire limiter les risques d'incendies au niveau des moteurs électriques. Quel que soit le type de stockage, un nettoyage régulier est préconisé par l'ensemble des marques.

Deux cas de figures :

1. Cas des cuisines au sol : Il est recommandé de nettoyer en particulier les résidus de grappin très régulièrement, au moins une fois par semaine pour un temps de travail estimé à 1h45. Ce temps non négligeable vient du fait que la tâche est manuelle car la cuisine n'est jamais complètement vide.
2. Cas des cuisines avec tables et/ou stockeurs : Le temps de nettoyage est plus limité (de l'ordre de trente minutes à une heure par semaine), surtout si les tables sont jointives. Il faut juste nettoyer régulièrement entre les tables et derrière le convoyeur. De temps en temps, un nettoyage plus approfondi est nécessaire. L'utilisation d'un souffleur thermique portatif facilite le travail dans les zones peu accessibles.

Le temps à y consacrer est donc variable. Nous l'estimons entre 5 et 15 minutes par jour selon le type de cuisine.

Dans le cas d'un approvisionnement quotidien (en vrac ou en cube), le dimensionnement de la cuisine est plus réduit qu'avec un approvisionnement tous les deux ou trois jours, ce qui permet de gagner du temps de nettoyage. Mais, ce dimensionnement contraint l'éleveur à approvisionner le dimanche, comme en semaine (voir partie alimentation).

9.1.3 Entretien du matériel

Quel que soit le type de matériel, il a été observé peu d'écart entre les élevages visités : il faut compter de l'ordre de 5 à 7 minutes par jour pour assurer les tâches d'entretien au cours de l'année (voir chapitre maintenance).

9.1.4 Programmation des rations

Le temps de suivi des données et le paramétrage des rations sont effectués quotidiennement. Le temps à y consacrer est estimé entre 5 et 10 minutes par jour selon le nombre de lots à nourrir, la complexité des rations et l'évolution des effectifs. Ce temps n'inclut ni la formation, ni la prise en main du matériel nécessaire à la mise en service.



Photo 9.2 : La simplicité et la didactique du logiciel de paramétrage du robot doivent être testées par les éleveurs avant l'achat

9.1.5 Temps total

Le tableau 9.1 résume le temps des différents postes de travail d'une installation robotisée. En intégrant les postes de travail réalisés de temps en temps à ceux du quotidien (approvisionnement de la cuisine, programmation des rations...), le temps de travail moyen est de l'ordre de $\frac{3}{4}$ d'heure à une heure par jour.

Tableau 9.1 :

Temps quotidiens passés par les éleveurs aux différentes tâches liées à la robotisation de l'alimentation relevées dans les élevages enquêtés.

Postes de travail	Temps journaliers
Approvisionnement de la cuisine	34 min/j en moyenne (± 12 minutes)
Nettoyage de la cuisine	5 à 15 min/j
Temps d'entretien du matériel (stockage, robot...)	5 à 7 min/j
Programmation des rations et des effectifs	5 à 10 min/j
Total	47 à 64 min/j

9.1.6 Comparaison du temps avec une chaîne d'alimentation non robotisée

Comparaison avant / après automatisation dans 4 élevages visités :

La comparaison avant et après automatisation de l'alimentation a pu être estimée à partir de 4 élevages où la conduite du troupeau (effectif, rationnement...) n'a pas été modifiée (ou de manière mineure). Le gain de temps est de l'ordre de 1h07 (-55 %) (tableau 9.2). Il est très variable selon la taille des élevages ou la nature et l'efficacité du matériel, plus ou moins optimisées avant automatisation.

Tableau 9.2 :

Estimation du gain de temps après automatisation dans 4 élevages n'ayant pas (ou peu) modifié leur conduite de l'alimentation - chiffre moyen (mini-maxi)

Nombre de têtes nourries en moyenne	279 (144 – 400)
Temps journalier d'alimentation en hiver avant automatisation	2h00 (1h00 – 2h30)
Temps journalier d'alimentation après automatisation :	33 min (25 à 47 min)
• Approvisionnement :	20 min
• Autres opérations considérées comme nécessaires (nettoyage de la cuisine + programmation des rations et suivi + entretien matériel)	(forfait - tableau 9.1)
• Total	53 min (45 à 67 min)
Gain de temps avec l'automatisation	1h07 (0h45 à 1h40) 55 % (44 à 67 %)

Simulation en condition d'alimentation correctement maîtrisée

Pour aider les éleveurs à mesurer l'effet de la robotisation sur le temps passé à l'alimentation, une simulation a été réalisée (tableau 9.3) sur les bases suivantes :

Avec robotisation : simulation pour un élevage équipé d'un robot avec cuisine et tables/stockeurs pour 300 têtes nourries dont 180 vaches laitières, 12 mois sur 12 en bâtiment, et le reste des animaux, 5 mois en bâtiment.

Trois options proposées sans robotisation (bol mélangeur/automotrice en propriété/automotrice en CUMA) : simulation à partir d'un cas-type du réseau Inosys régional des Pays de la Loire équivalent à la simulation de la robotisation (293 têtes nourries en conditions optimisées avec vaches en production en zéro pâturage et les autres animaux avec accès au pâturage).

Avec une conduite où les animaux sont très présents en bâtiment, le gain de temps de travail est important en comparaison au bol mélangeur : moins 316 heures par an soit 52 minutes gagnées par jour. Le gain de temps est plus limité avec l'automotrice en propriété : moins 119 heures par an soit 20 minutes gagnées par jour. Par contre, une légère augmentation du temps de travail de l'éleveur est observée en comparaison avec l'automotrice en CUMA : plus 46 heures par an soit 7,5 minutes par jour. Mais l'automotrice en CUMA nécessite de financer le temps du chauffeur équivalent à

231 heures par an soit 38 minutes par jour (intégré aux coûts – partie 11).

Tableau 9.3 :

Comparaison du temps de travail annuel entre la robotisation de l'alimentation et 3 chaînes d'alimentation les plus courantes

	Temps de travail sans robotisation <i>Simulation à partir d'un cas-type réseau Inosys (174 VL – 293 animaux nourris)</i>	Temps de travail avec robotisation <i>Simulation (180 VL – 300 animaux nourris)</i>	Ecart (robot – autres options)
Bol mélangeur	606 h/an	290 H/an	- 316 h/an (-52 %)
Automotrice en propriété	409 h/an		- 119 h/an (-29 %)
Automotrice en CUMA	245 h/an		+ 46 h/an (+ 19%) (b)

Le gain de temps observé serait potentiellement plus important dans les très grands troupeaux qui évoluent vers des conduites en lots avec des rations adaptées (vaches primipares ou multipares, vaches faibles ou fortes productrices...) car il est difficile d'assurer un affouragement différencié avec une chaîne d'alimentation classique (bol mélangeur ou automotrice) sauf à y passer beaucoup de temps.

La situation est moins favorable à l'automatisation si le temps passé par les animaux en bâtiment est plus réduit. Dans l'optique de saturation du robot et de rentabilité de l'outil grâce au gain de temps, il apparaît évident

qu'il y a une opposition entre le robot d'alimentation et les systèmes voulant préserver une part importante du pâturage qui correspond à la demande sociétale et qui justifie le développement de cahiers des charges comme le « lait de pâturage ».

9.2 Temps de gestion des refus dans l'auge

Comme signalé dans la partie 8 sur l'alimentation, quand l'alimentation est robotisée, la gestion des refus de l'auge est extrêmement variable d'un élevage à l'autre et le plus souvent simplifiée avec une fréquence d'élimination parfois très inférieure aux recommandations. Cela aboutit à un gain de temps confirmé par les éleveurs lors de nos enquêtes.

En considérant les recommandations avec une élimination quotidienne des refus, le temps de travail pour réaliser cette tâche est en théorie semblable aux autres modes de distribution et n'a donc pas été intégré à nos calculs de gain de temps. On peut admettre tout de même que l'automatisation permet de mieux gérer la quantité de refus grâce à la programmation quotidienne des rations.

A l'avenir, l'automatisation de cette tâche présente une marge de progrès intéressante qui permettra très probablement de se rapprocher des recommandations avec l'élimination quotidienne des refus.

9.3 Moins de pénibilité

L'alimentation non automatisée est une opération déjà fortement mécanisée que ce soit pour dessiler et pour distribuer. Cela implique un temps de travail dans le tracteur important dans un environnement bruyant avec parfois des postures inconfortables notamment pour le dessilage. La pénibilité de cette tâche quotidienne est différemment ressentie selon les éleveurs.

L'automatisation réduit considérablement le temps passé dans le tracteur et donc sa pénibilité notamment pour les rations complexes et avec un nombre de lots alimentaires important.

9.4 Plus de flexibilité et facilité de remplacement notamment le week-end

L'approvisionnement de la cuisine peut être programmé à tout moment de la journée en fonction du temps disponible de l'éleveur et de l'organisation souhaitée de la journée de travail. L'astreinte de la distribution du matin disparaît.

Dans le cadre d'un remplacement, les rations sont programmées et seul l'approvisionnement de la cuisine est à faire. Cette tâche est plus simple et plus facile à déléguer.

9.5 Conclusion sur le travail et proposition d'une démarche d'évaluation du gain de temps

A partir des enquêtes et des visites, nous constatons que les éleveurs, en robotisant l'alimentation, gagnent environ 1 heure de travail par jour pour un troupeau de 300 têtes nourries. Ce gain de temps est très variable et dépend non seulement du matériel et des pratiques avant automatisation mais aussi du système d'élevage et de son évolution (part de pâturage par exemple). Ce gain de temps est plus faible que ce qui est en général annoncé car il intègre, au-delà de l'approvisionnement de la cuisine, des tâches nécessaires mais considérées comme peu chronophages (programmation des rations et des effectifs...) ou non quotidiennes (nettoyage de la cuisine, temps d'entretien du matériel de stockage ou du robot...).

Avant d'investir dans un robot d'alimentation, nous proposons de mener la réflexion en 3 étapes pour estimer le temps de travail et les gains de temps de travail à escompter :

1. Situation de départ de l'élevage : analyse du temps réel passé dans les conditions en place.
2. Evolution de la situation sans automatisation : estimation du temps en conditions optimisées au niveau du matériel et de l'organisation du travail avec différentes solutions possibles (au choix des éleveurs) :
 - a. Le bol mélangeur.
 - b. Automotrice en propriété.
 - c. Automotrice en CUMA (ou copropriété).
3. Comparaison du gain de temps avec une des familles d'automatisation (partie 4)
 - a. Sans cuisine avec approvisionnement direct de la mélangeuse (famille A) : non étudié mais permet d'avoir un gain de temps en lien avec l'absence d'entretien de la cuisine.
 - b. Avec cuisine (familles B à E).
 - c. 100 % automatisé (famille F) : gain de temps mais solution non étudiée en l'absence d'élevages équipés.

Les résultats des élevages enquêtés et des simulations apportent des éléments pour conduire cette réflexion.

10 • CONSOMMATION D'ÉNERGIE DES SYSTEMES ROBOTISES D'ALIMENTATION

10.1 Différentes sources d'énergie selon l'automate

L'approvisionnement de la cuisine est réalisé généralement au tracteur ou au télescopique avec consommation de Gazole Non Routier (GNR). Quand l'automate est couplé à un approvisionnement soit par séchage en grange soit par silos tour, cette étape fonctionne avec l'électricité sur secteur.

Aux étapes suivantes, de manière générale, l'électricité du secteur est largement utilisée. C'est le cas dans la cuisine des tables à fonds mouvants, des silos avec vis, des convoyeurs (tapis, grappin) et des mélangeuses fixes.

Pour la dernière étape de la distribution, différentes sources

d'énergie sont utilisées selon le mode de déplacement de l'automate (voir tableau 10.1). Les modes de distribution avec rail ou avec tapis utilisent l'électricité sur secteur. Les automates de distribution sur roues peuvent utiliser quant à eux 3 types de sources d'énergie selon les modèles :

- L'électricité sur secteur
- L'électricité stockée sur batterie
- Le GNR

Tableau 10.1 :

Type de source d'énergie utilisée par l'automate en fonction de son mode de déplacement et de son modèle

Mode déplacement de l'automate	Source d'énergie utilisée	Marques (modèles de l'automate)
Rail	Electricité du secteur	ALTEC (DVS 14 DG)
		DELAVAL (Wagon RA135 ou OTS)
		GEA (Free Stall Feeder, Mix Feeder, Mix & carry)
		KHUN (K2 Feed Robot, K2 Easy Feed)
		ROVIBEC (DEC SR, DEC HDR ou DEC DP)
		TRIOLIET (HP 2300)
		VALMETAL* (DAF)
Roues	Electricité du secteur	ROVIBEC (ROVER MVR)
		TRIOLIET (HP2300)
	Electricité stockée sur batterie	DELAVAL automate sur roues
		JEANTIL (Automatic Feeding)
		LELY (Vector)
		LUCAS G (I-Ron Mixt)
		TRIOLIET (WB 2250 et WP 2300)
		VALMETAL* (Robocart)
		WASSERBAUER (Shuttle Eco)
	Gazole Non Routier	ALTEC (Colibri DVA)
CORMALL (Multifeeder V4)		
Tapis	Electricité du secteur	CORMALL distribution par tapis
		VALMETAL convoyeur nourrisseur*

* importateur exclusif en France : société Ph Deru (52)

10.2 Les automates sur roues alimentés sur secteur

Ces modes de fonctionnement sont les plus récents. Ils répondent au besoin d'allier les avantages des automates sur roues aux avantages d'une alimentation électrique sur secteur. Dans ce cas l'automate sur roues est relié au secteur par un rail aérien qui sert aussi de guidage. Il devient alors plus facile de mélanger la ration au cours du déplacement voire lors de la distribution, ce qui permet de réduire les temps de non distribution et donc de gagner en efficacité (plus d'animaux peuvent être alimentés quotidiennement), cas des modèles de TRIOLIET HP2300 et ROVIBEC ROVER MVR.



Photo 10.1 : Automate Trioliet sur roue avec alimentation électrique secteur sur rail

10.3 Les automates sur roues alimentés par GNR

Le GNR (Gazole Non Routier) est utilisé par deux automates sur roues (ALTEC Colibri DVA, CORMALL Multifeeder V4).

- Cormall : Moteur Diesel 3 cylindres, réservoir 20 litres, consommation 1.5 litre/heure
- Altec : moteur diesel 4 cylindres, réservoir 15 litres.

Cette source d'énergie nécessite un temps de remplissage manuel du réservoir qui est à prendre en compte.

10.4 Les automates sur roues alimentés par batterie(s)

Les batteries des automates sur roues utilisent le plus souvent une des trois technologies suivantes : Nickel-Métal Hybride dites « lentes », Nickel Cadmium, et Lithium-ion. Leurs caractéristiques comme l'intensité d'utilisation journalière des automates interviennent sur l'autonomie, la fréquence, la durée de recharge, et la durée de vie des batteries. Ces technologies sont en pleine mutation et des évolutions positives sont à prévoir dans un proche avenir, en lien aussi avec les exigences environnementales ; certains éléments étant considérés comme polluants. Le

coût global de l'énergie devra prendre en compte non seulement la consommation mais aussi le renouvellement des batteries. Le manque de recul sur ces technologies ne permet pas d'établir de manière fiable la fréquence de ce renouvellement.

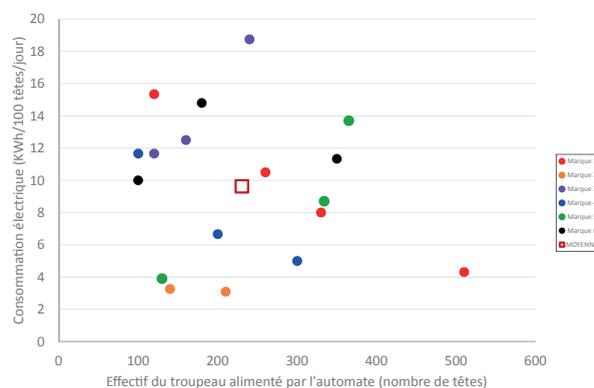
Quelques exemples de technologies et de coûts des batteries (en 2019) : l'automate Shuttle de Wasserbauer utilise 1 batterie Lithium-ion (technologie issue de l'industrie automobile). Le coût est de 2 500 € pour une durée de vie annoncée de 7 ans. Le Vector de chez Lely fonctionne avec 4 batteries de 12 volts. Le coût est de 268 € la batterie.

Points particuliers des batteries :

- Le temps de décharge conditionne la longueur maximale du parcours de distribution et d'accès aux bâtiments.
- La recharge des batteries se fait soit par séquence ininterrompue la nuit à tarif réduit, généralement sur un poste fixe dédié, soit complétée lors de l'approvisionnement dans la cuisine.
 - Lely : Lors du chargement, l'automate se connecte au réseau électrique pour le mélange et recharge en même temps les 4 batteries de 12 volts à décharge lente.
 - Trioliet : Rechargement relativement rapide des batteries lors du retour dans la cuisine (par contact glissant sur contacteur fixe dès l'entrée dans la cuisine)
 - Jeantil : Rechargement sur poste fixe séparé de la zone d'approvisionnement.

10.5 Consommation et coût de l'énergie

Consommation électrique



Graphique 10.1 : Consommation électrique annoncée par les marques selon l'effectif du troupeau alimenté par le robot d'alimentation

Le graphique 10.1 présente la consommation électrique en kWh/100 têtes nourries/jour de différents modèles d'automates sur rail ou sur roues utilisant de l'énergie

électrique présents sur le marché. Il montre distinctement que plus l'effectif d'animaux alimentés par le robot est élevé et plus la consommation électrique pour 100 têtes baisse. En d'autres termes, plus les robots sont saturés moins ils consomment d'électricité par tête et donc plus l'efficacité énergétique est grande.

La consommation moyenne calculée à partir de 18 situations décrites par les différentes firmes est de 9,5 kWh/j/100 têtes nourries soit 1.42 €/j/100 têtes pour un nombre de têtes nourries moyen de 230 têtes.

Des témoignages

- L'entreprise Khun affiche les consommations électriques les plus faibles du marché. Ces résultats s'expliquent par un fonctionnement particulier de l'automate. En effet, le robot K2 Feed Robot ne mélange pas la ration avant la distribution mais le fait au cours de la distribution : les composants de la ration sont disposés par couches dans l'automate et une fraise vient découper progressivement le « sandwich » sur toute sa hauteur.
- La firme Cormall propose un type de mélangeuse fixe présentant une inclinaison forte qui permet de réduire selon la firme, de 50 % la consommation énergétique du système.
- Lely fait valoir dans son document de présentation que des apports en petites quantités dans la mélangeuse réduisent le temps de mélange et la consommation électrique du matériel.

Consommation de GNR

Les marques Altec et Cormall sont les seules à proposer des automates sur roues fonctionnant au GNR. Mais nous n'avons pas récupéré suffisamment d'éléments pour être précis sur le sujet.

Mais c'est l'approvisionnement de la cuisine ou de la mélangeuse fixe en direct qui est le principal poste de consommation de GNR. Il est intégré au coût énergétique global de l'alimentation robotisée.

Pour estimer ce que consomme en GNR l'approvisionnement des cuisines, il est nécessaire de tenir compte du nombre d'ingrédients, du nombre de déplacements par jour en moyenne, de l'éloignement des silos, de la puissance du tracteur et de la capacité du matériel.

Coût énergétique des automates

Les coûts énergétiques moyens de l'automatisation, annoncés par les différentes marques semblent du même ordre quelles que soient les familles de matériel (A à E). Le tableau 10.2 compare les dépenses énergétiques liées à la distribution de l'alimentation des élevages utilisant des moyens traditionnels de distribution à des élevages robotisés. Les résultats sont présentés en fonction du nombre d'UGB nourris par le robot. Ils montrent que le coût énergétique global de l'automatisation est inférieur de 2,25 €/jour pour 100 UGB nourris en comparaison aux modes de distribution traditionnels. Cet écart monte à 5 €/jour pour 200 UGB et atteint 9,75 €/jour pour 300 UGB ou équivalents vaches. L'efficacité énergétique augmente donc avec le nombre d'animaux nourris.

Tableau 10.2 : comparaison des dépenses énergétiques quotidiennes entre l'automatisation de l'alimentation et un mode de distribution traditionnel

Nb d'UGB	Dépenses en GNR avec une distribution traditionnelle*	Dépenses en fioul pour l'approvisionnement d'une cuisine avec une distribution automatisée ** (Famille D)	Dépenses en électricité pour une distribution automatisée sur rail (Famille D)	Gain total par jour entre une distribution automatisée et une distribution traditionnelle
100	7 €	3,00 €	1,75 €	2,25 €
200	13 €	6,00 €	2,00 €	5,00 €
300	20 €	8,00 €	2,25 €	9,75 €

* 7 litres par jour/100 UGB à 0,93 €/litre – données de suivi consommation mélangeuses – C. SAVARY - CRA Normandie 2015

** 3 litres par jour/100 UGB à 0,93 €/litre avec un tracteur équipé d'un désilcube

Anticipez vos futurs besoins électriques

Il est nécessaire d'anticiper le besoin en puissance électrique imposé par ces équipements, nécessitant souvent un renforcement de la ligne. Un exploitant enquêté nous a fait part des problèmes qu'il avait

rencontrés suite à une demande trop tardive de renforcement de sa ligne, son installation ayant été non utilisable pendant plusieurs mois ...

11 • ASPECTS ECONOMIQUES, COÛTS

L'approche économique de l'automatisation de l'alimentation reste difficile car peu d'exploitations en sont équipées. De plus, les fournisseurs adaptent leurs propositions au cas par cas et ne communiquent pas de tarifs détaillés permettant une étude comparative précise. Les éléments présentés ci-après permettent toutefois de donner une approche du coût global de ces systèmes intégrant les coûts d'investissement et de fonctionnement.

11.1 Les coûts d'investissements

11.1.1 Composition des coûts d'investissement

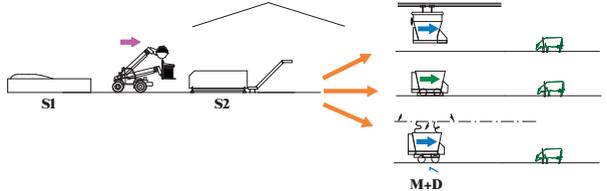
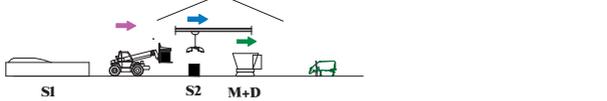
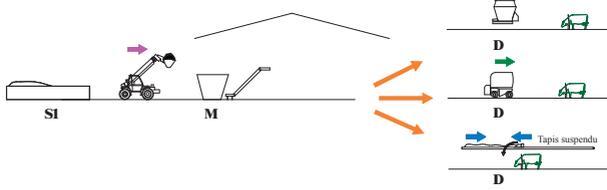
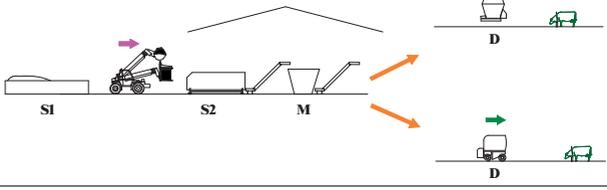
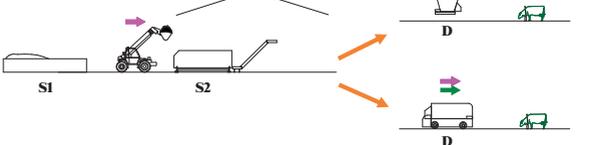
Les coûts d'investissement de l'automatisation de l'alimentation intègrent le coût des équipements proprement dit, celui de la cuisine à construire ou à aménager ainsi que les aménagements nécessaires pour le déplacement du robot : achat et pose des rails et portiques pour les automates se mouvant sur rails ou cheminement bétonné et mise en place du système de filoguidage pour les automates sur roues.

11.1.2 Coût des équipements

Le coût des équipements varie selon le type d'équipement utilisé, la capacité de ces équipements ou leur nombre et la technologie utilisée. Le nombre d'animaux à nourrir joue directement sur ces composantes du coût. Donc, plus le nombre d'animaux à nourrir est élevé et plus les équipements sont chers. Le tableau 11.1 donne des fourchettes de prix pour deux grandes classes d'effectifs nourris. 150 à 350 têtes à nourrir pour la première et 400 à 800 pour la seconde. Ces valeurs nous ont été communiquées par les différents constructeurs et par les éleveurs enquêtés. Les coûts d'investissement des équipements avec automate sur roues étant peu différents des versions sur rail, les prix ont été globalisés. Ces prix d'équipement sont bruts. Ils n'intègrent pas le coût de l'aménagement des stabulations rendu nécessaire par la mise en place des robots (cheminement, portique, rail, renforcement de la toiture des stabulations) ni celui de la construction de la cuisine.

D'autres facteurs peuvent influencer sur le coût des équipements. Le nombre d'ingrédients composant la ration dicte directement le nombre de tables ou de stockeurs à acheter. Pour cette raison, certains éleveurs au moment de l'achat du robot réduisent la complexité de la ration pour limiter l'investissement. La fréquence de réapprovisionnement de la cuisine joue également sur la dimension des tables et des stockeurs et donc sur le coût.

Tableau 11.1 : Coûts des équipements composant l'automatisation par famille

Famille	Représentation schématique du fonctionnement de chaque famille
A	
B	
C	
D	
E	

11.1.3 Autres coûts d'investissements induits par le choix d'un robot de distribution

Les coûts d'investissement ne se limitent pas aux seuls coûts des équipements. D'autres investissements induits par le choix d'un robot d'alimentation sont également à intégrer au coût global pour faire un choix raisonné. Le tableau 11.2 récapitule les différents postes concernés et donne des tarifs 2019.

d'équipements et par classe d'effectifs nourris par le robot

Marque (automate sur roues et sur rail confondus)	Coût d'investissements (en K €)	
	Pour 150 à 350 têtes nourries par le robot	Pour 400 à 800 têtes nourries par le robot
GEA, Kuhn, Rovibec, Trioliet	150 – 200 (*)	250 – 320 (*)
Lely	135 – 180	230 - 360
Cormall, Delaval, GEA, Jeantil, Kuhn, Rovibec, Trioliet	135(*) (**)	Pas adapté
DeLaval, GEA, Jeantil, Lucas	150 -200(*)	250 – 320(*)
Altec	120 à 200 (*)	220 – 260 (*)

Tableau 11.2 : Coûts d'investissement induits par le choix d'une alimentation robotisée

Postes d'investissements	Tarifs Pays de la Loire 2019
Dalle pour cheminement des automates de distributions sur roues (terrassement et empiérement compris)	34 à 42 €/m ²
Fourniture et pose du rail d'un automate sur rail	75 à 100 €/ml
Portiques support de rail (3,5t)	55 à 130 €/ml
Bâtiment cuisine (terrassement, maçonnerie, charpente, EDF) : - Option bâtiment ouvert sur 1 long pan - Option bâtiment fermé par un rideau brise vent amovible	130 à 150 €/m ² 150 à 180 €/m ²
Portail à ouverture automatisée avec sécurité (détection des passages)	200 à 250 €/m ²
Portail remplacé par des lanières en plastique	50 à 70 €/m ²
Coût du dessil'cube	10 à 15 000 €
Silos couloirs avec murs banchés de 2.00 m	75 à 80 €/m ²

11.1.4 Comment réduire les coûts induits ?

Pour réduire ces coûts d'investissement, il faut tout d'abord choisir la famille d'automate la plus adaptée à son site d'élevage ! Par ailleurs, certaines situations de départ ne permettent pas d'opter pour l'automatisation de l'alimentation. Pour chaque solution, on devra bien peser ses avantages et ses inconvénients et les comparer aux équipements plus conventionnels.

Il faut rechercher également à limiter le plus possible les déplacements de l'éleveur et de l'automate. Avoir une réflexion globale sur l'emplacement des silos et de la cuisine par rapport à l'accessibilité des livraisons extérieures (concentré et minéraux), des chantiers d'ensilage (accès des tracteurs et remorques) et du fonctionnement quotidien (alimentation de la cuisine).

Dans certaines situations, le choix de robotiser l'alimentation oblige à repenser les silos existants trop éloignés, mal proportionnés (taille du silo, avancement du front d'attaque) ou inadaptés (dessil'cube ou reprise en vrac). Il devient alors nécessaire de reconstruire un ou plusieurs silos ce qui peut au final coûter très cher. Par exemple, le coût de deux silos couloir de chacun 10 m de large et 35 m de long avec 3 murs de 2 m coûte 55 000 € ! Une fois encore l'analyse de la situation initiale est primordiale et peut permettre d'éviter de nombreux surcoûts.

Solution astucieuse : Dans le cas des familles d'automates sur roues, l'entrée des bâtiments fermés par des portails coulissants classiques n'est pas compatible. La solution proposée est souvent l'automatisation du portail (portail sur enrouleur avec détection de l'automate et type de sécurité) pour un coût d'environ 250 €/m² soient 5 000 € pour un portail de 20 m² ! Il est possible de faire des économies en créant un sas d'entrée déporté dont l'ouverture est limitée à la seule dimension du robot permettant un passage libre

tout en évitant les courants d'air. Ce dispositif coûte deux fois moins cher et peut être auto-construit (voir la photo 11.1). Certains éleveurs optent aussi pour des portails en lanières de plastique souple. Cependant si ce dispositif est efficace et peu coûteux en comparaison d'un portail classique, il peut provoquer l'arrêt de l'automate de distribution mis en sécurité suite au contact avec les lanières.



Photo 11.1 : Entrée déportée pour le robot, fermée par un portail fait de lanières plastiques ce qui permet de maintenir fermé le grand portail du couloir d'alimentation les jours de vent et de pluie

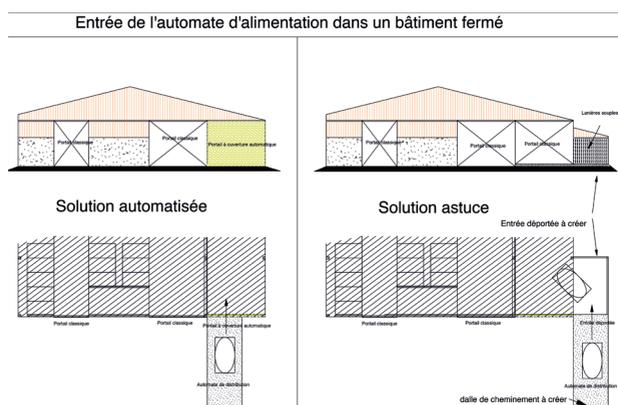


Schéma 11.1 : Principe de l'accès déporté

11.1.5 Gains économiques induits par la robotisation de l'alimentation

Le choix de robotiser l'alimentation peut permettre à certains égards de faire des économies. Certains constructeurs mettent en avant le gain qui peut être réalisé en réduisant la largeur des couloirs. Certes, la largeur des couloirs d'alimentation peut être adaptée aux caractéristiques de l'automate, mais dans une certaine limite et uniquement dans le cas de la construction d'un bâtiment neuf ou d'un réaménagement lourd d'un bâtiment existant (voir chapitre 7). En contrepartie, il faut comptabiliser les éléments de construction supplémentaires en lien avec l'automatisation (la cuisine, les cheminements...).

A partir de 3 projets concrets réalisés dans les Pays de la Loire, nous avons simulé une option avec robot d'alimentation sur roues afin de calculer l'impact réel. Le solde d'investissement en bâtiment entre une distribution robotisée et une distribution traditionnelle a été calculé pour les 3 projets et est présenté dans les tableaux 11.3 (projet 1), 11.4 (Projet 2) et 11.5 (Projet 3). Les prix retenus sont les prix de référence observés par les Chambres d'agriculture dans les Pays de la Loire en 2020.

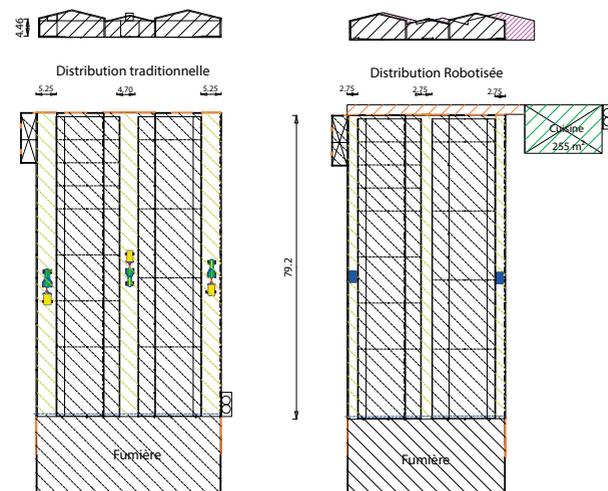
PRÉSENTATION DES PROJETS ÉTUDIÉS

Légende communes aux plans projetés



Projet 1 :

Stabulation pour vaches allaitantes (vêlage d'automne), 250 couples mère/veau logés et nourris avec un robot sur roues



Plan 11.1 : Plans de principe d'une stabulation de 250 mètres/veaux avec distribution traditionnelle et distribution robotisée – Projet 1

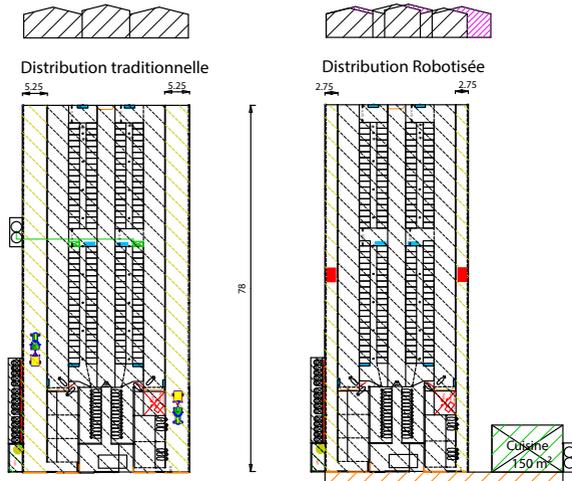
	Coût (en euro HT)	Superficies et volumes en jeu
Moins-value estimée due à la réduction de surface du bâtiment	55 544 €*	556 m ² de bâtiment en moins
Plus-value due à la construction de la cuisine et du cheminement bétonné	55 054 €	Cuisine de 250 m ² et cheminement de 100 m ²
Solde d'investissement en bâtiment	-490 €	

Tableau 11.3 : Calcul du solde d'investissement en bâtiment entre une distribution robotisée et une distribution traditionnelle Projet 1

En moyenne dans les 3 exemples proposés, la solution robotisée engendre une réduction de la surface de stabulation de l'ordre de 2,3 m²/UGB, et également une diminution globale du volume du bâtiment de l'ordre de 18 à 22 m³/UGB. Cela représente une réduction notable des surfaces empierrées, bétonnées et couvertes, ainsi que des surfaces de bardage et de portails. Le gain moyen au bénéfice de l'option « robot » atteint 41 931 € (230 €/UGB) sur les 3 projets.

Projet 2 :

Stabulation pour vaches laitières avec deux couloirs d'alimentation latéraux – 150 vaches laitières logées et nourries avec un robot sur roues



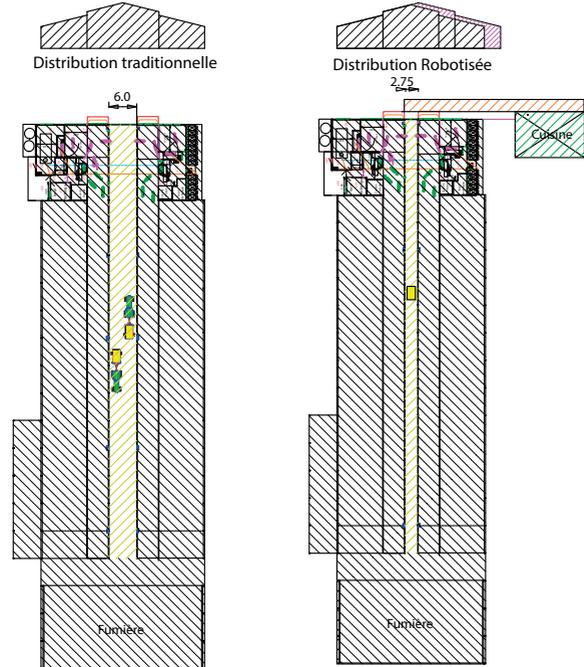
Plan 11.2 : Plans de principe d'une stabulation de 150 vaches laitières avec deux couloirs d'alimentation latéraux pour une distribution traditionnelle de l'alimentation et une distribution robotisée - Projet 2

	Coût (en euro HT)	Superficies et volumes en jeu
Moins-value estimée due à la réduction de surface du bâtiment	-39 260 €	390 m ² de bâtiment en moins
Plus-value due à la construction de la cuisine et du cheminement bétonné	+40 405 €	Cuisine de 150 m ² et cheminement de 100 m ²
Solde d'investissement en bâtiment	+1 145 €	

Tableau 11.4 : Calcul du solde d'investissement en bâtiment entre une distribution robotisée et une distribution traditionnelle – Projet 2

Projet 3 :

Stabulation pour vaches laitières avec un seul couloir d'alimentation central – 150 vaches laitières logées et nourries avec un robot sur roues.



Plan 11.3 : Plans de principe d'une stabulation de 150 vaches laitières avec couloir d'alimentation central pour une distribution traditionnelle de l'alimentation (à gauche) et une distribution robotisée (à droite) - Projet 3

	Coût (en euro HT)	Superficies et volumes en jeu
Moins-value estimée due à la réduction de surface du bâtiment	-30 990 €	390 m ² de bâtiment en moins
Plus-value due à la construction de la cuisine et du cheminement bétonné	+40 405 €	Cuisine de 150 m ² et cheminement de 100 m ²
Solde d'investissement en bâtiment	+9 415 €	

Tableau 11.5 : Calcul du solde d'investissement en bâtiment entre une distribution robotisée et une distribution traditionnelle – Projet 2.1

En contrepartie, la construction d'une cuisine d'une surface estimée à un mètre carré par UGB nourri par le robot et celle d'un cheminement bétonné complémentaire de 100 m² atteignent un coût en moyenne sur les trois projets de 45 288 € (253 €/UGB).

Malgré tout, pour le projet 1, l'investissement en bâtiment est légèrement inférieur, de 490 €, dans l'option distribution robotisée (Tableau 11.3) alors qu'il est légèrement supérieur, de

1 145 €, pour le projet 2 (Tableau 11.4) et nettement supérieur, de 9 415 €, dans le projet 3 (Tableau 11.5). En moyenne sur les 3 projets avec une cuisine de petite dimension (toujours plus chère au mètre carré) et séparée de la stabulation, le solde bâtiment est à l'avantage de la distribution traditionnelle avec un solde bâtiment de 3 356 € (23 €/UGB) malgré le gain de surface obtenu.

11.2 Les coûts de fonctionnement

Le coût de fonctionnement s'explique essentiellement par le temps passé par les éleveurs (quantité de main d'œuvre de l'exploitant) qui représente 50 % du coût de fonctionnement global. Vient ensuite le poste lié à la consommation d'énergie (25%).

Le chapitre 9 présente les différentes tâches qui demandent du temps aux éleveurs. Il faut du temps pour approvisionner et nettoyer régulièrement la cuisine. L'ensemble des équipements doivent également être entretenus et vérifiés (graissage, réglage, changement de chaînes sur les tables, changement des batteries...). Ce qui correspond à environ 25 % du coût de fonctionnement.

Le chapitre 9 donne des coûts de consommation d'énergie sous forme de GNR ou d'électricité.

Pour limiter les coûts de fonctionnement, il est impératif de bien réfléchir aux circulations des hommes et du matériel pour limiter les temps de déplacement. La place des silos par rapport à la cuisine est donc primordiale. On peut également conseiller de privilégier un entretien régulier du matériel et de la cuisine plutôt qu'occasionnel.

11.3 Modélisation des coûts de l'automatisation de l'alimentation

Un coût total annuel a été estimé sur la base de modélisations des coûts d'investissement annuels et des coûts de fonctionnement, à partir des retours des éleveurs et des fournisseurs.

Deux calculs ont été menés en parallèle :

- situation en zéro pâturage pour les vaches laitières,
- et situation avec pâturage au printemps et silos ouverts toute l'année (système Pays de la Loire) avec 10,5 mois de temps de présence cumulé en bâtiment des vaches en production.

Dans les deux cas, les génisses de moins de 6 mois ont été comptées avec un temps de présence de 12 mois sur 12 en bâtiment et les génisses de plus de 6 mois avec un temps de présence de 5 mois sur 12 en bâtiment (période hivernale).

Les hypothèses retenues :

- Quatre tailles de troupeau 100 % laitier : 150, 300, 420 et 800 têtes de bétails (vaches traites, vaches taries, génisses de renouvellement).
- Automate de distribution sur rail (famille A) ou sur roues (famille D) pour chaque taille de troupeau. Pour les options sur rail, nous avons retenu un bâtiment compact pour tous les animaux (table d'alimentation double). Pour les versions sur roues, le choix a été fait de partir sur des bâtiments séparés mais proches. (Optimisation des cheminements).
- Conditionnement de l'ensilage du maïs et de l'herbe sur les tables en cubes.
- Dimensionnement des dessil'cubes fonction du volume du troupeau (2,5 m³ pour les 150 à 300 têtes et 3,6 m³ pour les 420 à 800 têtes).
- Ration distribuée : 70 % ensilage de maïs, 25 % ensilage d'herbe, 5 % foin concentrés et minéraux.
- Construction d'une cuisine adaptée à chaque taille de troupeaux étudiés.
- Equipements spécifiques pris en compte : portiques pour la solution sur rail et cheminement béton pour la solution avec roues.
- Calcul des annuités d'investissement pour la construction de la cuisine réalisé sur la base d'une durée d'amortissement de 15 ans à un taux de 2,5 %, celui des équipements sur 10 ans à 2 %.
- Largeur des couloirs d'alimentation non réduits (5 m).

11.3.1 Modélisation des coûts d'investissements

L'investissement a été dimensionné pour le nombre de têtes maximal à alimenter en période hivernale (100 % bâtiment pour les vaches laitières et génisses). Les coûts de la cuisine et de l'équipement sont donc identiques avec ou sans pâturage des vaches.

Tableau 11.4 : Répartition des investissements par type de distribution et par taille du troupeau nourri

Nature de l'investissement	Système sur rail				Système sur roues			
	150	300	420	800	150	300	420	800
Taille du troupeau nourri par le robot								
Nombre de tête	150	300	420	800	150	300	420	800
Nombre d'UGB	120	250	350	660	120	250	350	660
Investissement total	205 690 €	266 500 €	328 250 €	443 500 €	199 120 €	250 200 €	308 100 €	400 550 €
Système d'alimentation automatisée	150 000 €	200 000 €	250 000 €	320 000 €	150 000 €	200 000 €	250 000 €	320 000 €
Cuisine avec rideau fermé	42 000 €	42 000 €	45 000 €	63 000 €	42 000 €	42 000 €	45 000 €	63 000 €
Rail	13 690 €	24 500 €	33 250 €	60 500 €	- €	- €	- €	- €
Cheminement + filoguidage	- €	- €	- €	- €	7 120 €	8 200 €	13 100 €	17 550 €
Coûts ramenés à l'unité de production								
Par tête nourrie	1 371 €	888 €	782 €	554 €	1 327 €	834 €	734 €	501 €
Par UGB	1 714 €	1 066 €	938 €	672 €	1 659 €	1 001 €	880 €	607 €
Par 1000 l de lait	257 €	156 €	138 €	97 €	249 €	146 €	130 €	88 €
Annuité d'investissement/1000l	27 €	17 €	15 €	10 €	26 €	16 €	14 €	9 €

Le tableau 11.4 présente les résultats de la modélisation sur les coûts d'investissement. Il montre que plus le nombre de têtes à alimenter augmente plus le coût d'investissement par tête diminue. Cela vient du fait que la surface de la cuisine n'augmente pas de façon proportionnelle au nombre de têtes à alimenter. Les surfaces de cuisines sont calculées en optimisant le linéaire des tables et leur nombre. De plus, dans nos hypothèses, la hauteur des cubes pour les plus grands troupeaux est plus élevée (modèle de désil'cube supérieur), le volume stocké au mètre carré de table est donc dans ce cas supérieur.

Le tableau 11.4 montre également que pour des tailles de troupeaux équivalentes, on a peu d'écart sur les coûts d'investissement entre les options sur rails ou avec roues, de l'ordre d'un euro par mille litres de lait. Le coût en investissement ne va donc pas être déterminant pour le choix du type d'automate. C'est plus l'adaptabilité des équipements à la situation existante (bâtiments existants proches ou éloignés) que le coût qui décidera alors de ce choix.

11.3.2 Modélisation des coûts de fonctionnement

Les facteurs qui vont intervenir sur les coûts de fonctionnement sont liés avant tout :

- d'ensilage, hangars fourrage par rapport à la cuisine qui détermine des temps de trajet et des temps de manœuvres,
- à la maintenance du matériel (graissage, batteries pour les options sur roues,...),
- aux consommations de GNR et d'électricité,
- au temps passé par l'éleveur y compris le temps de nettoyage des installations.

Les hypothèses retenues pour la modélisation des coûts de fonctionnement sont :

- Consommation énergétique conforme au tableau 10.2.
- Temps de main d'œuvre éleveur conforme à l'équation donnée par le graphe 9.1.
- Coûts de mécanisation d'un manuscopique et d'un dessil'cube issus des données CUMA (intégrant amortissement, fuel, assurance, frais financiers).
- Coût horaire de main d'œuvre éleveur, fixé à 1,5 SMIC à 10,03 soit 15,045 €/h.
- Coût horaire de main d'œuvre du chauffeur CUMA 25 €/h.

Tableau 11.5 : Répartition des coûts de fonctionnements en « zéro pâturage » par option de distribution et par taille du troupeau nourri

Nature du coût de fonctionnement	Système sur rail				Système sur roues			
Taille du troupeau nourri par le robot								
Nombre de têtes	150	300	420	800	150	300	420	800
Nombre d'UGB	120	250	350	660	120	250	350	660
Références laitières (litre lait produit)	800 000	1 710 000	2 375 000	4 560 000	800 000	1 710 000	2 375 000	4 560 000
Temps de travail								
Total alimentation compris appro cuisine jusqu'à nettoyage refus (mn/tête/an)	108	58	44	26	108	58	44	26
Coûts (€ par an)								
Fonctionnement hors main d'œuvre	6 198 €	8 239 €	10 299 €	14 114 €	7 464 €	9 954 €	12 486 €	17 282 €
Mécanisation	3 931 €	4 714 €	5 113 €	5 946 €	3 931 €	4 714 €	5 113 €	5 946 €
Entretien annuel	2 000 €	3 000 €	4 500 €	7 000 €	2 000 €	3 000 €	4 500 €	7 000 €
Remplacement batteries	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	1 000,00 €	1 200,00 €	1 500,00 €	2 000,00 €
Energie : électricité	267 €	526 €	687 €	1 168 €	534 €	1 040 €	1 373 €	2 336 €
Main d'œuvre	4 107 €	4 536 €	4 784 €	5 502 €	4 107 €	4 536 €	4 784 €	5 502 €
Fonctionnement + main d'œuvre	10 304 €	12 775 €	15 083 €	19 615 €	11 571 €	14 490 €	17 270 €	22 783 €
Coûts ramenés à l'unité de production								
Fonctionnement hors MO /tête	41 €	27 €	25 €	18 €	50 €	33 €	30 €	22 €
Fonctionnement & MO / tête	69 €	43 €	36 €	25 €	77 €	48 €	41 €	28 €
Fonctionnement & MO / UGB	86 €	51 €	43 €	30 €	96 €	58 €	49 €	35 €
Fonctionnement / 1000 l	12,9 €	7,5 €	6,4 €	4,3 €	14,5 €	8,5 €	7,3 €	5,0 €

Le tableau 11.5 présente les coûts de fonctionnement obtenus dans la modélisation en « zéro pâturage ». Et dans la même logique que pour le coût d'investissement, plus l'effectif nourri augmente, plus le coût de fonctionnement est réduit par tête nourrie.

Mais à l'inverse des coûts d'investissement, les automates sur roues engendrent des coûts de fonctionnement supérieurs de 1 € pour 1000 litres en moyenne. Pourtant, le temps moyen nécessaire pour approvisionner la

cuisine d'environ une demie heure par jour ne diffère pas sensiblement entre les solutions sur roues et celles sur rails. En revanche, le coût des consommations électriques diffère notablement et peut doubler entre une option sur rail et une option sur roues à cause des batteries.

La main d'œuvre représente 20 à 25 % du coût total de fonctionnement dans les deux options étudiées.

Tableau 11.6 : Répartition des coûts de fonctionnement en système pâturant par option de distribution et par taille du troupeau nourri

Nature du coût de fonctionnement	Système sur rail				Système sur roues			
Taille du troupeau nourri par le robot								
Nombre de tête	150	300	420	800	150	300	420	800
Nombre d'UGB	120	250	350	660	120	250	350	660
Références laitières (litre lait produit)	800 000	1 710 000	2 375 000	4 560 000	800 000	1 710 000	2 375 000	4 560 000
Temps de travail								
Total alimentation compris appro cuisine jusqu'à nettoyage refus (mn/tête/an)	104	58	43	26	104	58	43	26
Coûts (€ par an)								
Fonctionnement hors main d'œuvre	5 791 €	7 761 €	9 783 €	13 515 €	7 058 €	9 476 €	11 970 €	16 683 €
Mécanisation	3 525 €	4 235 €	4 597 €	5 347 €	3 525 €	4 235 €	4 597 €	5 347 €
Entretien annuel	2 000 €	3 000 €	4 500 €	7 000 €	2 000 €	3 000 €	4 500 €	7 000 €
Remplacement batteries	0 €	0 €	0 €	0 €	1 000 €	1 200 €	1 500 €	2 000 €
Energie : électricité	267 €	526 €	687 €	1 168 €	534 €	1 040 €	1 373 €	2 336 €
Main d'œuvre	3 900 €	4 328 €	4 561 €	5 248 €	3 900 €	4 328 €	4 561 €	5 248 €
Fonctionnement + main d'œuvre	9 692 €	12 089 €	14 344 €	18 763 €	10 958 €	13 804 €	16 531 €	21 931 €
Coûts ramenés à l'unité de production								
Fonctionnement hors MO /tête	39 €	26 €	23 €	17 €	47 €	32 €	28 €	21 €
Fonctionnement & MO / tête	65 €	40 €	34 €	23 €	73 €	46 €	39 €	27 €
Fonctionnement & MO / UGB	81 €	48 €	41 €	28 €	91 €	55 €	47 €	33 €
Fonctionnement / 1000 l	12,1 €	7,1 €	6,0 €	4,1 €	13,7 €	8,1 €	7,0 €	4,8 €

Le tableau 11.6 présente les coûts de fonctionnement obtenus dans la modélisation en système pâturant. Dans les hypothèses retenues pour bâtir ce modèle, le temps de pâturage des vaches est relativement faible en adéquation aux cas-types du réseau Inosys qui correspond aux situations très présentes dans les Pays de la Loire. Cela explique en partie la faible différence qu'il y a entre ces chiffres et ceux du tableau 11.7 en « zéro pâturage » des vaches en production.

Par ailleurs, de la même manière et pour les mêmes raisons qu'en zéro pâturage, les robots sur roues sont légèrement plus coûteux en fonctionnement que les robots sur rail.

Au final, les coûts de fonctionnement diminuent avec l'augmentation du nombre de têtes alimentées.

Pour couvrir toutes les situations, il resterait à modéliser des situations, également représentées dans l'Ouest, où les durées de pâturage des vaches en production sont plus longues et s'étendent sur 5 à 6 mois.

11.3.3 Modélisation du coût total annuel

Pour un système « zéro pâturage » des vaches en production

Tableau 11.7 : Répartition des coûts totaux en « zéro pâturage » par système de distribution et par taille du troupeau nourri.

	Système sur rail				Système sur roues			
Taille du troupeau nourri par le robot								
Nombre de tête	150	300	420	800	150	300	420	800
Nombre d'UGB	120	250	350	660	120	250	350	660
Références laitières (litre lait produit)	800 000	1 710 000	2 375 000	4 560 000	800 000	1 710 000	2 375 000	4 560 000
Coûts d'investissement	205 691 €	266 500 €	328 250 €	443 500 €	199 119 €	250 200 €	308 100 €	400 550 €
Annuités d'investissement								
Global	21 615 €	28 385 €	35 168 €	47 448 €	20 884 €	26 570 €	32 925 €	42 667 €
Par tête nourrie	144 €	95 €	84 €	59 €	139 €	89 €	78 €	53 €
Par UGB	180 €	114 €	100 €	72 €	174 €	106 €	94 €	65 €
Par 1000 l de lait	27,0 €	16,6 €	14,8 €	10,4 €	26,1 €	15,5 €	13,9 €	9,4 €
Coût de fonctionnement avec Main d'œuvre								
Global	10 304 €	12 775 €	15 083 €	19 615 €	11 571 €	14 490 €	17 270 €	22 783 €
Par tête nourrie	69 €	43 €	36 €	25 €	77 €	48 €	41 €	28 €
Par UGB	86 €	51 €	43 €	30 €	96 €	58 €	49 €	35 €
Par 1000 l de lait	12,9 €	7,5 €	6,4 €	4,3 €	14,5 €	8,5 €	7,3 €	5,0 €
Coût total annuel avec main d'œuvre								
Global	31 919 €	41 160 €	50 251 €	67 063 €	32 455 €	41 060 €	50 194 €	65 450 €
Par tête nourrie	213 €	137 €	120 €	84 €	216 €	137 €	120 €	82 €
Par UGB	266 €	165 €	144 €	102 €	270 €	164 €	143 €	99 €
Par 1000 l de lait	39,9 €	24,1 €	21,2 €	14,7 €	40,6 €	24,0 €	21,1 €	14,4 €

Les résultats de la modélisation sont présentés dans le tableau 11.7. Entre les deux options rail ou roues, les écarts de coûts d'investissement et de fonctionnement vont dans des sens opposés et globalement s'annulent. Ainsi, les deux modes de locomotion de l'automate étudiés présentent des coûts totaux équivalents. Le choix de telle ou telle famille ne se fera donc pas sur le coût de l'installation mais sur la cohérence entre le choix de la solution technique et le système d'exploitation. Par exemple avec des bâtiments « éclatés », il est plus judicieux de partir sur une option avec roues. L'option sur rail n'a d'intérêt que dans les cas d'ensembles compacts (circuit en boucle simple).

Pour des effectifs limités, le niveau de saturation du matériel (capacité d'export, nombre de rations, de distributions,...)

est loin d'être atteint ce qui augmente le coût total. L'accroissement des effectifs permet de rationaliser le coût d'investissement et par conséquent de diminuer le coût total par tête. L'adaptabilité des dispositifs d'alimentation robotisés fait qu'il est difficile de fixer une limite d'effectifs ou de préciser le niveau de saturation des équipements.

Dans les exploitations enquêtées, les équipements n'étaient pas saturés. Le choix de la robotisation ne s'est donc pas fait sur le seul critère financier.

Une autre simulation a été faite en tenant compte cette fois d'une réduction de largeur des couloirs d'alimentation de 1 m par côté distribué (2 m pour un couloir central). Les coûts totaux annuels aux 1000 litres obtenus sont inférieurs de 1 à 1,5 € à ceux du tableau 11.7.

Pour un système « pâturant » des vaches en production

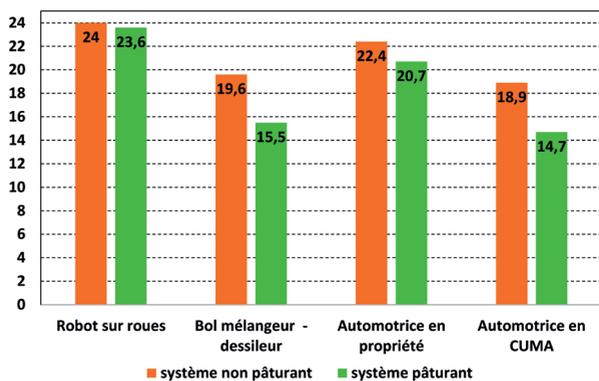
Tableau 11.8 : Répartition des coûts totaux en « système pâturant » par option de distribution et par taille du troupeau nourri.

Taille du troupeau nourri par le robot	Système sur rail				Système sur roues			
	150	300	420	800	150	300	420	800
Nombre de tête	150	300	420	800	150	300	420	800
Nombre d'UGB	120	250	350	660	120	250	350	660
Références laitières (litre lait produit)	800 000	1 710 000	2 375 000	4 560 000	800 000	1 710 000	2 375 000	4 560 000
Total investissement	205 691 €	266 500 €	328 250 €	443 500 €	199 119 €	250 200 €	308 100 €	400 550 €
Annuités d'investissement								
Global	21 615 €	28 385 €	35 168 €	47 448 €	20 884 €	26 570 €	32 925 €	42 667 €
Par tête nourrie	144 €	95 €	84 €	59 €	139 €	89 €	78 €	53 €
Par UGB	180 €	114 €	100 €	72 €	174 €	106 €	94 €	65 €
Par 1000 l de lait	27 €	17 €	15 €	10 €	26 €	16 €	14 €	9 €
Coût de fonctionnement avec Main d'œuvre								
Global	9 692 €	12 089 €	14 344 €	18 763 €	10 958 €	13 804 €	16 531 €	21 931 €
Par tête nourrie	65 €	40 €	34 €	23 €	73 €	46 €	39 €	27 €
Par UGB	81 €	48 €	41 €	28 €	91 €	55 €	47 €	33 €
Par 1000 l de lait	12,1 €	7,1 €	6,0 €	4,1 €	13,7 €	8,1 €	7,0 €	4,8 €
Coût total annuel avec main d'œuvre								
Global	31 307 €	40 474 €	49 512 €	66 211 €	31 842 €	40 374 €	49 455 €	64 598 €
Par tête nourrie	209 €	135 €	118 €	83 €	212 €	135 €	118 €	81 €
Par UGB	261 €	162 €	141 €	100 €	265 €	161 €	141 €	98 €
Par 1000 l de lait	39,1 €	23,7 €	20,8 €	14,5 €	39,8 €	23,6 €	20,8 €	14,2 €

Le tableau 11.8 donne les résultats de la modélisation des coûts totaux pour les systèmes pâturants. Ces systèmes montrent logiquement une réduction des coûts totaux, réduction expliquée par la différence du coût

de fonctionnement qui s'amoinde quand les effectifs augmentent. Cependant la différence est faible de par la courte durée de pâturage équivalent temps plein retenue dans le cas type Inosys Pays de la Loire (1,5 mois).

11.4 Comparaison des coûts de l'automatisation de l'alimentation avec d'autres modes de distribution les plus courants



Graphique 11.9 : Comparaison des coûts totaux annuels pour un troupeau nourri de 300 têtes entre 4 modes de distribution de l'alimentation et pour deux systèmes, pâturant et non pâturant

Le graphique 11.9 permet de comparer, pour une exploitation de 300 têtes nourries (vaches et génisses confondues), le coût total annuel d'une distribution automatisée, version sur rail et version sur roues, à trois autres modes de distribution non robotisés. Pour ces 5 options, les hypothèses retenues sont comparables (effectif nourri et durée de pâturage équivalents). Le coût total proposé ici intègre le coût de la main d'œuvre éleveur et, le cas échéant, celui du chauffeur CUMA. Les coûts totaux des systèmes de distribution non robotisés ont été tirés des cas-types du réseau lait des Pays de la Loire (INOSYS).

Ces résultats montrent que l'automatisation de l'alimentation est plus coûteuse de 20 %, en comparaison aux trois modes de distribution non robotisés. Cette différence vient en grande partie des coûts d'investissement élevés des équipements dans le cas d'une distribution automatisée qui représentent 65 % du montant total. Elle est maximale avec une désileuse automotrice de la CUMA conduite par un chauffeur CUMA qui présente un coût total le moins élevé de la simulation. Dans ce cas, la différence avec l'automatisation, que l'automate soit sur roues ou sur rail, est de l'ordre de 5 €/1000L de lait en zéro pâturage et de 9 € en système pâturant. Cette différence s'ajoute au gain de temps pour l'éleveur évalué à 46 heures par an en zéro pâturage avec l'option en CUMA (Cf. tableau 9.3). Elle est moindre avec une désileuse automotrice en propriété. Mais dans ce cas le gain de temps est à la faveur de la robotisation, de l'ordre de 119 heures par an pour un système zéro pâturage (Cf. tableau 9.3).

Il faut noter toutefois qu'avec un mode de distribution par une automotrice CUMA, les agriculteurs ont tendance à réduire le nombre de rations et leur complexité. De plus, cette solution n'est pas applicable partout. Enfin, en cas d'augmentation de la taille du troupeau, le matériel classique devra souvent être renouvelé alors que le robot d'alimentation pourra s'adapter à cette évolution.

Les chiffres obtenus montrent également une faible différence entre le système pâturant et le système non pâturant pour les distributions robotisées, qui s'expliquent par la part importante de l'investissement, alors que cette différence est significative pour les options non robotisées. Il en résulte logiquement que la différence à l'avantage des versions non robotisées est maximale pour les systèmes pâturants.

12 • AUTOMATISATION DE LA TRAITE OU DE L'ALIMENTATION : CRITERES DE CHOIX

L'automatisation de la traite connaît un développement important depuis une quinzaine d'années. Celle de l'alimentation est plus récente. Aujourd'hui les éleveurs qui souhaitent gagner du temps et/ou réduire la pénibilité du travail sur leur exploitation peuvent être amenés à se poser les questions suivantes : quelle est l'automatisation qui serait la plus pertinente : la traite ou l'alimentation ? Quels sont les critères qui peuvent aider à la prise de décision ?

12.1 Main d'œuvre / temps de travail

Le manque de main d'œuvre sur une exploitation ou, le départ d'un associé en retraite sont très souvent à l'origine du choix de l'automatisation sur l'exploitation.

La robotisation de la traite va supprimer les astreintes du matin et du soir. Le robot de traite ne remplacera toutefois pas l'éleveur pour le suivi du troupeau. En salle de traite, une partie de ce suivi est réalisé pendant le temps de la traite. Avec la robotisation, ce temps de suivi dans la journée ne devra pas être négligé. A ce temps, s'ajoutera celui du suivi de la machine (exploitation des données du logiciel, entretien, ...), et une permanence régulière pour les appels d'urgence.

Le robot d'alimentation va également supprimer une partie de l'astreinte de l'alimentation (préparation du mélange et distribution), en général réalisée une fois par jour sur les exploitations. Avec l'automatisation, l'éleveur consacra essentiellement son temps à l'approvisionnement de la cuisine et au suivi de la machine (logiciel, entretien, ...). Mais attention également au suivi du troupeau car le couloir d'alimentation est un lieu de passage de l'éleveur et un lieu de surveillance important. Même si on utilise de plus en plus de technologie pour surveiller le troupeau, l'œil de l'éleveur reste primordial.

Globalement, le gain de temps est plus important avec l'automatisation de l'alimentation en comparaison au robot de traite. Cet écart est d'autant plus important que le nombre de rations et leur complexité sont importants.

12.2 Pénibilité du travail

L'alimentation des animaux (hors automatisation) est une tâche totalement mécanisée (chargement de la mélangeuse avec le tracteur et distribution avec mélangeuse tractée). A contrario, la traite est une action manuelle et plus physique, même si les conditions de traite s'améliorent indéniablement avec les nouveaux équipements.

Il sera donc nécessaire, pour chaque exploitant qui s'interroge sur l'automatisation de la traite ou de l'alimentation, de définir précisément quelle est la définition de la « pénibilité de leur travail ». Pour certains,

cela pourra être la fatigue physique liée aux gestes répétés de la traite, et l'astreinte psychologique journalière. Pour d'autres, cela pourra être l'utilisation fréquente du tracteur (nombreuses montées et descentes de la cabine,...), des positions contraignantes qui deviennent pénibles au quotidien.

12.3 La taille du troupeau

Dans une logique économique, la rentabilité de l'automatisation devrait être essentiellement liée à la saturation de l'équipement. Dans le cas d'un robot de traite, la limite est assez claire : 60 à 70 vaches laitières pour une stalle, 110 à 120 vaches pour deux stalles...

Pour les robots d'alimentation, on ne raisonnera pas uniquement sur un nombre de vaches laitières mais sur l'ensemble des animaux à nourrir aujourd'hui ou dans un projet futur d'agrandissement : génisses, bovins à l'engraissement, vaches allaitantes...

La saturation se déterminera à partir de plusieurs facteurs limitants :

- le temps de distribution,
- le temps de préparation,
- le temps de déplacement,
- la complexité et le nombre de rations,
- le temps de recharge électrique pour les options avec batteries.

Chaque famille propose ses propres fourchettes, fonction du niveau d'équipements des solutions proposées.

Il faudra donc évaluer économiquement les solutions proposées les plus proches de la saturation d'un robot d'alimentation et comparer l'incidence sur les coûts de production à celle du robot de traite.

On constate aujourd'hui que la plupart des options de robotisation de l'alimentation mis en place ne sont pas saturés. La logique de la rentabilité maximale n'est donc pas le critère prioritaire dans le choix de l'automatisation sur l'alimentation.

12.4 Complexité de la ration et nombre de rations

Pour un élevage où la gestion du troupeau s'effectue par lots et où l'alimentation s'organise autour de nombreuses rations, le temps consacré à l'alimentation (préparation des mélanges et distributions) est relativement important, d'autant plus que le nombre d'animaux est grand. Dans ce cas, la mise en place d'une solution automatisée de l'alimentation va certainement permettre un gain de temps conséquent.



Photo 12.1 : écran de réglage de l'automatisation (Trioliet)

12.5 Souplesse dans le travail

En cas de remplacement (vacances, weekend...), il semble plus facile de déléguer le travail d'approvisionnement de la cuisine que de déléguer la traite du troupeau (en traite classique ou robots). L'action d'approvisionnement de la cuisine est claire et programmable, et les rations sont établies au préalable par l'exploitant, donc les risques de se tromper dans ce domaine sont très faibles. Par contre, la traite nécessite une certaine habitude et un œil d'éleveur pour repérer et traiter les problèmes éventuels liés aux alertes qui peuvent être nombreuses (mammites, comportement préventifs des animaux sur un mal être, réglages/réparation de matériel de traite...).

12.6 Vétusté de la salle de traite et/ou du matériel de distribution

La vétusté ainsi que la capacité du matériel de distribution peut amener à la réflexion sur l'automatisation de l'alimentation.

Le choix entre l'automatisation de la salle de traite ou de l'alimentation sera également guidé par l'état de vieillissement des moyens en place.

Dans le cadre d'un projet, il faut évaluer pour les 5 ans à venir la vétusté et les coûts de maintenance prévisibles des outils de travail en place.

La salle de traite est-elle adaptée pour répondre aux besoins de l'élevage : état du matériel/vétusté, nombre de postes, fonctionnalité de traite (entrée et sortie aisée des animaux, plain-pied pour les éleveurs, parc d'attente bien dimensionné et facile à nettoyer...)?

Au niveau de l'alimentation, les outils en place sont-ils adaptés, vétustes, insuffisants... ?

La situation de ces deux éléments de production est évidemment primordiale pour prioriser et évaluer les investissements. Où ai-je le plus à gagner en termes d'investissement, de temps et de confort dans ces domaines ? Si la salle de traite est récente et fonctionnelle, le projet ira logiquement vers l'alimentation robotisée. A contrario, une situation avec une salle de traite en bout de course, donnera sans doute la priorité à la traite. Un éleveur qui souhaite réinvestir dans du matériel de distribution classique, (chargeur, mélangeuse tractée, automoteurs...) peut aussi comparer à une solution robotisée...

12.7 Organisation des bâtiments

Au niveau de la traite, il est rare qu'on ne puisse pas installer une robotisation sur un bâtiment laitier existant. Par contre, l'organisation des bâtiments sur le site de production peut rendre difficile l'installation de l'automatisation de l'alimentation. C'est le cas notamment lorsque les bâtiments sont très éclatés ou répartis sur deux sites par exemple séparés par une route. La disposition des bâtiments et des stockages primaires (silos, hangars,...) ne permet pas dans ces cas-là d'optimiser l'installation (tous les bâtiments ne seront pas desservis par l'automate), ou restreint le choix de l'automate (sur rail par exemple). Le choix se portera peut-être alors préférentiellement vers l'automatisation de la traite.

12.8 Temps de présence des animaux en bâtiment

Pour rentabiliser au mieux les investissements, on parle souvent de niveau de saturation du matériel : un investissement qui dort est-il un investissement rentable ?

Si l'orientation de l'élevage est d'aller vers des systèmes pâturants, il est évident que le niveau de saturation ne sera pas atteint à un moment donné pour une alimentation automatisée (vaches allaitantes, génisses, laitières en pâturage...). Au niveau du ou des robots de traite, on remarque très souvent une diminution du pâturage, pour optimiser les robots. Mais, le maintien d'un pâturage long avec un coût alimentaire réduit est tout à fait compatible avec un robot de traite contrairement à un automate d'alimentation.

Dans de telles situations, il faut vraiment analyser profondément les objectifs et les priorités au niveau du système d'élevage avec le niveau de pâturage souhaité. Gagner d'un côté pour perdre de l'autre est assez contradictoire mais les seuls critères financiers ne doivent pas occulter les autres critères comme le temps et la pénibilité du travail, la facilité de remplacement, l'alimentation de précision, le goût pour la technologie, etc.)

13 • ENTRETIEN DU MATERIEL & DUREE DE VIE DES PIECES

Selon les marques, on note une grande disparité d'accompagnement lors de la mise en service et le suivi d'une automatisation de l'alimentation. Les éleveurs sont, en règle générale, aidés à la mise en route du matériel, avec l'appui de la marque et du Service Après-vente (SAV). Au niveau des contrats de maintenance, la disparité est très grande : de l'absence totale de contrat à des contrats clef en main avec pièces d'usure. A noter que les marques annoncent un message commun sur la fiabilité de leur(s) matériel(s), équivalente aux robots de traite et elles prennent appui sur cet historique de développement technologique.

13.1 Type de contrats proposés

Pour la plupart des marques, on trouve peu de contrats complets. Les plus complets sont ceux de chez Lely. Deux formules (contrat de maintenance annuelle assorti à la vente du matériel) sont proposées :

- **Le contrat « MASTER »** comprend la main d'œuvre et toutes les pièces à remplacer, y compris les pièces d'usure. Le coût annuel est calculé en fonction du nombre de distributions quotidiennes. Il faut compter environ 5 000 € H.T/an pour 20 distributions quotidiennes.
- **Le contrat « SUPPORT + »** comprend la maintenance préventive et un kit « couteaux ». Il faut compter environ 2 300 € H.T/an pour 20 distributions quotidiennes.

D'autres marques proposent des versions optionnelles. C'est le cas de :

- DeLaval, avec un contrat de maintenance couvrant les consommables. Il est prévu dans le contrat, 2 passages par an ;
- Lucas, avec un contrat d'abonnement (800 à 1 000 € HT/an) dans lequel un contrôle à distance permettrait une gestion simplifiée des problèmes mineurs ;
- Trioliet, avec un contrat de maintenance annuel à environ 5 000 € HT ;
- Kuhn, avec un contrôle technique constructeur tous les 2 ans ;
- Jeantil, avec une à 2 visites/an pour l'entretien courant. En première année, 2 visites de calage pour 1 000 € HT et ensuite pour l'entretien et la maintenance 1.5 % du coût de l'investissement, soit environ 3 500 € HT/an.

Les autres marques qui n'ont donc pas forcément de contrat de maintenance à proposer ainsi que certaines citées précédemment, s'appuient généralement ou également sur le SAV des réseaux des revendeurs/concessionnaires de proximité (exemples : Trioliet, GEA). Cela signifie que ce n'est pas parce qu'il n'y a pas de contrat de maintenance que les problèmes ne peuvent pas être résolus rapidement. Evidemment, le sérieux et le professionnalisme des SAV sont des maîtres mots dans le suivi des installations.

En plus des différents suivis mécaniques, il faut ajouter la maintenance informatique qui correspond en règle générale à la mise à jour des logiciels, et à la prise en main à distance en cas de panne sur des problèmes mineurs.

Dans cet ensemble de maintenances et outre les coûts, c'est le délai d'intervention qui peut être capital dans le choix de la marque. L'objectif étant, qu'en cas de panne, la résolution du problème soit la plus rapide possible notamment s'il n'est pas possible d'utiliser une solution de dépannage avec le tracteur.

13.2 Principales interventions de maintenance selon les marques et pièces d'usure

Les marques fournissent en général des consignes d'entretien des éléments mécaniques (via un manuel ou des affichettes placées à des endroits stratégiques) afin de limiter l'usure des pièces et les pannes. Elles s'appuient totalement sur la vigilance et le sérieux des éleveurs.

Pour autant, l'usure de certaines pièces est inévitable même si les constructeurs réfléchissent à la limiter (ex : nouveau revêtement plus durable dans la mélangeuse,...).

Les interventions de maintenance restent difficiles à quantifier (en termes de temps) car le recul reste encore insuffisant. Elles varient en fonction des règles de suivi de chaque éleveur et sont en relation avec l'intensité d'utilisation des mécanismes automatisés. Lors des visites d'élevage, aucun cahier de maintenance n'a été observé... Les interventions pratiquées sont en général :

- le graissage des roulements, vérins, cardans, moteurs,
- la vérification des niveaux d'huile, et vidanges,
- la vérification de la tension des chaînes,
- le nettoyage des bandes du convoyeur,
- le nettoyage des tables (souffleur).



Photo 13.1 : Pour l'éleveur du Gaec des Peupliers (49) : « disposer d'un compresseur à proximité permet le nettoyage par soufflage de façon régulière et non contraignante »

Concernant les pièces d'usure et leur longévité, les informations suivantes ont pu être collectées auprès des entreprises et des élevages rencontrés :

- les roues pour les automates « roulants » : tous les 1 à 2 ans,
- les galets d'entraînements pour les automates sur rail : tous les 4 à 7 ans,
- les dents des démêleurs : tous les 4 ans,
- les bandes de transport : pas d'éléments,
- le fond des automates et des tables de stockage : très variable selon le revêtement et la corrosivité des aliments,
- les sangles du grappin chez Lely : tous les 1 à 2 ans,
- la lame de coupe pour les aliments secs ; chez Trioliet : une fois par an. La lame étant en carbure de tungstène, il n'y a pas d'affûtage. Le coût est de 900 € HT. (nota : la paille, est très abrasive et génère donc plus d'usure),
- les batteries (cf. chapitre 12),
- les chaînes d'entraînement des tables : leur fréquence de changement dépend de l'utilisation et de l'entretien apporté. Certains équipements avec des chaînes inox présentent peu d'usure même après 5 ans.



Photos 13.2 et 13.3 : Changement des chaînes et des barrettes d'entraînement de tables de stockage.

Dernier paramètre à prendre en compte : les garanties. Au-delà d'une formule de base, certaines marques proposent des extensions de garantie sur leurs équipements. Les spécificités et les durées sont variables d'une marque à l'autre.

Tous ces paramètres vont forcément influencer les coûts de fonctionnement et sont donc des éléments de comparaison et de choix de la marque.

Enfin, vu l'ampleur de l'investissement, tous les risques d'incendie annexes devront être écartés : proximité hangar de stockage, matériel, atelier. Il est nécessaire de se rapprocher de sa compagnie d'assurance avant de concevoir son installation.

13.3 Durée de vie et voies d'amélioration possible

L'acidité des ensilages qu'ils soient de maïs ou d'herbe est proche d'un pH de 4, ce qui constitue donc un élément très agressif pour les métaux en contact. Les options d'alimentation automatisées reposent souvent sur un principe de distributions fréquentes avec des automates de petite capacité. De ce fait, les bols et/ou wagons de distribution sont très sollicités et en quasi-permanence au contact d'un mélange corrosif, ce qui impactera la durée de vie de ces éléments. Les marques apportent donc une attention toute particulière à la qualité des aciers et proposent même d'y ajouter des plaques de protections ou d'usures. Tout cela a un coût et augmentera inévitablement le coût global de la solution. Le même impact se produit au niveau des stockeurs et des tables : le contact permanent avec des cubes ou du vrac d'ensilage mettra à rude épreuve les parties métalliques. Certaines marques proposent sur ces stockeurs et tables des éléments en bois ou composite, pour plus de durabilité. D'autres font évoluer leur gamme en proposant des solutions inox, mais avec des coûts encore plus élevés.



Photo 13.4 : Panneaux composite bois en parois

14 • SECURITE

Dans le domaine de l'automatisation de l'alimentation, la sécurité est basée sur des données réglementaires essentielles et en pleine évolution.

On distinguera 2 zones :

- La sécurité qui « entoure » la cuisine.
- La sécurité en lien avec l'automate et son déplacement.

14.1.1 Cuisine et sécurité

La cuisine est un lieu particulièrement dangereux qui concentre de nombreux éléments mécaniques en mouvement. Les tapis mouvants à chaîne, démêleurs, mélangeuse à poste fixe, convoyeurs et vis élévatrice sont autant de machines présentant des risques potentiels dans un espace souvent clos et exigu. Il est donc indispensable d'assurer la sécurité des personnes dans les cuisines.

Deux types de protection sont présentes :

- Protection intégrale de la cuisine par un dispositif de barrières grillagées et sécurisées par des portes équipées de contacteurs qui coupent automatiquement l'alimentation électrique des machines.



Photos 14.1 et 14.2 : Exemples de cuisines intégralement clôturées chez Jeantil et Lely

- Protections individuelles, présentes sur chaque machine avec des dispositifs de sécurité individuels ou de par une conception spécifique des équipements (parois de protection au niveau des tables/stockeurs, silos et mélangeuse).



Exemples de protections individuelles par machine chez Trioliet (Photo 14.3) /Lucas (Photo 14.4) /GEA (Photo 14.5)

En complément de ces protections, d'autres moyens de sécurité sont imposés par la réglementation :

- boutons d'arrêt d'urgence placés à des endroits ou sur du matériel considérés dangereux,
- panneaux de mise en garde disposés dans l'élevage, à l'entrée du site pour les visiteurs, et au niveau des zones à risques (cuisine notamment).



Exemples de panneaux de mise en garde : sur wagon (Photo 14.6) et à l'entrée de l'élevage (Photo 14.7)

14.1.2 L'automate et son déplacement

Pour tous les automates roulants, les constructeurs doivent proposer des machines conformes à la législation sur les véhicules automatiques et autonomes dont la vitesse est inférieure à 4 km/h (normes EN1525).



Photo 14.8 : Automate sur roues Lely



Photo 14.9 : Pente sur rail pour bâtiment décalé

Pour les automates suspendus, la principale différence réside dans le fait que lorsqu'il circule rattaché à un rail, il ne peut dévier de sa trajectoire si ce n'est par effet de ballant. Cela n'est évidemment pas le cas des automates roulants qui utilisent parfois des types de guidage complexes pour s'orienter. Un dispositif d'arrêt automatique doit pouvoir être déclenché par contact ou lorsque l'automate dévie du circuit programmé.

En outre, les automates sur rails placés en hauteur ont moins de risques de rencontrer un obstacle. Pour autant, dans certains cas avec des rails en pente et en cas de dysfonctionnement du freinage, le wagon peut prendre de la vitesse et devenir dangereux. C'est ce qui est arrivé dans un des élevages visités et les dégâts n'ont été que matériels. Des sécurités doivent donc pouvoir bloquer la course de l'appareil dans ce cas.

Ci-dessous quelques éléments de sécurité que l'on trouve sur la plupart des options (roues et rails) :

- Capteurs d'obstacles, pare-chocs (bumpers) frontaux (avant et arrière) et latéraux (voire sur toute leur circonférence). La plupart du temps, en cas de contact léger, l'automate s'arrête et tente de redémarrer. Après plusieurs échecs, l'éleveur est averti sur son smartphone.
- Signaux lumineux et/ou sonore lors des déplacements.
- Dispositifs d'arrêt d'urgence (bouton poussoir).

Pour tous les automates roulants, les constructeurs doivent proposer des machines conformes à la législation sur les véhicules automatiques et autonomes dont la vitesse est inférieure à 4 km/h (normes EN1525).



Photo 14.10 : Capteurs de détection d'obstacles



Photo 14.11 : Pare-chocs frontaux/barre anticollision (arrêtent la machine au premier contact)



Photo 14.11 : Pare-chocs frontaux/barre anticollision (arrêtent la machine au premier contact)

Exemples d'éléments de sécurité : Photos 14.10, 14.11, 14.12

15 • CONCLUSION

Les solutions de robotisations sont multiples et variées. Cette synthèse propose une classification originale pour que les éleveurs et les conseillers puissent mieux cibler les solutions adaptées aux projets d'aménagement de bâtiments neufs ou existants.

Ainsi, la robotisation ne peut s'appliquer à toutes les situations et systèmes. Sa rentabilité est liée à un temps de présence important en bâtiment, donc peu adaptée à des élevages privilégiant le pâturage. Par ailleurs, comme tout robot, sa saturation d'usage est aussi une clé de rentabilité et à ce titre concerne plutôt les élevages de tailles importantes à très importantes. Cependant, certains fournisseurs proposent des options moins complexes pour des élevages de taille intermédiaire.

Les effets zootechniques positifs de l'augmentation de la fréquence journalière de distribution, annoncés par les fournisseurs, ne se retrouvent pas dans les études expérimentales conduites en conditions contrôlées avec des témoins associés à une conduite optimisée de l'alimentation. Les améliorations parfois constatées sur le terrain peuvent s'expliquer par des facteurs non liés directement à la robotisation : améliorations des installations et des pratiques (stockages et conservation des fourrages, ration pas toujours à volonté avant...) ou à des installations non conformes aux recommandations (manque de place à l'auge..) ou à la conduite du troupeau (mise en place de lots alimentaires dans les grands troupeaux).

La robotisation fait gagner du temps et de la pénibilité du travail et apporte de la souplesse par exemple dans le travail du week-end, du remplacement de la personne chargée de l'alimentation dans un grand troupeau. Mais le gain de temps en lui-même ne permet pas de rentabiliser

à lui seul les investissements supplémentaires. Par contre, il ne faut pas négliger l'intérêt de ces outils sur l'attractivité au métier et à subvenir aux difficultés d'embauche de salariés dans les gros élevages, à l'image de ce qui se passe dans les filières avicoles et porcines.

Est-ce que la robotisation de l'alimentation peut apporter une image négative de l'élevage ? non par rapport à la conduite alimentaire, mais peut-être que oui si ces équipements privilégient la réduction, voire l'absence de pâturage. La majorité des élevages équipés de robot d'alimentation conduisent les vaches en production en « zéro pâturage » mais rarement les autres catégories animales (génisses, vaches taries)... A ce titre, la traite robotisée est parfaitement compatible avec le pâturage contrairement à la robotisation de l'alimentation.

La robotisation est coûteuse d'autant plus si l'outil n'est pas saturé. D'autres solutions peuvent répondre à la même demande (CUMA, utilisation de matériel en commun entre éleveurs, pâturage...)

Elle change la vie et en particulier la vision de l'alimentation (beaucoup de données supplémentaires à gérer et intéressantes : rations précises). La conduite de l'alimentation peut être améliorée et plus précise avec des rations adaptées à chaque lot d'animaux à condition de bien utiliser le matériel et les logiciels et de vérifier régulièrement l'efficacité du matériel, en particulier la justesse des pesées par exemple.

La robotisation est un prémisses à l'agriculture non utilisatrice de carbone avec une électrification plus importante : source d'énergie plus durable et moins rare car pouvant être fabriquée avec des sources inépuisables voire par l'éleveur lui-même.

	Ce que le robot fait en plus de la distribution classique	Ce que le robot ne fait pas
Précision des rations	<ul style="list-style-type: none"> • Pesée quotidienne des rations • Régularité des rations et de leur distribution y compris le week-end 	<ul style="list-style-type: none"> • Vérification régulière (au moins annuelle) des pesons pour éviter des biais
Adaptation des rations	<ul style="list-style-type: none"> • Prise en compte des lots d'animaux, y compris de petite taille • Distributions plus fréquentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptation de la composition des rations pour obtenir leur équilibre • Modification régulière des volumes distribués selon les effectifs • Calage de la ration pour favoriser le pâturage en période intermédiaire
Travail	<ul style="list-style-type: none"> • Temps d'astreinte limitée • Moins pénible • Souplesse (si stocks intermédiaires suffisants) • Repousser la ration (selon les modèles) 	<ul style="list-style-type: none"> • Approvisionnement des stocks de fourrages et de concentrés • Eliminer les refus • Entretien de la cuisine et du matériel • Formation de remplaçants • Interventions en cas d'alerte
Adaptation aux bâtiments	<ul style="list-style-type: none"> • Un seul site et bâtiments à proximité (plus facile avec roues contrairement aux rails) 	<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs sites ou bâtiments éloignés : dans ce cas maintien d'une distributrice de base

16 • RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITÉES

- Brocard V., Brunschwig P., Legarto J., Paccard P., Rouillé B., Bastien D., Leclerc MC, 2010. Guide pratique de l'alimentation du troupeau bovin laitier. Institut de l'Élevage, Collection Les incontournables, 210 p.
<http://idele.fr/services/librairie-technipel/publication/idelesolr/recommends/guide-pratique-de-lalimentation-du-troupeau-bovin-laitier.html>
- Chambres d'agriculture Bretagne et Pays de la Loire, 2011. Produire avec de l'herbe du sol à l'animal. Guide pratique de l'éleveur. Chambres d'agriculture Bretagne et Pays de la Loire. 72 p.
https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Pays_de_la_Loire/guide_11_herbe_CRAB_CRAPL_extrait.pdf
- FAUCET S., MOUNAIX B., FERARD A., CABON G., PROTIN P.V., MENARD J.L., 2013. Effets de la fréquence de distribution d'une ration complète, gérée par un système automatisé, sur le comportement des vaches laitières. Renc. Rech. Ruminants, 20, 210.
http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte_8_affiche_bien_etre_S_Faucet.pdf
- FERARD A., FAUCET S., (1), PROTIN PV., MENARD JL., BRUNSCHWIG P., 2013. Effet de la fréquence de distribution d'une ration complète, gérée avec un système automatisé, sur les performances de production des vaches laitières Renc. Rech. Ruminants, 20, 109.
http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte_14_affiche_alimentation_A_Ferard.pdf
- Gelé M., Lechartier C., Bareille N., Lefrileux Y., Giger-Reverdin S., Davière J.-B., Lecomte C., Trou G., Legarto J., 2019. AcID -Indicateurs de diagnostic et suivi de l'acidose ruminale subaiguë dans les troupeaux de vaches et chèvres laitières. Innovations Agronomiques 71(2019), 247-257
<https://www.inra.fr/ciag/content/download/6601/48413/file/Vol71-17-Gel%C3%A9%20et%20al.pdf>
- Grothmann A., 2015. Einfluss von automatischen Fütterungsverfahren in der Milchviehhaltung auf das Tierverhalten und die Futterqualität. Dissertation. Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik -440-Garbenstr. 9 D-70599 Stuttgart. 274 pages.
- NYDEGGER F., GROTHMANN A., 2009. Affouragement automatique des bovins. Rapport ART. n° 710. 8p.
- Rouillé B., Prézélin M., Roiné D., Vaillant B., Chanvallon A., Roussel P., Jurquet J., Brun T., Lamy JM., 2015. Ration simple versus ration complexe : quels impacts sur les performances de production, de santé et de reproduction chez la vache laitière ? Renc. Rech. Ruminants, 22, 233-236
http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte__3_Alimentation_B-Rouille.pdf
- SEITE Y., BROCARD V., PORTIER B., REALLAND B., LOSQ G., 2009. Affourager les vaches laitières une fois par semaine pour réduire le temps d'alimentation. Renc. Rech. Ruminants, 16, 195
http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2009_04_12_Seite.pdf
- Crossley R. E., Harlander-Matauschek A., DeVries T. J., 2018. Mitigation of variability between competitively fed dairy. J. Dairy Sci. 101:518-529
- FRENCH N., KENNELLY JJ., 1990. Effects of feeding frequency on ruminal parameters, plasma insulin, milk yield and milk composition in Holstein cows. In : J. Dairy Sci., n° 73. p. 1857-1863.
- LE LIBOUX S., PEYRAUD J.L., 1999. Effect of forage particle size and feeding frequency on fermentation patterns and sites and extent of digestion in dairy cows fed mixed diets. In : Anim. Feed Sci. Tech., n° 76. p. 297-319.
- NOCEK J.E., BRAUND D.G., 1985. Effect of feeding frequency on diurnal dry matter and water consumption, liquid dilution rate, and milk yield. In : J. Dairy Sci., n° 68. p. 2238-2247.

17 • ANNEXES

Description sommaire du fonctionnement de chaque modèle par marque à l'aide d'idéogrammes

Source d'énergie de l'automate

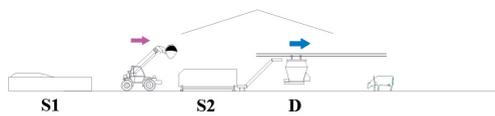
- Gasoil GNR
- Electricité secteur
- Electricité batterie

Modes d'automatisation de la chaîne d'alimentation

(les distributions par tapis au sol et distributions classiques après préparation de la ration automatisée n'ont pas été intégrées à ce schéma)

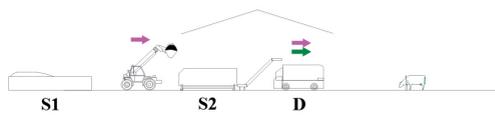
Altec 1
DVA 14 DG

E



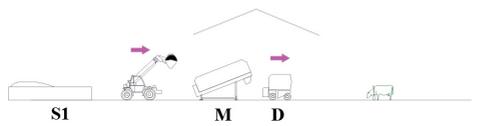
Altec 2
Colibri DVA

E



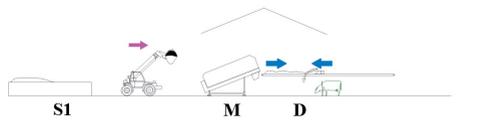
Cormall 1
Multifeeder V4

C



Cormall 2
tapis distributeur

C



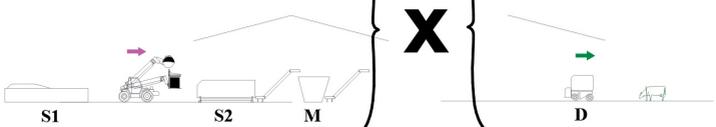
Delaval 1
Optimat

C



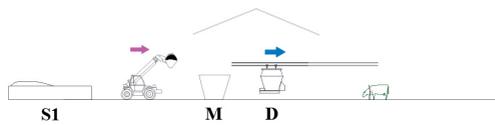
Delaval 2
Optimat Master

D



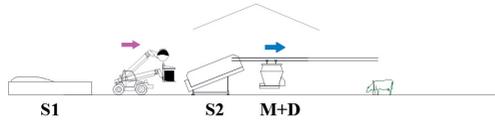
GEA 1
Free Stall Feeder

C



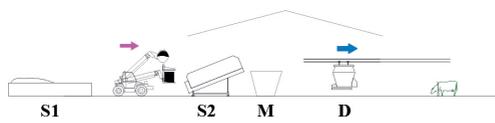
GEA 2
Mix Feeder

A



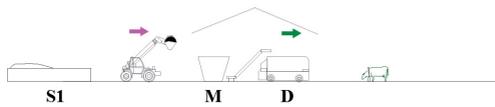
GEA 3
Mix and Carry

D



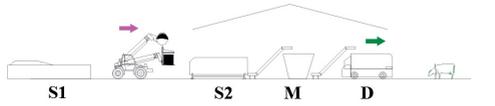
Jeantil 1
Automatic Feeding

C



Jeantil 2
Automatic Feeding

D



S1 : Stockage primaire des fourrages (silos d'ensilage, hangar fourrage, enrubannage) S2 : Stockage intermédiaire des fourrages au sol, en stockeur (vrac) ou sur table



: approvisionnement en vrac exclusivement,



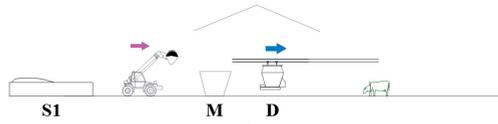
: approvisionnement au dessil'cube,



: cuisine

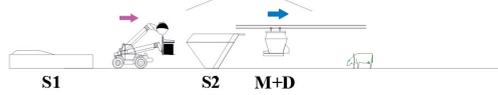
Kuhn 1
K2 Easy Feed

C



Kuhn 2
K2 Feed Robot

A



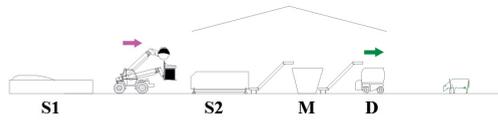
Lely
Vector

B



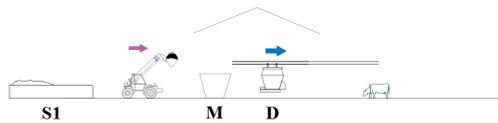
Lucas
I-RonMix

D



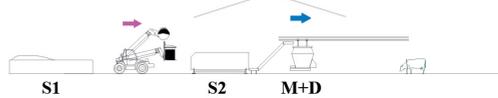
Rovibec 1
DEC SR

C



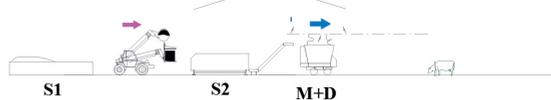
Rovibec 2
DEC HDR
DEC DP

A



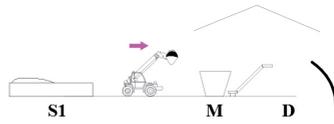
Rovibec 3
Rover

A



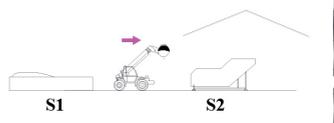
Trioliet 1
T20

C



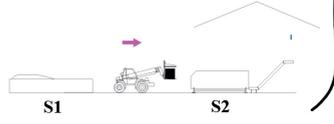
Trioliet 2
T30

A

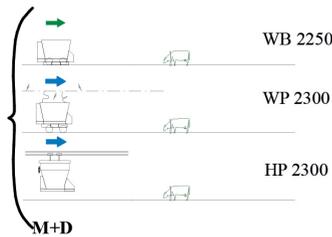


Trioliet 3
T40

A

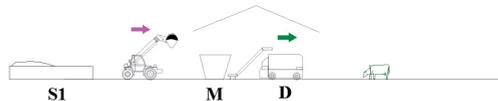


X



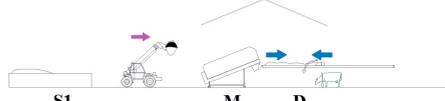
Valmétal 1
Robocart

C



Valmétal 2
Convoyeur - distributeur

C



Wasserbauer F
Shuttle Eco

F



(vrac ou cube) M : Mélange D : Distribution M+D : mélange et distribution effectués par l'automate,

Cette étude a été réalisée par :

Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire - 02 53 57 18 25

Arnaud BRUEL	arnaud.bruel@pl.chambagri.fr
Stéphane COUTANT	stephane.coutant@pl.chambagri.fr
Jérôme MARY	jerome.mary@pl.chambagri.fr
Philippe ROCHETEAU	philippe.rocheteau@pl.chambagri.fr
Laurent GABORIAU	laurent.gaboriau@pl.chambagri.fr
Anne-Claire DANEAU	anne-claire.daneau@pl.chambagri.fr
Jean Marc PILET	jean-marc.pilet@pl.chambagri.fr

Chambre régionale d'agriculture de Bretagne :

Sébastien GUIOCHEAU	Tél. 02 98 88 97 63	sebastien.guiocheu@bretagne.chambagri.fr
Philippe BRIAND	Tél. 02 98 88 97 63	

Chambre régionale d'agriculture de Normandie :

Jean-Jacques Beauchamp	Tél. 02 31 70 25 16	jean-jacques.beauchamp@normandie.chambagri.fr
Christian Savary	Tél. 02 33 06 49 60	christian.savary@normandie.chambagri.fr

L'Institut de l'Élevage :

Julien JURQUET	Tél. 02 49 71 06 33	julien.jurquet@idele.fr
Jean-Luc MENARD	Tél. 02 49 71 06 35	



BRUEL A., COUTANT S., MARY J., ROCHETEAU P., GABORIAU L., DANEAU A.C., PILET J.M., GUIOCHEAU S., BRIAND P., BEAUCHAMP J.J., SAVARY C., JURQUET J., MENARD J.L., 2020. Automatisation de l'alimentation en élevage bovin. Chambres d'agriculture des Pays de la Loire, de Bretagne et de Normandie, Institut de l'Élevage, 64 pages.

Avec la collaboration de :



Avec la participation financière :

