

Soumis le : 18/03/2022

Forme révisée acceptée le : 03/06/2022

Auteur correspondant : msadak.youssef@yahoo.fr



**Revue
Nature et Technologie**

<http://www.univ-chlef.dz/revuenatec>

ISSN: 1112-9778 – E-ISSN: 2437-0312

Mise à jour des connaissances sur la traite robotisée des vaches laitières (Review)

Maha YOUSFI^{a,b} et Youssef M'SADAK^{a,*}

^a Université de Sousse, Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem, B.P. N°47, Sousse 4042, Tunisie

^b Université Hongroise d'Agriculture et des Sciences de la Vie, Campus de Kaposvár, Guba Sándor u.40, Kaposvár 7400, Hongrie

Résumé

Les premiers robots de traite sont apparus sur le marché européen au début des années 1990. Les Systèmes de Traite Robotisée (STR), conçus pour que la traite bovine soit faite de façon volontaire, sont en constante évolution. Les constructeurs se partagent actuellement le marché, avec des machines mono ou multi stalles fixes ou mobiles. L'installation d'un robot de traite dans les étables laitières représente de nouveaux défis pour l'industrie quant au respect des normes de production d'un lait de qualité et à l'optimisation du rendement des robots. Mais l'avenir du robot passe aussi par les progrès techniques à réaliser dans la détection des laits anormaux et par le maintien, voire le renforcement, de son utilisation avec des vaches au pâturage, afin de ne pas nuire à l'image de qualité du produit et de bien-être des animaux qu'ont, de la filière laitière, les consommateurs. Ainsi, le robot de traite est un automate, un équipement programmable qui permet d'effectuer la traite des vaches laitières sans intervention directe de l'éleveur : toutes les opérations sont entièrement automatisées, en particulier, la pose du faisceau-trayeur. La traite robotisée utilise en grande partie les mêmes technologies que les installations conventionnelles. Le robot de traite facilite la collecte de nombreuses données via des capteurs variés, et les stocke, pour permettre à l'éleveur de prendre plus facilement des décisions. Il est plus qu'une simple technologie de traite améliorant journalièrement la qualité de vie, c'est une nouvelle manière de concevoir la conduite d'un troupeau. L'exploitation d'un robot de traite permet de gérer la traite, la qualité du lait mais également l'alimentation des animaux, leur circulation dans le bâtiment et leur accès aux pâtures. Bien que l'impact de cette technologie sur l'organisation du travail et la gestion du troupeau ait été souligné, l'attention était notamment portée sur la dégradation de la qualité du lait et l'augmentation de la concentration en cellules somatiques (CCS) du lait de troupeau. Par ailleurs, le robot de traite implique l'inter-réaction de confort, santé animale et efficacité du travail.

Mots-clés : Vaches laitières ; Robot de traite ; Caractérisation technique ; Installation robotisée ; Intérêts ; Limites.

Update on robotic milking of dairy cows (Review)

Abstract

The first milking robots appeared on the European market in the early 1990s. Robotic Milking Systems (RMS), designed to make bovine milking voluntary, are constantly evolving. Manufacturers currently share the market, with fixed or mobile single or multi-stall machines. The installation of a milking robot in dairy barns represents new challenges for the industry in terms of meeting quality milk production standards and optimizing robot performance. But the future of the robot also depends on the technical progress to be made in the detection of abnormal milk and by maintaining, or even strengthening, its use with grazing cows, so as not to harm the quality image of the product and animal welfare that consumers have from the dairy chain. Thus, milking robot is an automaton, programmable equipment that allows dairy cows milking without direct intervention of the farmer: all proceedings are fully automated, in particular the installation of the milking cluster. Robotic milking uses largely the same technologies as conventional installations. The milking robot facilitates the collection of a huge data via several sensors, and stores it, to allow the farmer making decisions more easily. It is more than just a milking technology that improves the daily life quality, it is a new way of conceiving the conduct of a herd. The milking robot exploitation helps to manage milking, milk quality but also the feeding of animals, their circulation in the building and their access to pastures. Although the impact of this technology on labor organization and herd management was highlighted, particular attention was paid to milk quality degradation and the increase of somatic cells concentration (SCC) in the herd milk. Furthermore, the milking robot involves the inter-reaction of comfort, animal health and work efficiency.

Keywords: Dairy cows; Milking robot; Technical characterization; Robotized installation; Interests; Limits.



Ceci est un document en libre accès selon les termes de [Creative Commons Attribution License CC-BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), ce qui permet de le partager, copier, reproduire, distribuer, communiquer, réutiliser ou de l'adapter avec l'obligation de créditer son auteur.

1. Introduction

L'augmentation de la demande des produits laitiers est à l'origine de la croissance de l'effectif du troupeau laitier dans le monde, d'où la nécessité d'une bonne gestion et une meilleure organisation des procédures de traite qui s'avèrent un facteur clé d'observation, de manipulation et d'examen des vaches laitières.

La machine à traire a engendré une avancée technologique, sans cesse améliorée pour s'adapter aux besoins des éleveurs et qui a permis de réduire amplement la pénibilité de leur travail [1].

Depuis plusieurs années, un regard particulier est porté sur le déploiement de la traite dans la voie de sa mécanisation, voire, son automatisation par l'utilisation des installations robotisées de traite.

Le développement de la traite robotisée a représenté un changement majeur dans le secteur laitier que ce soit au niveau du quotidien des éleveurs, pour les vétérinaires et conseillers en élevage ou l'industrie laitière [2].

Le système de traite automatisé (Automatic Milking System) appelé couramment robot de traite peut être une des innovations marquantes, car il prend théoriquement en charge, en partie ou intégralement, la traite, ainsi que certaines fonctions de gestion du troupeau. Cet outil modifie profondément le métier de producteur de lait en dégageant l'éleveur de la contrainte ancestrale des deux traites quotidiennes à heures fixes [1].

L'histoire des robots de traite est une illustration de l'adoption d'une technologie de rupture, dont le premier levier d'achat a été la réduction de la main d'œuvre (réduction de la main d'œuvre salariée ou confort de travail) [3].

Le robot de traite s'implante peu à peu dans les exploitations laitières pour remplacer une main d'œuvre qualifiée de plus en plus difficile à trouver, mais surtout pour répondre aux aspirations fortes des éleveurs à une meilleure qualité de vie [4].

La traite robotisée est de plus en plus répandue dans le monde, particulièrement, en Europe, au Canada et aux États-Unis. Rappelons que cette technologie est considérée également comme un moyen de réduire les besoins en main-d'œuvre.

Le succès de la traite robotisée repose sur la vache et sur sa propension à visiter volontairement le robot de traite à une fréquence suffisamment élevée pour

soutenir un niveau économique de production de lait [5].

Dans cette optique, le présent travail se propose essentiellement de présenter, à partir de la littérature scientifique et professionnelle, l'évolution, les aspects technologiques et techniques de la robotisation de la traite des vaches laitières ainsi que ses conséquences sur l'éleveur et l'élevage, trente ans après l'apparition des premiers systèmes robotisés dans les exploitations agricoles.

2. Évolution historique et objectifs de la robotisation de la traite bovine

2.1. De la traite manuelle à la salle de traite

La traite commence avec la domestication des bovins il y a 10 000 ans. Elle était au début manuellement [6]. La traite manuelle ne nécessite qu'un investissement réduit. Son inconvénient est la main d'œuvre qu'elle impose. Elle est également moins rapide et fatigante en raison de la position inconfortable et inévitable qu'elle nécessite [7].

De nos jours, la traite manuelle des vaches est devenue une exception. Les premières idées pour traire autrement apparurent au 19^{ème} siècle [8]. Vers les années 1830, les premières machines à traire ont fonctionné sur le principe d'application d'une pression positive sur la mamelle et le trayon pour en extraire le lait. En 1860, les premières machines à dépression apparaissent. 25 ans après, l'invention du pulsateur et du gobelet double chambre a provoqué une avancée technologique majeure [9]. Les salles de traite où les vaches se déplacent vers le trayeur se développent alors avec l'accroissement de la taille des troupeaux [10].

Les premières sont de type « parallèle » [10] puis très vite se développe le système « tandem » qui associe plusieurs stalles de traite successives à un couloir latéral. Avec ce système, il semble difficile de dépasser 10 postes. De ce fait, il sera supplanté en Europe par le système « en épi » qui s'imposera vite dès les années 1950. La progression de la technologie est continue jusqu'à l'invention des salles de traite rotatives qui sont de plus en plus automatisées et sophistiquées [11].

Quoique le processus de traite des vaches laitières soit développé avec les salles de traite qui sont de plus en plus évoluées et informatisées, l'homme reste à la recherche d'une nouvelle façon de concevoir la

conduite

du troupeau bovin laitier [12]. D'où, l'apparition du concept de la robotisation de la traite en 1970 en Allemagne [13].

Le Système de Traite Robotisée (STR) est la dernière innovation du marché en matière de machinisme. Le STR est un outil qui s'intègre dans une démarche d'agriculture de précision, et qui n'a pas cessé d'évoluer depuis sa création, essayant de faciliter quotidiennement la vie des éleveurs laitiers [14]. Les STR sont équipés de nombreux éléments qui ont subi un développement graduel au cours du temps [9].

2.2. Évolution des robots de traite

- En 1970 : développement du premier projet de traite automatisée en ex-République Démocratique Allemande [15].
- À partir de 1975 : en République Fédérale Allemande, Ordolff réfléchit à un système de traite automatisée qui se voulait réellement utilisable en élevage. La première version de ce projet détectait les trayons grâce à des thermomètres de surface et un équipement hydraulique attachait ensuite les gobelets-trayeurs [16].
- En 1977 : deux Japonais, Nostuki et Ueno [17], imaginèrent un nouveau système de traite automatisée. La vache était maintenue et positionnée par des coussins d'air [18]. Cette position adéquate permettait le nettoyage et le branchement des trayons sans système de détection.
- Au début des années 1990 : le problème de la détection des trayons a été en grande partie résolu et les premiers projets commerciaux de robots de traite ont vu le jour [16]. Marchal est à l'origine d'un robot de traite disposant de quatre bras indépendants. Les bras destinés aux trayons antérieurs étaient sur les côtés, ceux destinés aux trayons postérieurs étaient situés sous la stalle. Pour la détection des trayons, ce système utilisait deux types de capteurs : un laser Hélium-Néon balayant la mamelle et les trayons et une caméra CDD (Charged Coupled Device) [18].
- Dès 1988 : les premiers systèmes de traite automatisés fabriqués en série, le furent par deux industriels néerlandais, Lely et Porlion. Le robot Porlion avait débuté l'expérimentation de ses prototypes en 1988 [18]. Alors que le premier robot Lely a été mis sur

le marché en 1994 [16].

Le nombre d'exploitations équipées d'un robot de traite n'a pas progressé très rapidement avant 1998. Mais à partir de cette année-là, aux Pays-Bas, le robot de traite a été accepté par une grande partie de l'industrie laitière [19].

Depuis le début des années 2000, l'installation des robots de traite connaît une croissance exponentielle [18] dans les Pays-Bas et dans d'autres pays européens, mais aussi au Japon et en Amérique du Nord. À la fin de l'année 2009, plus de 8000 exploitations commerciales du monde utilisaient un ou plusieurs systèmes robotisés pour traire leurs vaches [20].

2.3. Objectifs de la traite robotisée

Quelle que soit l'évolution de la technologie utilisée pour les installations robotisées, elles gardent toujours les mêmes objectifs suivants :

- Automatiser entièrement le processus de traite tout en préservant une quantité et une qualité suffisante de la production laitière, dans le cadre du respect du bien-être animal et avec un minimum d'interventions humaines [15],
- Réduire la charge du travail (pénibilité physique et mentale des tâches) [18], en tenant compte ensuite des critères liés à l'organisation du travail (meilleure répartition des tâches entre travailleurs, gain de souplesse horaire) et l'attrait pour les nouvelles technologies [1],
- Modifier considérablement la routine de traite et bien gérer le troupeau laitier avec les différents paramètres enregistrés [18].

3. Présentation de l'installation robotisée de traite

3.1. Caractéristiques technologiques et techniques d'un robot de traite

3.1.1. Principaux composants et description technologique

À la pointe de la technologie, le STR est équipé de nombreux appareils de mesure, de calculs et de capteurs [21]. Bien que les types et les marques des robots de traite soient multiples, certains composants restent inévitables [18].

- *Indentification de l'animal* : elle s'effectue par la

lecture d'un collier magnétique fixé autour du cou de la vache [18].

- *Box de traite* : c'est une salle individuelle, avec une porte d'entrée et de sortie, où la vache vient se placer pour se faire traire. Les stalles sont équipées d'un distributeur automatique de concentré (DAC) [22].
- *Système de repérage des trayons* : deux principaux systèmes sont fréquemment employés : la détection par laser ou par ultrasons. Le plus souvent une caméra numérique (CCD) est couplée aux modes de détection précédents dans le but d'en augmenter la précision. Certains systèmes laser sont couplés à un système de mémorisation de la position de chaque trayon pour une vache [23].
- *Système de nettoyage des trayons* : il existe deux systèmes de nettoyage fondamentalement différents. Soit le trayon est nettoyé par un gobelet laveur à travers la projection d'eau tiède et d'air sous pression [24], soit il est nettoyé par des brosses rotatives [18].
- *Bras robotisé* : c'est l'élément mobile du système, effectuant l'essentiel des tâches nécessaires au processus de traite (nettoyage, pose et dépose des gobelets-trayeurs) [18]. Cet organe effectue le branchement du faisceau-trayeur par le côté en amenant les gobelets sous les trayons qui seront branchés après repérage. Le décrochage automatique est dans la plupart du temps réalisé quartier par quartier, afin de diminuer le risque de surtraite [16].
- *Système de traite* : certains robots proposent des pulsateurs indépendants pour chaque quartier [24]. Divers appareillages y sont couplés également [18] :
 - ✓ Un système de mesure de la conductivité électrique et de la colorimétrie du lait,
 - ✓ Un compteur à lait pour le suivi individuel de la production laitière,
 - ✓ Un décrochage automatique quartier par quartier des gobelets-trayeurs en fin de la traite [18].
- *Système de désinfection des trayons* [25].
- *Système de nettoyage de la griffe* : deux systèmes de désinfection des manchons-trayeurs sont disponibles : le premier effectue le rinçage des manchons à l'eau additionnée d'une solution désinfectante (généralement un mélange de peroxyde d'hydrogène et d'acide peracétique). Le deuxième, fonctionne par vaporisation de vapeur d'eau dans les manchons accompagnée d'un refroidissement à l'eau froide [18].
- *Système de réfrigération et de stockage du lait* : il

est en général spécifique et destiné à être utilisé avec un robot de traite, mais il peut être aussi du matériel classique [24].

- *Poste de commande* : c'est un ordinateur intégré dans le robot qui communique également à l'ordinateur de bureau de l'éleveur une grande quantité de données, prétraitées par un système informatique. Ces données devront être lues, analysées et interprétées.
- *Système de contrôle et capteurs* : leur tâche consiste à inspecter l'éjection du lait, son rendement, la conductivité électrique, la température du lait, l'ingestion d'aliments, parfois la masse corporelle, ...

En plus de ces composantes indispensables dans les installations robotisées de traite, différentes options sont disponibles selon le type et la marque du robot. Depuis 2007, DeLaval propose sur son modèle VMS un compteur de cellules en ligne : cet appareil permet un comptage direct par fluorescence des cellules présentes dans le lait. Un échantillon de lait de chaque quartier est prélevé pour analyse [26].

3.1.2. Principe de fonctionnement

Les principes fondamentaux de fonctionnement des robots de traite des vaches laitières n'ont guère changé depuis leur première apparition, cependant de nombreuses fonctions et composants ont été améliorés dans leur efficacité et leur fiabilité [27].

D'une manière générale, le déroulement d'une traite robotisée est le suivant :

En position attente, la porte arrière est ouverte et la porte avant reste fermée. Lorsqu'une vache entre dans le robot, elle sera détectée par la cellule d'entrée infrarouge, puis identifiée par son collier [18]. La porte arrière se referme et l'ordinateur vérifie si la vache est bien prête à traire. Si c'est bien le cas, elle reçoit sa propre dose de concentré. Sa masse est enregistrée moyennant des capteurs situés sous la cage du robot. Ensuite, à l'aide des informations fournies par le capteur de position à ultrasons, le robot se met en action. Le vérin pneumatique fait descendre le bras et le moteur « pas à pas » le fait avancer. Le vérin oléopneumatique fait pivoter le bras sous l'animal. Le moteur de rotation des brosses de lavage s'ébranle et le nettoyage se lance directement, étant donné que la position des trayons est enregistrée depuis la précédente traite. Après le vérin de déplacement des brosses les ramène à leur emplacement initial. Le télémètre laser se met en action et repère la

hauteur des trayons avant et arrière. Si le processus de localisation est raté, la porte avant du robot s'ouvre, et l'animal sort. Si ce processus est accompli, le gobelet est branché, la pompe à vide fonctionne et le premier lait est séparé. Un sonomètre détecte la présence de vide dans le conduit de lait, ce qui indique que le gobelet est bien branché [28]. Les mêmes opérations sont répétées pour les autres trayons.

Les quatre capteurs de présence de lait par conductivité électrique sont sollicités.

En effet, si le débit de lait est suffisant, la traite se poursuit. Si l'un de ces capteurs détecte l'absence de lait, le robot commande le décrochage du gobelet-trayeur. Le vérin de coupure du vide pince le tuyau de lait du gobelet-trayeur correspondant et le décrochage se fait par traction d'un vérin sur une cordelette. Le même processus s'opère pour les autres trayons. Après le décrochage du dernier quartier, la désinfection des trayons s'effectue généralement par pulvérisation [15]. Le vérin pneumatique descend le bras et le vérin hydropneumatique commande son retour. Le lavage des gobelets de traite à l'intérieur et à l'extérieur est réalisé. La porte avant s'ouvre et la vache est libérée. Par conséquent la cellule d'entrée infrarouge détecte l'absence de l'animal [28].

En cas d'incidents (vache bloquée dans la stalle, nécessité de remplir un réservoir de consommable, lait de qualité anormale, certaines anomalies, ...) des alertes sont émises par le robot et visibles sur le micro-ordinateur qui lui est relié. Il est possible de programmer différents niveaux d'alerte pouvant être transmises par téléphone à l'éleveur [18].

Le nettoyage des conduits est programmé environ toutes les dix vaches, et un cycle de nettoyage principal est réalisé trois fois par jour pour le lavage complet de l'installation avec prérinçage, nettoyage et rinçage [28].

À titre d'exemple, on peut évoquer le diagramme partiel (Figure 1) de la marque Lely, modèle Astronaut A3 comme prototype existant sur le marché, pour présenter ses différentes fonctions (Tableau 1) offertes dans le but de répondre au besoin de l'éleveur.

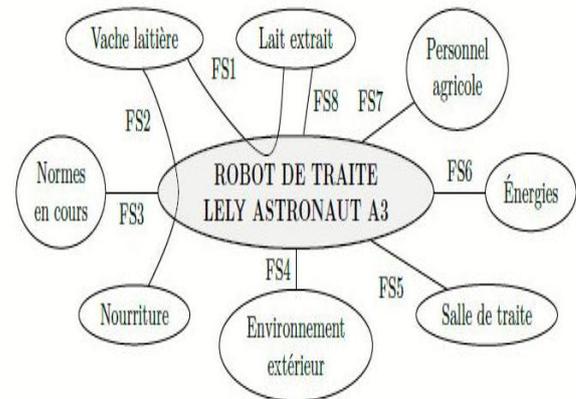


Figure 1. Diagramme partiel du robot de traite Lely Astronaut A3 [29]

Les installations robotisées de traite des vaches laitières ont des caractéristiques dimensionnelles et techniques (Tableau 3) et (Tableau 4) variées en fonction du modèle et des marques commercialisées sur le marché [33].

Tableau 1
Fonctions de service associées au robot Lely Astronaut A3 [29]

FSi	Énoncé de la fonction de service	FSi	Énoncé de la fonction de service
FS1	Traire automatiquement	FS5	S'adapter à la salle de traite
FS2	Distribuer automatiquement la nourriture à la vache lors de la traite	FS6	Être alimenté en énergies électrique et pneumatique
FS3	Respecter les normes en cours et s'adapter aux évolutions de norme	FS7	Assurer une communication continue avec le personnel agricole
FS4	Résister aux agressions extérieures	FS8	Analyser la qualité du lait en continu

3.1.3. Descriptifs technique et dimensionnel

La capacité d'un robot est, en général, exprimée en quantité de lait recueillie par jour et en nombre de traites. Elle est influencée par le nombre de vaches par stalle, par le niveau de production du troupeau, par leur vitesse de traite, par la facilité de traite (conformation des mamelles) [30], par l'intervalle entre traites et les temps morts qui correspondent au lavage de l'installation. Elle dépend également de la conduite de l'alimentation (part de pâturage, part stocks), le fabricant spécialisé (Tableau 2), et la répartition des vêlages sur l'année [31].

Tableau 2
Variation de la capacité des robots de traite selon le fabricant [32]

Fabricant	Capacité du robot (vaches/unité)	Capacité du robot (L de lait /j)
DeLaval	60	1800-2200
Bou-Matic	50-60	2000
Lely	60-70	1900
Fullwood	60-65	2000
Galaxy	60-70	2100

Tableau 3
Caractéristiques dimensionnelles des robots de traite DeLaval et Lely [34, 35]

Caractéristiques dimensionnelles	DeLaval VMS	Lely Astronaut A3
Longueur (cm)	450	334
Largeur (cm)	400	227
Hauteur (cm)	275	237
Masse (kg)	950	650

Tableau 4
Caractéristiques techniques des différents modèles de robots de traite [1, 36]

Propriété Modèle	Détection des trayons	Nettoyage des trayons	Élimination des premiers jets	Nettoyage entre deux vaches	Branchement naturel	Désinfection des trayons en fin de traite	Détection des mammites
Lely Astronaut	Laser	Mécanique avec brosses désinfectées	Oui	Si lait non conforme	Non	Pulvérisation des trayons	Conductivité quartier par quartier
Fullwood Packo Merlin (Licence Lely)	Laser	Mécanique avec brosses désinfectées	Oui	Si lait non conforme	Non	Pulvérisation des trayons	Conductivité par lait de mélange
AMS Liberty (concept Porlion)	Ultrasons	Injection d'eau tiède et air dans gobelet	Oui	Oui	Oui	Aspersion des trayons	Conductivité quartier par quartier
Gascoigne Melotte Zenith (concept Porlion)	Ultrasons	Injection d'eau tiède et air dans gobelet	Oui	Oui	Oui	Aspersion des trayons	Conductivité quartier par quartier
Diablo Manus Miros (concept Porlion)	Ultrasons	Injection d'eau tiède et air dans gobelet	Oui	Oui	Oui	Aspersion des trayons	Conductivité quartier par quartier
Westfalia Leonardo	Ultrasons et repérage optique	Mécanique avec brosse rotative	Oui	Oui	Oui	Non	Conductivité quartier par quartier
DeLaval VMS	Laser et caméra	Injection d'eau tiède et air dans gobelet	Oui	Oui	Oui	Pulvérisation des trayons	Conductivité quartier par quartier
BouMatic SR1	Caméra 3D	Injection d'eau tiède et air dans gobelet	Oui	Oui	Oui	Pulvérisation des trayons	Conductivité quartier par quartier
SAC Christensen Galaxy	Laser	Injection d'eau tiède et air dans gobelet	Oui	Oui	Oui	Pulvérisation des trayons	Conductivité quartier par quartier

3.2. Conditions d'installation et d'utilisation du robot de traite

3.2.1. Aménagement et implantation

Le choix du site d'implantation du robot dans le bâtiment doit être bien étudié (Figures 2 et 3). En effet, les robots de traite se caractérisent par leur intégration au sein même du logement des vaches laitières. Cependant, il faut que l'installation robotisée respecte le principe repos/traite/repas [23]. Quel que soit

l'emplacement du robot envisagé dans le bâtiment, il doit permettre de limiter le croisement des différents circuits dans le bâtiment : des animaux, des intervenants, du lait, des déjections et de l'alimentation. Il faut prévoir à proximité du robot une zone d'attente en considérant que l'aire d'attente doit pouvoir contenir 10 % du troupeau [1], et une zone d'isolement. Les éleveurs doivent pouvoir accéder au robot de traite par une zone propre, sans passer au milieu des animaux. Il est essentiel également, de prévoir la liaison avec le

pâturage et les possibilités d'extension à l'occasion d'un agrandissement de troupeau [18].

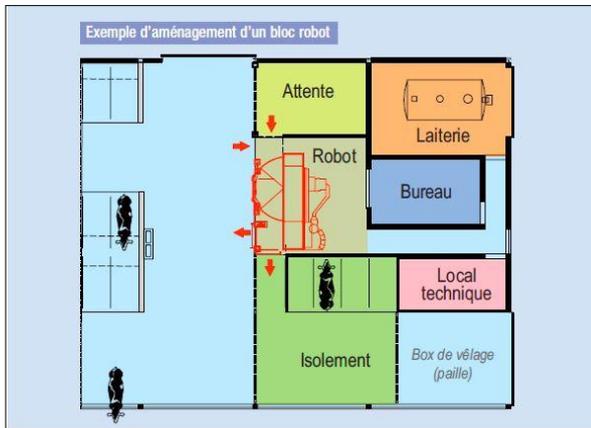


Figure 2. Exemple d'aménagement d'un robot de traite [33]

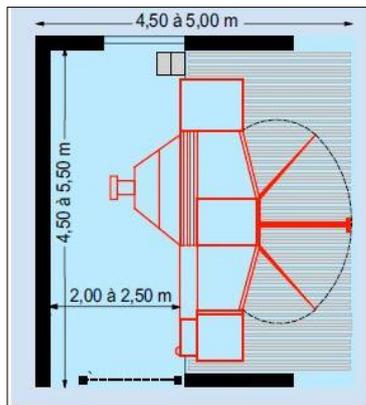


Figure 3. Dimensions de l'espace robot mono-stalle [33]

Dans la pratique au moins trois conduites sont proposées à l'éleveur (Tableau 5) :

- Conduite libre : elle repose sur le libre accès des vaches à la traite, au couchage et à l'alimentation.
- Conduite guidée : les vaches suivent un circuit imposé : couchage-traite-alimentation. Elles sont guidées par des portes anti-retours.
- Conduite sélective : une ou plusieurs portes « intelligentes » permettent d'identifier les animaux et les orienter en fonction des souhaits de l'éleveur.

Le choix de la conduite doit se faire en fonction des critères de l'élevage et non en fonction d'arguments commerciaux [31].

Tableau 5
Comparaison entre les trois types de conduite d'un robot de traite [32]

	Atouts	Contraintes
Conduite libre	<ul style="list-style-type: none"> • Système simple • Facilement adaptable dans un bâtiment existant • Moins coûteux (moins d'équipement) • moins stressant pour les animaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps d'utilisation du robot moins optimisé • Mise en route plus délicate • Gestion des animaux plus difficile (Primipares, vaches nerveuses, ...)
Conduite guidée	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en route facilitée • Utilisation du robot optimisée • Possibilité d'associer le pâturage 	<ul style="list-style-type: none"> • Des vaches peuvent attendre lentement dans l'espace d'attente • Nettoyage de l'espace d'attente
Conduite sélective	<ul style="list-style-type: none"> • Permet de gérer un nombre important de vache par stalle • Possibilité d'associer le pâturage 	<ul style="list-style-type: none"> • Système coûteux • Nécessite une programmation fine • Nettoyage de l'espace d'attente

3.2.2. Recommandations d'emploi

Pour tirer au maximum profit du STR, Il faut suivre une méthodologie d'accompagnement à la mise en route d'un robot de traite dont les tâches à réaliser sont présentées par ordre chronologique au cours des trois phases-clés qui sont :

A) Phase de préparation : dure environ 6 mois et se termine une semaine avant la mise en route du robot :

- Pour les débutants en informatique, prévoir une formation initiale à l'utilisation d'un ordinateur et la découverte du logiciel et les fonctionnalités de base.
- Définir un planning des nouvelles tâches liées au robot : consultation des données, nettoyage du robot, ...
- Prévoir une stratégie alimentaire et programmer la transition alimentaire [37].
- Établir un prévisionnel des effectifs du troupeau sur la première année pour assurer la production laitière annuelle.
- Réaliser un bilan santé (boiteries, mammites, troubles digestifs, ...) en considérant qu'une situation saine au départ donne plus de garanties de réussite.
- Poser les colliers.
- Tondre ou brûler les poils des mamelles et couper les poils de queue au plus court pour limiter les échecs de pose [38].

B) Phase de transition : comprend les 2 semaines qui entourent le jour de la mise en route du robot.

- Prévoir le contrôle du robot dans un délai de 10 semaines après la mise en service de l'installation en assurant la disponibilité de l'eau courante, du bon éclairage et de la ventilation [39].
 - Pour familiariser les animaux à leur nouvel environnement, les faire circuler par groupe de 4 ou 5 dans toutes les directions, en s'aidant des barrières de guidage [40].
 - Le robot peut être utilisé comme Distributeur Automatique de Concentrés (DAC) pendant quelques jours avant sa mise en route [37].
 - Maintenir l'espace de traite propre en procédant à deux lavages quotidiens de la stalle du robot (hygiène du matériel et des manchons).
 - La première traite d'une vache demande du temps de paramétrage, ce qui limite la cadence de traite [41]
 - Surveiller la 2^{ème} traite, notamment pour :
 - ✓ Vérifier le bon déroulement des opérations de traite,
 - ✓ Détecter les vaches réfractaires.
 - S'assurer que les objectifs de fréquentation du robot sont atteints avant de laisser les vaches évoluer complètement librement :
 - ✓ 6 passages par jour pour les vaches en début de lactation.
 - ✓ 4 passages par jour pour les vaches en fin de lactation [38].
- C) Phase d'adaptation : débute à partir du 8^{ème} jour après la mise en route du robot et se termine lorsque les vaches sont parfaitement habituées au robot de traite :
- S'imposer au minimum 2 passages de contrôle quotidiens parmi les animaux sans les déranger.
 - Interpréter les informations fournies par le robot : niveau de production laitière, nombre de passages quotidiens au robot, intervalles de traite, ... [38].

4. Différents types et technologies commercialisées des robots de traite bovine

Les robots de traite sur le marché peuvent être fixes comportant une stalle de traite ou plusieurs dits à multi-stalles pouvant être utilisés pour traire des troupeaux de 40 à plusieurs centaines de vaches [4] ou ils peuvent être mobiles en étable entravée en se déplaçant de stalle en stalle [42] ou au pâturage représentant des salles de traite mobiles automotrices permettent de traire les vaches laitières au pâturage loin de l'exploitation [43].

4.1. Fonctionnalités et technologies des robots mono-stalle

Les systèmes mono-stalle (Figure 4) sont composés d'une stalle avec une machine à traire intégrée ainsi qu'un système automatique de branchement des manchons trayeurs [24].



Figure 4. Robot mono-stalle [33]

Une stalle de robot, avec la technologie actuelle, permet de traire entre 1800 et 2000 litres par jour (en théorie jusqu'à 2500 litres) et une moyenne de 6 à 8 traites par heure et un maximum acceptable de 160 à 170 traites par jour [33] soit environ 180 traites par jour théoriquement pour un troupeau de 50 à 60 vaches [1]. Le nombre d'animaux par stalle est élevé (plus de 70 vaches à traire) avec un temps mort de 15 % (3 heures par jour) [33].

Trois constructeurs proposent des robots mono-stalles :

- VMS (mono-stalle) de DeLaval
- Merlin (Mono-stalle) de Fullwood (Licence Lely)
- Astronaut A3 (Mono-stalle) de Lely (Figure 5) [4].

Ces dernières années, Lely a présenté une nouvelle génération de mono-stalle : Lely Astronaut A3 Next en utilisant le principe de la mono-stalle. Si l'éleveur souhaite augmenter sa capacité de traite, il doit donc installer un second robot indépendamment, mais ils communiquent les informations au même ordinateur, afin de simplifier le travail d'analyse de l'éleveur [36].



Figure 5. Astronaut A3 (Mono-stalle) de Lely [36]

4.2. Fonctionnalités et technologies des robots multi-stalles

En fonction du niveau de production, le seuil de passage à deux stalles se situe autour de 70 à 80 vaches présentes, avec une variation technique (Tableau 6). Pour trois stalles et une conduite en un seul lot, le seuil de passage correspond à un effectif de 125 à 135 vaches présentes [33].

Tableau 6
Comparaison des caractéristiques techniques des robots mono-stalle et multi-stalles [44]

Nombre de stalles	Capacité (vaches laitières)	Lait produit (L)
1 stalle	60-70	360000
2 stalles	80-100	600000
	120	840000

Les multi-stalles (Figure 6) comportent plusieurs stalles reliées par un bras robotisé mobile se déplaçant de stalle en stalle pour assurer le branchement correct des manchons trayeurs aux trayons de la vache présente sur la stalle [24].



Figure 6. Robot de traite multi-stalles [48]

Les robots multi-stalles sont économiquement plus compétitifs pour des exploitations de 60 à 130 vaches laitières dont la production annuelle est de 8600 kg [48].

Les trois marques, SAC Christensen (RDS Futureline), WestfaliaSurge (Titan) et BouMatic (Proflex) partagent le marché des multi-stalles.

Pour la marque américaine BouMatic Proflex multi-stalles (Figure 7), les deux unités sont montées en parallèle avec le bras robotisé au milieu. Le bras articulé se déplace d'une stalle à l'autre en pivotant sur son axe.



Figure 7. Robot de traite multi-stalles BouMatic Proflex [36]

4.3. Fonctionnalités et technologies des robots de traite mobiles au pâturage

Afin de valoriser le pâturage situé loin du bâtiment, l'idée d'amener le robot de traite à la prairie a germé, ayant pour objectif d'optimiser la combinaison « traite robotisée et pâturage ». Ainsi, des robots de traite ont été rendus mobiles ou parfois « seulement » déplaçables d'un site à un autre. La conception technique et le fonctionnement de l'AMS étaient capables de fournir de bons résultats dans un environnement extérieur [43].

Selon Poulet [46], la mobilité d'un robot est possible techniquement et permet de valoriser des pâturages éloignés du corps de ferme. Elle n'est par contre pas simple à organiser et demande une phase d'adaptation.

D'après Meignan [43], l'adaptation à la traite robotisée s'est déroulée de manière satisfaisante. Après 1 semaine, 90% des vaches pouvaient être traitées automatiquement et après 4 semaines, 90% du troupeau entraînait seul dans les unités de traite. Cependant, le nombre de vaches traitées au moins deux fois par jour, sans intervention humaine, a beaucoup fluctué. Dans cette perspective, la mobilité du robot de traite doit être

raisonnée à la suite d'une réflexion préalable autour de la traite et de la valorisation des surfaces en herbe, afin de s'assurer que toutes les autres possibilités ont été étudiées (changement de localisation du bloc traite, réorganisation parcellaire, ...). Toutes les préconisations relatives à l'installation d'un robot ou à la gestion du pâturage s'appliquent [46].

Les marques commercialisées suivantes sont déplaçables et elles peuvent être introduites dans la combinaison « traite robotisée et pâturage » : Robot RDS Futureline SAC Christensen mobile sur caisson routier ; Robot VMS DeLaval sur remorque Rolland et Robot A3Next Lely sur remorque Pimay [46].

4.4. Fonctionnalités et technologies des robots de traite mobiles en étable entravée

Le Roboléo de Milkomax est un système de traite révolutionnaire. Présentement, c'est le seul robot qui offre une traite mécanique des vaches en stabulation entravée en conservant les bienfaits de cette stabulation et en profitant de la traite robotisée.

Durant son fonctionnement, Roboléo circule dans l'allée centrale et traite chacune des vaches. Le robot fonctionne en utilisant précisément les mêmes gestes répétitifs auxquels l'animal s'habitue rapidement (en moyenne seulement 8 à 10 jours pour la période d'adaptation). Cette méthode favorise une hausse de la production du lait par la diminution du stress causé à la vache. Le Roboléo fait la traite aux heures fixes et de façon régulière et il ne prend pas plus de 7 à 9 min par vache.

Cette nouvelle technologie apporte une multitude d'avantages à la génération précédente du robot. En effet elle a un impact positif sur la santé animale et la régie du troupeau. Ce robot est précis, facile à gérer en possédant un logiciel de régie du troupeau de performance élevée. Le Roboléo est également équipé d'une caméra permettant la surveillance en direct et l'enregistrement de l'opération du système [42].



Figure 8. Robot de traite mobile en étable entravée [42]

5. Conséquences de l'utilisation des robots de traite bovine pour l'éleveur et pour le troupeau

5.1. Pour l'éleveur

5.1.1. Atouts

- Diminution de la charge de travail du propriétaire de près de 50 % de la charge totale (la part de travail manuel se réduit fortement, et elle est remplacée en grande partie par un travail d'observation des animaux, de bureau et de maintenance technique [1],
- Amélioration de la flexibilité du travail et réduction de la charge horaire [4],
- Réorganisation de ses méthodes de travail autour de la traite avec une répartition mieux adaptée des heures de travail dans la journée [1],
- Amélioration des conditions de travail avec une meilleure sécurité et travail plus propre [47],
- Augmentation de la marge brute de l'éleveur par la diminution du nombre des salariés et même, dans certains cas, par le développement d'une autre activité professionnelle [4].

5.1.2. Inconvénients

Malgré les avantages associés à l'installation robotisée des vaches laitières, celle-ci présente quelques limites :

- Prévoir un surcroît de travail pendant 2 à 4 semaines et organiser pendant 8 à 15 jours un système de présence quasi permanent, surtout si la circulation libre est utilisée [23],
- Poursuivre l'apprentissage de la maîtrise du robot durant les six premiers mois de fonctionnement, ce qui peut décourager les éleveurs [1].
- Charges économiques plus élevées lors de

l'installation d'un robot de traite :

- ✓ Prix d'achat élevé : si on compare le prix d'un robot de traite avec celui d'une salle de traite destinée à traire le même nombre de vaches en 1 heure (par exemple une salle de traite épi 2×6 postes pour 60 vaches), équipée de toutes les technologies présentes sur le robot et d'un DAC, l'écart de prix se réduit considérablement, mais reste en faveur de la salle de traite [23].
- ✓ Prix élevé du contrat d'entretien et celui des pièces détachées et des coûts de déplacement des techniciens de maintenance [4].

5.2. Pour le troupeau

L'automatisation dans l'élevage laitier est développée pour plusieurs applications de surveillance et de contrôle, telles que la gestion du troupeau, la production laitière, la distribution d'aliments, le contrôle environnemental et l'évaluation de la santé/du comportement des animaux [48]. Les principales données techniques de conduite du troupeau influencées par l'introduction d'un robot de traite et prises en considération dans cette prospection se présentent comme suit.

5.2.1. Aspect alimentaire

Le robot de traite présente :

- Un facteur d'attraction des vaches pour la traite, ce qui permet de conserver un bon rythme de traite [49],
- Un outil de mesure de l'ingestion alimentaire des animaux et de contrôle du comportement alimentaire [50],
- Un moyen de distribution des aliments concentrés propre à chaque vache reconnue par son collier d'identification [51],
- Une contrainte d'adaptation au régime de pâturage, ce qui augmente le coût alimentaire (Tableau 6) et réduit les fréquences de traite par jour surtout si la distance qui sépare le robot et les pâtures dépasse 800 m [27].

5.2.2. Aspect sanitaire

- Détection rapide des mammites et limitation de la surtraite, puisque le robot permet une traite à l'échelle du quartier et non de l'animal [18].

- Mauvaise hygiène des manchons et des trayons, car une soixantaine de vaches par jour peut être traitée avec le même faisceau trayeur [52]. En plus de la mauvaise désinfection des brosses de nettoyage, et de la faible efficacité des rinçages que peut effectuer le robot après le passage d'un animal infecté [23].
- Plus de risque d'infections à cause des intervalles plus courts entre chaque traite et de l'augmentation de la fréquence de nettoyage, de désinfection et de traite en plus des niveaux de vide plus élevés [53], ce qui laisse moins de temps au trayon pour retrouver ses proportions initiales [54].

5.2.3. Aspect reproductif

- Détection plus rapide et plus efficace de chaleur [27] et donc une meilleure gestion de la reproduction grâce une estimation des taux de progestérone [55] adopté par plusieurs marques de robot de traite comme DeLaval Herd Navigator [56], ce qui permet, par conséquent, de réduire les frais de la reproduction [57]. Aussi, l'intervalle de vêlage est plus restreint : 399 j en cas de STR vs 404 j pour salle de traite (SDT) [57].
- Augmentation de la fréquence de traite et donc l'épuisement relatif du potentiel reproductif des vaches qui sont sujettes à un déficit énergétique [58].

5.2.4. Aspect production laitière

5.2.4.1. Quantité du lait

La production laitière est variable en fonction du nombre de cellules sécrétoires mammaires et de leur activité métabolique. Leur nombre n'est pas constant, mais change au cours de la lactation [59]. La vitesse d'évolution du parenchyme mammaire est influencée par les pratiques d'élevage comme l'alimentation et la fréquence de traite [59].

Le gain de production lors du passage à un STR semble acquis. Toutefois, il pourrait être très faible. La comparaison du robot de traite au système de traite conventionnel au sein d'un même troupeau montre une augmentation de la production laitière allant de 2 % [60] à 7 % [61] voire 8 % pour les multipares [62].

Le gain de productivité est estimé à 3 % les deux premières années après installation et 9 % après deux ans d'utilisation [1].

Malgré l'augmentation de la fréquence de traite, le

robot ne permet pas d'accroître sensiblement la production laitière [4]. Ceci peut en partie s'expliquer par une réduction de la durée de la lactation [63], des intervalles de traite irréguliers ou encore des échecs de branchements des gobelets-trayeurs [64].

5.2.4.2. Qualité du lait

A) Taux butyreux et taux protéique :

L'installation robotisée de traite pourrait avoir un impact sur le taux butyrique (TB) et le taux protéique (TP) du fait de l'augmentation de la fréquence de traite qu'elle entraîne.

Selon DeLaval [56], la traite robotisée entraîne une diminution du TB, de l'ordre de 0,2 à 0,8 g.L⁻¹. Le TP ne semble être que faiblement affecté, la baisse observée est négligeable. Ces observations ont été confirmées par Billon [63].

B) Concentration en cellules somatiques

Lors de l'introduction du robot de traite, selon Rasmussen [65], une augmentation soudaine de la CCS du lait de troupeau est observée. Elle peut être expliquée par l'augmentation du nombre de vaches souffrant de mammites subcliniques ou de mammites cliniques. Après quelques mois, une diminution de la CCS et un retour à la situation initiale est mise en évidence. Il semble donc que l'augmentation de la CCS est généralement temporaire et une amélioration par la suite peut être visible à condition que le robot fonctionne bien et que l'éleveur se donne les moyens de gérer le troupeau sur ce plan.

* Germes totaux : Généralement, la concentration en germes totaux augmente dans le lait lors du passage au robot de traite [52]. Les moyennes enregistrées par Rasmussen [65] s'établissent à 7400 germes/mL l'année avant l'installation du robot et à 14000 germes/mL l'année après. Toutefois, même si la concentration en germes totaux peut doubler en traite robotisée, le seuil de pénalité n'est jamais atteint [66].

D'après Tuckey (1967) [67], l'augmentation de la concentration en germes totaux se stabilise environ 6 mois après l'installation du robot. Un an après l'introduction de celui-ci, la concentration en germes totaux est comparable à celle relevée au niveau des exploitations conventionnelles. Il semble donc qu'avec

le temps, le problème soit pris en compte et maîtrisé.

* Indice de lipolyse : La lipolyse est le phénomène d'hydrolyse des globules gras du lait qui conduit à l'accumulation d'acides gras libres (AGL) dans le lait.

Des concentrations élevées en AGL dégradent les qualités organoleptiques du lait par leur saveur rance [68] et sont préjudiciables à la fabrication de produits laitiers [69]. Une augmentation AGL est mise en évidence dans les exploitations robotisées par rapport aux exploitations conventionnelles [70]. Certains [65], confirment que les intervalles courts, de 4 à 6 heures, provoquent la formation de globules gras dont le diamètre est supérieur à ceux observés lors d'une traite biquotidienne classique [61]. Les globules gras de grands diamètres sont plus fragiles et donc plus sensibles à la lipolyse que ceux de faibles diamètres [71].

* Point de congélation du lait : La cryoscopie ou mesure du point de congélation du lait permet de mettre en évidence tout apport anormal d'eau dans le lait. En effet, un lait de qualité normale gèle à -0,520 °C alors qu'un lait contenant de l'eau voit son point de congélation remonter vers 0 °C.

Les études concernant l'impact du robot de traite sur le point de congélation du lait ne sont pas unanimes. Klungel [52]; Hogeveen [19] et Justesen, [70], notent une augmentation du point de congélation du lait dans les fermes robotisées étudiées vers -0,516 °C. Cela est expliqué par la présence d'eau résiduelle dans les conduites du robot. L'augmentation du nombre de cycles de lavage, de rinçage, sont effectivement le principal facteur de risque [52].

5.2.5. Aspect bien-être animal

Dans un système de traite robotisé, les vaches sont toujours traitées selon le même processus qui peut ainsi être anticipé par les animaux. En ce sens, il devrait améliorer le bien-être des animaux. Toutefois, les échecs de traite pouvant survenir en traite robotisée induisent particulièrement la perturbation des vaches [61]. La mesure de la concentration en cortisol plasmatique des animaux peut être utilisée comme indicateur de stress. Certains [72], mettent en évidence une tendance à l'augmentation de la concentration plasmatique en cortisol au début de l'utilisation du robot, mais après quelques jours plus aucune différence n'est notée avec la traite conventionnelle.

5.2.6. Aspect environnemental

Depuis la création des robots de traite, des capteurs et des systèmes de capteurs sont développés pour toucher de nos jours l'aspect environnemental. En effet, récemment, les systèmes de traite robotisés permettent une estimation des émissions de méthane à l'aide de tours équipées de capteurs de méthane à réponse rapide et de capteurs de vitesse/direction du vent, combinée à la modélisation du transport atmosphérique. Plus précisément, il s'agit de l'utilisation du traitement du signal pour détecter les pics d'érucciation du méthane (CH₄) libéré par les vaches laitières lors de la traite robotisée [73].

6. Conclusion

Le robot de traite, capable d'effectuer une traite mécanique automatique, n'a arrêté de changer à partir de son apparition, éprouvant le soutien quotidien des éleveurs laitiers. Cette technologie, utilisée sous configuration fixe ou mobile, peut s'avérer être d'une assistance précieuse pour un éleveur qui souhaite se libérer du temps. C'est l'un des leviers d'action possible pour répondre au besoin de développement d'un élevage laitier durable.

D'une manière générale, la problématique de l'installation robotisée de traite des vaches laitières s'avère très étendue. En effet, une utilisation prudente et rationnelle de cette installation permet de développer la traite animale, vu les technologies évoluées associées au robot de traite. Par conséquent, son utilisation doit trouver le juste équilibre entre les techniques et les fonctionnalités de ce robot et leur maîtrise par l'utilisateur basée sur la conception du bâtiment, les conditions de logement, la réactivité de l'éleveur et le mode de conduite alimentaire du troupeau. Cependant à ce jour-là, la robotisation, certes solution technologique fiable assurant le confort de travail quant à son emploi, n'est pas encore prête à remplacer totalement l'homme et à l'abstraire de sa tâche et de son contact avec les animaux. De ce fait, l'investissement dans les robots n'est pas la solution universelle pour tous. À ce propos, le robot de traite n'est pas systématiquement intéressant : pour être rentable, un robot requiert une certaine taille d'exploitation (un robot pour 60-65 animaux), un nombre de traites accru (deux à trois par

jour), une durée de traite réduite, un étalement des vèlages (point de départ d'une campagne de traite) pour mieux répartir la charge sur le robot et réduire les temps d'arrêt du robot.

Dans l'ensemble, le robot de traite est devenu un réel outil d'élevage de précision, incorporant avec lui, de nombreux capteurs, permettant de réunir plus de données pour l'éleveur, lui admettant ainsi de mieux méditer ses choix. Inopportunément, au-delà des problèmes de qualité du lait quelquefois observés et que les constructeurs s'attachent à résoudre, le robot réduit la présence humaine mais ne l'exclut pas. Aussi, un coût d'investissement (robot et aménagement) encore trop élevé, ralentit sa diffusion dans toutes les exploitations agricoles à vocation laitière.

Références

- [1] Veysset P., Wallet P., Prugnard E., Le robot de traite : pour qui ? Pourquoi ? Caractérisations des exploitations équipées, simulations économiques et éléments de réflexion avant investissements. INRA Production Animale, 2001, 14 p. <https://productions-animales.org/article/view>
- [2] Lessire Fr., « Contribution à la mise en évidence des facteurs influençant le succès de l'introduction du robot de traite au pâturage ». Thèse Doct., Université de Liège, Faculté de Médecine Vétérinaire, Belgique, 2020, 184 p. https://orbi.uliege.be/bitstream/Thèse_def_14_5
- [3] Bellon-Maurel V., Huyghe Ch., L'innovation technologique dans l'agriculture, Géoéconomie 2016/3 (N° 80), 2016, 159-180. <https://www.cairn.info/revue-geoeconomie-2016-3-page-159.htm>
- [4] Billon P., Pomiès D., Le point sur la robotisation de la traite 15 ans après l'apparition des premiers systèmes dans les fermes, Actes Renc. Rech. Ruminants n°13, 2006, 143-150. <http://www.journees3r.fr/spip.php?article1593>
- [5] Rodenburg J., Facteurs de réussite dans la traite robotisée. CRAAQ, Symposium sur les bovins laitiers, 29 Octobre 2015, Centre expo COGECO, Drummondville, Canada, 2015, 80-93. https://www.agrireseau.net/documents/Document_94812.pdf
- [6] Dereinne A., Le lait sous toutes ses coutures, Fiches pour le professeur, Éditeur APAQ-W, Belgique, 2011, 10 p. https://galpaysdeherve.be/citoyensherbe/files/LeLaitSousToutesSesCoutures_fichierdossier_lait_prof.pdf
- [7] IDEWE, Traire des vaches Bonnes pratiques agricoles : prévention des troubles musculosquelettiques, 2008. www.idewe.be/wps/PA_Internet_site/resources/document/f13684b1-31cd-45b8-be2f082f87fdd1e6/Traire+les+vaches+WN+FR+20233-022011.pdf
- [8] Enault C., « La machine à traire : recherches et innovations depuis les années 1980 en vue d'améliorer la qualité du lait et la santé de la mamelle chez les vaches laitières ». Thèse Doct., École nationale vétérinaire d'Alfort, France, 2008, 228 p. <https://www.semanticscholar.org/paper/La-machine-%C3%A0-traire%2C-recherches-et-innovations-les-Enault/b65046a1a9d142d5ff81040596c5bc9fd20bb5f1>
- [9] Dermis C., « Impact du fonctionnement de la machine à traire sur la qualité du lait, utilisation du système Vadia comme aide à la résolution d'un problème de mammites et/ou de cellules ». Thèse Doct., Campus vétérinaire de Lyon, France, 2015, 218 p.

- <https://www.sudoc.fr/189964642>
- [10] IDELE, Traite des vaches laitières : matériel, installation, entretien. France Agricole Éditions, France, 2009, 555 p. <https://www.unitheque.com/traite-des-vaches-laitieres/guides/france-agricole/Livre/32416>
- [11] Marnet P.-G., La traite mécanique et le développement de la production laitière. Conférence, Congrès SIEFAD, Décembre 2014, Djerba, Tunisie, 2014, 17 p.
- [12] Beauregard G., Les robots de traite : la réalité. Symposium sur bovins laitiers, 30 Nov. 2008, CRAAQ, Québec, Canada, 2008. <https://www.agrireseau.net/documents/75627/les-robots-de-traite-la-realite>
- [13] Pomiès D., Vimal T., Boney J., Coulon J.-B., Mise en place d'un robot de traite dans une ferme expérimentale : premiers résultats obtenus à l'INRA. Renc. Rech. Rum. 5, France, 1998, 335 p. http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/1998_11_traite_06_pomies.pdf
- [14] Ruckebusch P., Le robot laitier : Dossier d'Agriculture de Précision. Rapport de recherche, Chaire Agro-Machinisme et Nouvelles Technologies, 2019. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02281885>
- [15] Rossing W., Hogewere P.H., State of art of automatic milking. Electron. Agric., 1997, 17 p. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(96\)01229-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(96)01229-X)
- [16] Dréno J.B., « Utilisation des données enregistrées par le robot de traite pour le pilotage de la santé mammaire des vaches laitières ». Thèse Doct., École nationale vétérinaire de Nantes, France, 2009, 141 p.
- [17] Nostuki I., Ueno K., System for managing milking cows in stanchion stool, 1997. <https://patents.google.com/patent/US4010714>
- [18] Freiss J., « Évolution de la qualité du lait lors de l'installation d'un robot de traite : description et facteurs de variation ». Thèse Doct., École nationale vétérinaire de Nantes, 2009, 214 p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00600088/document>
- [19] Hogeveen H., Van Der Vorst V., Slaghuis B.A., Concepts et implications de la traite automatisée. Symposium sur bovins laitiers, Institut de Recherche en Zoo-technologie, CRAAQ, 2001. Janv., Québec, Canada, 2001. <https://www.agrireseau.net/bovinslaitiers/documents/64930/concepts-et-implications-de-la-traite-automatisee>
- [20] De Koning K., Automatic milking, Common practice on dairy farms, Mai 2011, Les pays Bas, 2011. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.464.8614&rep=rep1&type=pdf>
- [21] Deman S., « L'éleveur, les vaches et le robot, une fable moderne ? Ethnographie d'un élevage laitier robotisé. Faculté des sciences économiques, sociales, politiques et de communication, Université catholique de Louvain, 2018. Prom. : Lagneaux, Séverine. <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:17024>
- [22] Boney J., Pomiès D., Le robot de traite, aspects techniques et économiques, Inra Édition, 2002, 117 p. https://belinra.inrae.fr/index.php?lvl=notice_display&id=53983
- [23] Labbé J.-F., Le robot de traite. Approche pratique. Bulletin, GTV., 2008, 45 : 87-94. <https://www2.sngtv.org/article-bulletin/le-robot-de-traite-approche-pratique/>
- [24] Legru M.-A., « Traite automatisée, contrôle laitier et suivi des mammites. Réalité de terrain dans un échantillon d'élevages de Mayenne ». Thèse Doct., École nationale vétérinaire d'Alfort, France, 2014, 113 p. <https://docplayer.fr/17861373-Traite-automatisee-controle-laitier-et-suivi-des-mammites-realite-de-terrain-dans-un-echantillon-d-elevages-de-mayenne.html>
- [25] Griffoul B., Trois façons de préparer les trayons en traite robotisée, Réussir Machinisme, France, 2017. <https://machinisme.reussir.fr/trois-facons-de-preparer-les-trayons-en-traite-robotisee>
- [26] Portier M., Cinq constructeurs dans un Marché en pleine effervescence. Réussir Lait Élevage, 2008, 213 : 40-50.
- [27] Pomiès D., Le robot de traite : avantages et inconvénients. Support d'une intervention sur les robots de traite à l'Université Charlemagne, Septembre 2006, Belgique, 2006. <https://docplayer.fr/28510998-Le-robot-de-traite-avantages-et-inconvenients.html>
- [28] Educagri, Le robot de traite. La maison d'édition de l'enseignement agricole, 2009, 5 p.
- [29] Centrale Supélec, Étude du robot de traite automatique LELY Astronaut A3, Concours S2I, MP, 2013, 12 p. <https://www.concours-centrale-supelec.fr/CentraleSupelec/2013/MP/sujets/2012-001.pdf>
- [30] Parsons D.J., Mottram T.T.F., An assessment of herd management aspects of robotic milking on UK dairy farms. Proceedings of the international symposium, 212-220. Lelystad, the Netherlands, 17-19 August. Wageningen Pers, 2000. <https://eurekamag.com/research/003/356/003356698.php>
- [31] Huneau T., Le robot de traite pour se libérer. Chambagri, France, 2008, 18 p. <http://www.synagri.com/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCLEF/17003/SFfile/5.%20le%20robot%20de%20traite%20pour%20se%20lib%20%C3%A9rer.pdf?OpenElement>
- [32] Dussault M., Les systèmes de traite robotisée et leurs technologies. Symposium sur les bovins laitiers, CRAAQ 2001, 2001. https://www.agrireseau.net/bovinslaitiers/documents/2001_marcel_dussault.pdf
- [33] Coutant S., Installer un robot de traite dans une stabulation libre. Chambre d'agriculture du Maine-et-Loire, Décembre 2008, l'Office de l'Élevage, 2008, 8p. https://www.gie-elevages-bretagne.fr/admin/upload/2-Installer_un_robot_de_traite_en_stabulation_libre.pdf
- [34] EQUIPEMENTS LAITIERS LELY. Solutions de traite, d'alimentation et d'équipements d'élevage. https://www.lely.com/media/filer_public/77/42/77422e3c-4ced-45f8-a27f-b22f240fab8f/lely_dairy_equipment_2014_-_fr.pdf
- [35] Robot de traite VMS DeLaval. <http://docplayer.fr/19483391-Robot-de-traite-vms-delaval.html>
- [36] Etignard H., Le Gall C., Quatre technologies sur le marché, 28 Aout, 2009, France Agricole, France, 2009. <https://www.lafranceagricole.fr/article/mono-et-multistalle-quatre-technologies-sur-le-marche-1,0,566573885.html>
- [37] Brocard V., Poulet J.L., Huneau T., Huchon J.C., Follet D., Guiocheau S., Hetreau T., Comment concilier la traite robotisée des vaches laitières avec un système de production pâturant ? Innovations Agronomiques. Idele, France, 2014, 12 p.
- [38] IDELE, Réussir la mise en route de son robot de traite. France, 2010, 6 p.
- [39] Yve Ch., Lemay C., Bâtiment pour robot. Le Bulletin des Agriculteurs, Février 2007, Canada, 2007, 4 p. <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/2442720>
- [40] Mathieu O., Mathis A., Robot de traite : des accompagnements bien spécifiques chambre d'agriculture Moselle, 02 Juin 2017, France, 2017. https://moselle.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Grand-Est/038_Inst-Moselle/liste-affichage-FE/nos_publications_dans_la_Moselle_agricole/2017/20170526-robots_eco.pdf
- [41] Rubin B., Huchon J.C., Sabatté N., Desarmenien D., Gaboriau L., Goulard L., Robot de traite, monotraite, embauche d'un salarié : impacts sur le fonctionnement et les résultats d'exploitations laitières des Pays de la Loire. AEPF "Élevages, prairies, Travail" IDELE, France, 2005, 19 p. http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2006_5_identification-elec_automatismes_01_Billon.pdf

- [42] JOAGRI, un système de traite révolutionnaire !. Actualités, AGRIAVIS, sd. <https://agriavis.com/news-9234-un+systeme+de+traite+revolutionnaire+.html>
- [43] Meignan T., Le robot mobile : une alternative innovante afin de concilier traite robotisée et système de production de lait avec pâturage. Sciences agricoles. 2014.
- [44] Lepère P., Belard D., Rochette M., Traite avec un robot pourquoi ? Service bâtiments des Chambres Départementales d'Agriculture-EDE et Organismes de Contrôle Laitier de la région Auvergne, France, 2008, 12 p.
- [45] Rotz C.A., Coiner C.U., Soder K.J., Automatic milking systems, farm size and milk production. J. Dairy Sci., 86 (12) (2003): 5167-4177. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74032-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74032-6)
- [46] Poulet J. L., Assurer la mobilité d'un robot de traite. Institut de l'élevage, ISBN 978-2-36343-444-9, 2013, 8 p. www.idele.fr
- [47] Lundqvist P., Human aspects in automatic milking. EAAP Publication, Netherlands, 1992. [10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74032-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74032-6)
- [48] Cogato A., Brščić M., Guo H., Marinello F., Pezzuolo A., Challenges and tendencies of automatic milking systems (AMS): A 20 years systematic review of literature and patents. Animals, 2021, 11(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/ANI11020356>
- [49] Prescott N.B., Mottram T.T., Webster A.J.F., Relative motivations of dairy cows to be milked or fed in a Y-maze and an automatic milking system. Appl. Anim. Behav., 1998, Sci. 57 : 23-33. <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-97d6072f-c6e7-3902-ba9e-6eebdb34c80d>
- [50] Johnson J.A., Paddock K.S., Gardner M., Penner G.B., Comparing steam-flaked and pelleted barley grain in a feed-first guided-flow automated milking system for Holstein cows. Journal of Dairy Science, 2022, 105(1), 221–230. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20387>
- [51] Samuelsson B., Wahlberg E., Svennersten K., The effect of feeding during milking on milk production and milk flow, Sw. J. Agric. Res., 23 (2) (1993): 101-106.
- [52] Klungel G.H., Slaghuis B.A., Hogeveen H., The effect of the introduction of automatic milking systems on milk quality, 2000, J. Dairy Sci. 83 (2) (2000): 1998-2003. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75077-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75077-6) <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=SE9311026>
- [53] Ipema A.H., Benders E., Production duration of machine milking and teat quality of dairy cows milked 2.3 or 4 times daily with variable intervals. Proceedings of the International Symposium of Prospects of automatic milking. EAAP Publication. Wageningen, The Netherlands, 1992, 224-252. <https://edepot.wur.nl/316990#page=247>
- [54] Rasmussen M.D., Automatic milking and udder health: an overview. World Buiatrics congress, Nice, France, 2006. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.563.9122&rep=rep1&type=pdf>
- [55] Eradus W.J., Rossing W., Hogewerf P.H., Benders E., Signal processing of activity data for oestrus detection in dairy cattle. EAAP Publication, Netherlands, 1992. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=NL9300165>
- [56] DeLaval, Robot de traite VMS DeLaval. Brochure technique, 2009. www.delavalfrance.fr
- [57] Bisson G., Les robots de traite, est-ce pour moi ? Quelques pistes de réflexion. Valacta, Canada, 2017, 24 p. <http://lait.org/fichiers/Revue/PLQ-2017-03/valacta.pdf>
- [58] Kruip T.A.M., Morice H., Robert M., Ouweltjes W., Robotic milking and its effect on fertility and cell counts, 2002, J. Dairy Sci. 85: 2576-2581. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74341-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74341-5)
- [59] Stelwagen K., Effect of milking frequency on mammary functioning and shape of the lactation curve, 2001, J. Dairy Sci., 84: 204-211. https://cals.arizona.edu/clubs/ansci/journal%20club/allison_fallo_2.pdf
- [60] Wagner-Storch A.M., Palmer R.W., Feeding behavior, milking behavior, and milk yields of cows milked in a parlor versus an automatic milking system, 2003, J. Dairy Sci. 86: 1494-1502. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73735-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73735-7)
- [61] Svennersten-Sjaunja K., Berglund I., Pettersson G., The milking process in an automatic milking system, evaluation of milk yield, teat condition and udder health. Robotic milking, Proceedings of the international symposium held in Lelystad, The Netherlands, 2000, Ed. Wageningen Pers: 277-288. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20003012803>
- [62] Speroni M., Pirlo G., Lolli S., Effect of automatic milking systems on milk yield in a hot environment, J. Dairy Sci., 89 (2006): 4687-4693. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72519-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72519-X)
- [63] Billon P., Tournaire F., Rapport Institut de l'Élevage, 2002, Journées techniques des 8, 12 et 14 mars 2002, 17-31.
- [64] Bach A., Busto I., Effects on milk yield of robotic milking interval regularity and teat cup attachment failures with robotic milking systems, 2005, J. Dairy Res. 72: 101-106. <https://doi.org/10.1017/S0022029904000585>
- [65] Rasmussen M.D., De Blom J.Y., Nielsen L.A.H., Justesen P., The impact of automatic milking on udder health. Proceedings of the 2nd International Symposium on Mastitis and Milk Quality, Vancouver, BC, Canada, 2001, 397-400. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.547.1309&rep=rep1&type=pdf>
- [66] Bony J., Pomiès D., Le robot de traite : aspects techniques et économiques, Institut national de la recherche agronomique. Quae, Paris, France, 2002, 120 p. <https://www.quae.com/produit/571/9782759215065/le-robot-de-traite>
- [67] Van der Vorst Y., Knapstein K., Rasmussen M. D., Milk quality on farm with an automatic milking system. Effects of automatic milking on the quality of produced milk. Delivery D8, 2002, 21 p.
- [68] Tuckey J., Stadhousers J., Increase in sensitivity of organoleptic detection of lipolysis in cows milk by culturing or direct acidification. Netherlands, 1967, Milk Dairy J. 21: 158-162.
- [69] Sapru A., Barbano D.M., Yun J.J., Klei L.R., Oltenucu P.A., Bandler D.K., Cheddar cheese: Influence of milking frequency and stage of lactation on composition and yield, 1997, J. Dairy Sci. 80:437-446. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)75955-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)75955-1)
- [70] Justesen P., Rasmussen M.D., Improvements of milk quality by the Danish AMS self-monitoring programme. Proceedings of the International Symposium of Robotic Milking, Lelystad, the Netherlands, 2000, 83-88. <https://eurekamag.com/research/003/471/003471299.php>
- [71] Wiking L., Björk L., Nielsen J.H., Influence of feed composition on stability of fat globules during pumping of raw milk, 2003, Int. Dairy J, 13 p. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00110-9](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00110-9)
- [72] Hopster H., Bruckmaier R.M., Van Der Werf J.T.N., Korte S.M., Macuhova J., Kortebouws G., Van Reenen C.J., Stress responses during milking: Comparing conventional and automatic milking in primiparous dairy cows, 2002, J. Dairy Sci. 85: 3206–3211. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74409-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74409-3)
- [73] Van Breukelen A.E., Aldridge M.N., Veerkamp R.F., Schrooten C., de Haas Y., Animal breeding can be used to reduce enteric methane emissions of dairy cows. Animal Breeding and Genomics Group, Wageningen University & Research, Les Pays-Bas, 2021. <https://edepot.wur.nl/5494>