



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

CONCOURS D'ACCÈS AU CORPS DE PROFESSEURS DE LYCÉE PROFESSIONNEL AGRICOLE

Concours : **EXTERNE**

Section : **SCIENCES ET TECHNIQUES DES AGROÉQUIPEMENTS ET DES
ÉQUIPEMENTS DES AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES**

Option : **AGROÉQUIPEMENTS**

SESSION 2025

ÉPREUVE ÉCRITE D'ADMISSIBILITÉ

(Coefficient : 4 – Durée : 5 heures)

Matériel(s) et documents(s) autorisé(s) : Calculatrice

Ce sujet comporte 44 pages de format A4 y compris celle-ci et une page en format A3.
Vérifiez que l'exemplaire qui vous a été remis est complet. Si ce n'est pas le cas, signalez-le
aussitôt.

Extrait de l'arrêté du 30 septembre 2022 fixant les sections et les modalités d'organisation des
concours d'accès au corps des professeurs de lycée professionnel agricole (annexe III) :

« L'épreuve a pour objectif de vérifier que le candidat est capable de mobiliser l'ensemble de ses
connaissances scientifiques, technologiques et professionnelles, d'exploiter les documents qui lui auront
été éventuellement fournis pour construire un développement structuré, expliquer le fonctionnement et la
constitution de systèmes techniques en s'appuyant sur un raisonnement scientifique, analyser des
situations professionnelles, proposer des solutions pertinentes sur la base d'une argumentation et d'une
évaluation de leur impact. »

Robotiser l'alimentation d'un élevage laitier

L'alimentation du troupeau revêt une grande importance tant pour ses performances techniques que pour la charge qu'elle représente au titre du temps de travail qui lui est dédié.

Le GAEC des Péjoces est amené à s'interroger sur l'évolution des méthodes d'alimentation de son troupeau à l'occasion du prochain départ en retraite d'un de ses salariés (Document n° 1: Présentation du GAEC des Péjoces).

Il étudie plusieurs solutions de robotisation. Il s'interroge en particulier sur l'intérêt d'une robotisation étendue de l'alimentation par la mélangeuse automotrice autonome AURA de la société Kuhn (Document n° 2: Présentation de la mélangeuse automotrice autonome AURA). Toutefois, ce matériel étant assez récent sur le marché et encore peu répandu, il souhaite recueillir un avis externe.

Dans ce contexte, au sein du service technique dans la chambre d'agriculture de la Côte-d'Or, vous êtes chargés d'analyser les possibilités offertes par ce robot.

L'étude se déroule ainsi :

Ordre de l'étude (ordre des questions)	Domaine d'étude
1	Contexte de l'automatisation de l'alimentation
2	Guidage du robot
3	Aptitude au franchissement des pentes
4	Synthèse de l'évaluation

Chaque question est indépendante.

Le sujet s'appuie sur les documents ci-après :

Document n° 1 :	Présentation du GAEC des Péjoces	7
Document n° 2 :	Présentation de la mélangeuse automotrice autonome AURA	9
Document n° 3 :	Témoignages sur la robotisation de l'alimentation	21
Document n° 4 :	Présentation de l'automotrice SPW POWER	35
Document n° 5 :	Principe du LIDAR	37
Document n° 6 :	Caractéristiques techniques d'un modèle de LIDAR	39
Document n° 7 :	Domaine d'application de capteurs	40
Document n° 8 :	Caractéristiques d'un modèle d'odomètre	42
Document n° 9 :	Schéma hydraulique du robot AURA	43
Document n° 10 :	Evaluation du coût annuel de la robotisation de l'alimentation du GAEC des Péjoces.....	44

Les documents reproduisent les éléments d'informations techniques tels qu'ils sont exprimés par leurs auteurs. Toutefois, certains documents ont été modifiés pour les besoins de l'épreuve.

Question 1 - Contexte de la robotisation

Voir notamment :

- Document n° 2: Présentation de la mélangeuse automotrice autonome AURA
- Document n° 3: Témoignages sur la robotisation de l'alimentation.
- Document n° 4: Présentation de l'automotrice SPW POWER

- 1.1. Présenter** les motifs qui peuvent conduire à envisager une robotisation de l'alimentation d'un troupeau.
- 1.2. Identifier** les critères techniques à étudier pour choisir une technologie de robotisation de l'alimentation des troupeaux. Vous vous appuyerez sur vos connaissances de ces technologies et sur les exemples qui figurent dans les documents cités ci-dessus.
- 1.3. Comparer** les solutions techniques possibles d'alimentation d'un troupeau en analysant leurs avantages et leurs inconvénients au regard des critères identifiés à la question 1.2.

Question 2 - Guidage du robot

Voir notamment :

- Document n° 2: Présentation de la mélangeuse automotrice autonome AURA
- Document n° 5: Principe du LIDAR
- Document n° 6: Caractéristiques techniques d'un modèle de LIDAR
- Document n° 7: Domaine d'application de capteurs
- Document n° 8: Caractéristiques d'un modèle d'odomètre

- 2.1. LIDAR**
 - a. Expliquer** le principe de fonctionnement du LIDAR.
 - b. Détailler** les principaux éléments qui le composent.
 - c. Expliquer** la différence entre un LIDAR 2D et un LIDAR 3D.
 - d. Identifier** les caractéristiques qui influent sur la taille de la zone observée par le LIDAR et sur sa précision.
- 2.2. Comparer** LIDAR et capteur à ultrasons, en faisant ressortir les avantages et inconvénients des deux technologies.
- 2.3. Odomètre**
 - a. Décrire** les composants d'un odomètre.
 - b. Identifier** les signaux transmis par le capteur.
 - c. Expliquer** comment ces signaux permettent de mesurer la vitesse et le sens de rotation.
- 2.4. Identifier** les différents capteurs présents sur le robot AURA et **présenter** leur complémentarité pour l'usage visé.

Question 3 - Capacité de franchissement du robot

Les routes suivies par le robot au sein de l'exploitation comprennent des sections en pente. Selon le constructeur, le robot peut franchir des pentes jusqu'à 20%. Vous souhaitez vérifier cette donnée. Pour cela vous vous référez au schéma du circuit hydraulique du robot.

Voir notamment :

- Document n° 9: Schéma hydraulique du robot AURA

3.1. Circuit hydraulique

- Nommer** les composants numérotés de 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; F028. **Décrire** leur fonction dans le circuit.
- Présenter** le fonctionnement du circuit de la transmission hydrostatique.
- Lors d'un déplacement rectiligne à la vitesse maximale, la pression mesurée en M1 est de 300 bar.
 - **Estimer** la pression aux points M2 et G2.
 - Pour la roue avant gauche :
 - o **calculer** le débit maximum aux points L ; R et 1 ;
 - o **estimer** les pressions aux points L et R.

3.2. Vérifier la capacité de franchissement du robot :

- Calculer** la force de traction nécessaire pour franchir une pente de 20%.
- Calculer** le couple maximal disponible sur chaque roue et en **déduire** la force de traction théorique maximale.
- Montrer** que la transmission hydrostatique permet de franchir une pente de 20%.

Données :

- Masse à vide 5800 kg.
- Charge utile 1000 kg.
- Diamètre des roues motrices 0,6 m.
- Rendement volumétrique des moteurs hydrauliques 0,98.

3.3. Identifier les risques qui ont conduit le constructeur à limiter l'emploi du robot à des pentes de 20%.

Question 4 - Synthèse de l'évaluation

- 4.1. À partir de différentes sources, vous avez effectué une première estimation du coût de différentes solutions d'alimentation du troupeau pour le GAEC des Péjoces (Document n° 10: Evaluation du coût annuel de la robotisation de l'alimentation du GAEC des Péjoces).

Analyser les résultats obtenus en étudiant notamment :

- la part des différents postes de charges ;
- les risques qu'ils présentent au vu des perspectives de l'avenir.

- 4.2. **Présenter** votre point de vue sur les perspectives de déploiement du robot AURA à court et moyen terme sur le marché des équipements d'alimentation du bétail.

Document n° 1: Présentation du GAEC des Péjoces

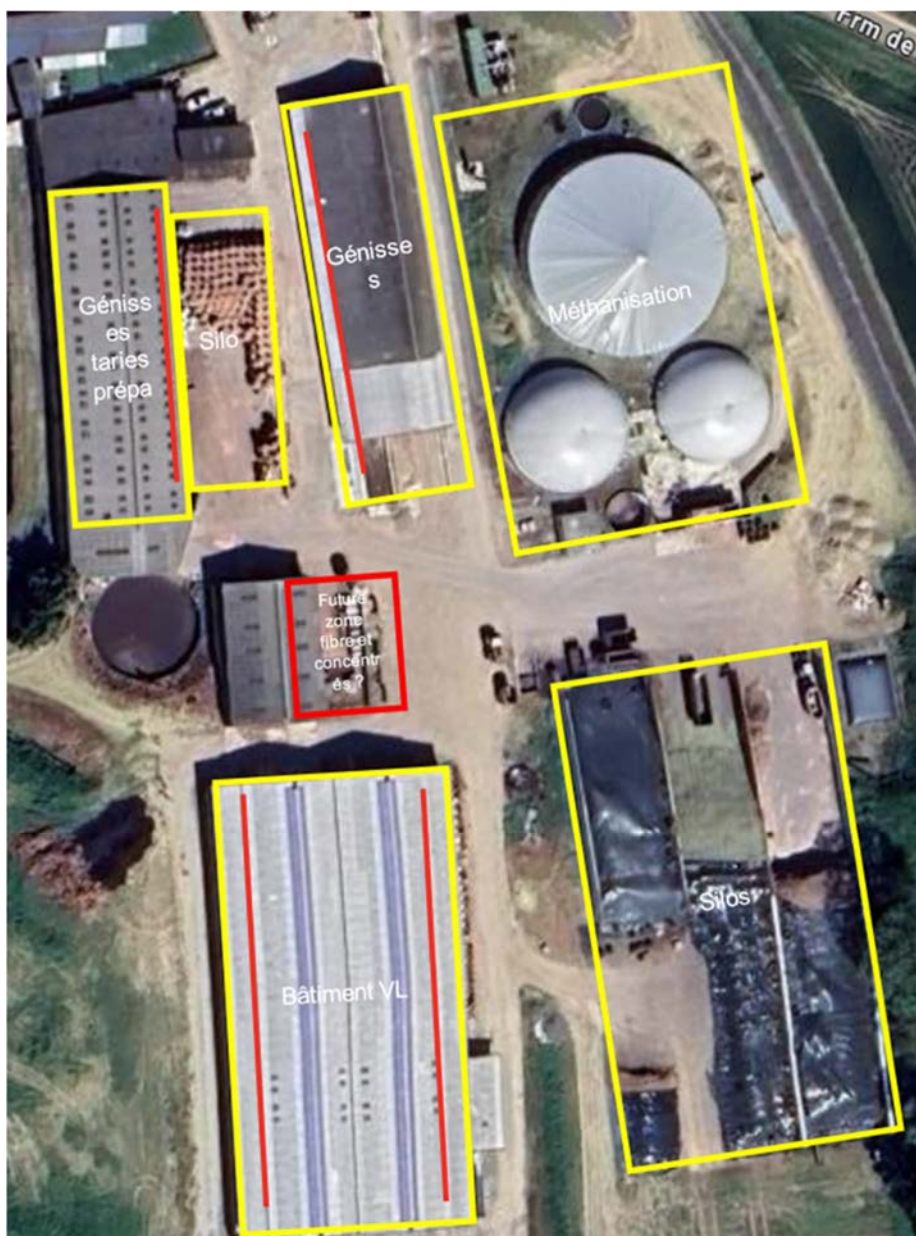
Le GAEC Péjoces est un élevage laitier.

Il comprend deux associés assistés de deux salariés à temps plein.

Caractéristiques de l'élevage

	Nombre
Vaches laitières (avec 30 taries)	160
Génisses -1an	70
Génisses 1 à 2ans	70
Génisses +2ans	30
Total	330
Production laitière (/1000L)	1600

Plan masse



Caractéristiques de l'alimentation du troupeau

Nombre de rations différentes : 3

Ingrédients	Ensilage de maïs	Ensilage d'herbe	Betteraves	Foin	Paille	Enrubannage	Concentrés	Minéraux	Autre sel
Types de rations									
Vaches laitières	38 kg	7.2 kg					2 kg	0.250 kg	0.1kg
Vaches taries	24 kg	2 kg			3 kg		2 kg	0.2 kg	
Génisses	10 kg				2 kg		1.1 kg	0.2 kg	

Pas de variation de l'alimentation sur l'année

Pas de pâturage

Pas d'affouragement en vert

Moyen actuel d'alimentation :

- Mélangeuse trainée
- Capacité de la machine : 22m³
- Temps passé aux tâches d'alimentation (en heures / jour) : 2h30/3h30.

Caractéristiques des infrastructures

Sols en pente (environ 15 à 20% ; ponctuellement 25% mais remodelable).

Silos à murs droits de plus de 1,8 m de haut ; sans murs de fond. Hauteur actuelle d'ensilage jusqu'à 6 m. AURA accepte une hauteur maximale de 4 m : une modification de la longueur des silos est nécessaire.

Dégagement devant les silos > 9 m.

Distribution au sol dans des couloirs de > 3.5m de large, très accessibles.

La zone de stockage fibre (paille) et concentrés doit être rénovée intégralement ; elle est située au bout du bâtiment des vaches laitières.

Temps de fonctionnement prévisionnel AURA

Environ 10h/j

Document n° 2: Présentation de la mélangeuse automotrice autonome AURA

Source : Kuhn
Extraits : pages 1 à 12



Caractéristiques générales

	AURA
Capacité de caisse (m³)	3.00
Hauteur hors tout (m)	2.55
Largeur hors tout (m)	1.90
Longueur hors tout (m)	6.92
Poids machine à vide (kg)	5 800
Vitesse de déplacement maximale (km/h)	7.2
Pente de franchissement	Jusqu'à 20 %
Hauteur de désilage maximum (m)	4.00
Hauteur de distribution (cm)	48

Caractéristiques techniques

Motorisation	Moteur thermique PHS de 42 kW (57 ch) sans adjonction d'AdBlue
Capacité réservoir GNR / Consommation moyenne	240 litres / 3.4 à 4.5 l/h
Propulsion	4 roues directrices et motrices
Dispositif de chargement	Fraise de désilage, convoyeur monté sur dispositif de translation
Equipements de la fraise	Sections droites et cambrées DURAKUHN
Mélange	2 vis verticales K-NOX et cuve K-NOX (fond et flancs sur 80 cm de hauteur)
Equipements des vis de mélange	2 couteaux DURAKUHN par vis de mélange
Contre-couteaux	2 contre-couteaux hydrauliques
Dispositif magnétique	Aimant positionné sur la vis de mélange arrière
Tapis convoyeur	Convoyeur en caoutchouc à jonction boulonnée et tension automatique
Tapis de distribution	Bande PVC entraîné par moteur hydraulique à chaque extrémité
Repousse rations	2 brosses rotatives indépendantes et escamotables
Contrôle du mélange	Caméra « vue intérieure de cuve » avec liaison tablette ou mobile (non fournis)
Management de la navigation	KMS (KUHN Management System). Base GPS RTK et calculateur sans abonnement
Dispositifs de navigation embarqués	GPS RTK – LIDAR 3D – Odométrie
Navigateur et gestion des trajectoires	Interface KUHN Farm Track
Pilotage des périphériques	Relai wifi ou ethernet KUHN External Control avec réseau wifi KUHN Farm Netwok (routeur wifi fourni)
Gestion de l'alimentation	Interface KUHN LIBRAFEED sur PC ou sur mobile
Tableau de bord machine	Interface AJURA LIVE sur PC ou sur mobile
Dispositif de sécurité embarqués	Capteurs – Arrêts de sécurité « coup de poing » – Bordures sensibles – Indicateurs d'avertissement lumineux
Gestion de la sécurité	Pré-visite de sécurité avec remise du rapport et visite de sécurité « Safety Check »

MyKUHN

MA CONNEXION AU SUCCÈS !

MyKUHN est votre espace client en ligne. Inscrivez-vous dès aujourd'hui et découvrez comment les services exclusifs offerts par MyKUHN vont faciliter la gestion de votre parc machines et terminaux KUHN et vous aider à maximiser leur performance. Une fois identifié, sur ordinateur, mobile ou tablette, vous disposerez d'un accès aux catalogues pièces, à la documentation technique et à une multitude de services connectés.



KUHN SAS - 4 Impasse des Fabriques - BP 50060 - F-67706 Saverne CEDEX - FRANCE

Pour trouver votre Partenaire Agréé KUHN le plus proche, rendez-vous sur notre site internet www.kuhn.com

Les informations transmises dans ce document sont destinées à être générale et n'ont aucun caractère contractuel. Nos machines sont conformes aux prescriptions en vigueur dans les pays de livraison. Dans les supports de présentation de nos produits, et pour une meilleure illustration des détails, certains dispositifs de protection peuvent ne pas être en position opérationnelle. Durant l'utilisation des machines, ceux-ci doivent impérativement être en place conformément aux prescriptions des notices d'instructions et des OPR. Il faut respecter les règles de manipulation en vigueur ainsi que la portée autorisée en charge (PTAC) du tracteur, en respectant la charge et la charge maximale autorisée par essieu et sur les pneumatiques. La charge sur l'ESSIEU avant du tracteur doit toujours être conforme aux prescriptions EN VIGUEUR en France. Au minimum de 20 % de la masse à vide du tracteur. Nous nous réservons le droit de modifier sans préavis nos machines, leurs équipements et leurs accessoires. Les machines, équipements et accessoires décrits dans ce document peuvent être couverts par au moins un brevet ou un modèle déposé. Les marques qui y sont citées, peuvent être protégées dans un ou plusieurs pays. *Opérateur Présumé à la Livraison

Par respect pour l'environnement, ce document est imprimé sur du papier sans chlore.
Imprimé en France - A72738FR - 01/24 - Copyright 2024 KUHN





Sommaire

- | | |
|---|--|
| <p>04 Le chargement :
Une automotrice autonome</p> <p>06 Le mélange :
Tout le savoir-faire KUHN</p> <p>07 Le déchargement :
Distribution 3 étoiles !</p> <p>08 Outils de pilotage et de programmation</p> | <p>10 Concept de navigation
modulable et intuitif</p> <p>11 KUHN
La sécurité avant tout !</p> <p>11 Le processus d'intégration</p> <p>12 Caractéristiques techniques</p> |
|---|--|

- Page 3 Kuhn -

AURA

Mélangeuse Automotrice Autonome

LE CHEMIN LE PLUS COURT DU SILO À L'AUGE !

0.5 MINUTES PAR VACHE ET PAR SEMAINE !

C'EST LE TEMPS NÉCESSAIRE POUR LES MISSIONS D'ALIMENTATION DU TROUPEAU APRES L'INTEGRATION DE LA NOUVELLE MELANGEUSE AUTOMOTRICE AUTONOME AURA. SA TECHNOLOGIE DE NAVIGATION, SON DISPOSITIF DE CHARGEMENT EMBARQUÉ VOUS PERMET DE REDUIRE AU STRICT MINIMUM LES TÂCHES EN LIEN AVEC L'ALIMENTATION. AUCUN ALLER ET VENUE POUR CHARGER UNE CUISINE OU DES CONTENANTS D'ATTENTE. AURA EST L'UNIQUE AUTOMATE D'ALIMENTATION QUI VOUS OFFRE LA LIBERTE DE POUVOIR EVOLUER AVEC VOTRE ELEVAGE : AJOUT DE NOUVEAUX SILOS, NOUVEAUX BÂTIMENTS...



AURA, C'EST LA LIBERTÉ !

- Vous libérer du temps d'astreinte quotidienne pour vous consacrer aux missions à plus fortes valeurs ajoutées,
- Vous libérer des contraintes d'un investissement dans le cas de l'évolution de vos infrastructures,
- Vous libérer l'esprit en suivant le travail de précision de la machine en temps réel.

AURA, C'EST L'ACCESSIBILITÉ !

- Accessibilité de l'investissement ! Au-delà de son coût d'accès sans cuisine et sans banques d'aliments, son coût d'usage maîtrisé, AURA est une machine agricole avec une valeur de reprise en bout d'investissement.
- Accessibilité dans l'intégration avec une solution quasi « Plug and Play »,
- Accessibilité dans l'utilisation des interfaces développées par KUHN spécifiquement pour le pilotage de AURA : intuitives et ergonomiques !

AURA EMBARQUE 6 FONCTIONS :

1. LE CHARGEMENT autonome de tous les fourrages grossiers (ensilages, foin, herbe enrubannée...) avec sa fraise et le pilotage des périphériques (vis de déchargement) pour les concentrés.
2. LE MELANGE de la ration avec sa cuve de 3 m³ à deux vis verticales et sa conception en K-NOX pour une durée de vie multipliée par 6.
3. LA GESTION de l'alimentation avec son dispositif de pesée. Précision au chargement mais également précision lors de la distribution avec moins de 1% de marge d'erreur.
4. LA DISTRIBUTION régulière à droite ou à gauche avec son tapis transversal et ce, avec la technologie du LINEAR FEEDING.
5. LA REPOUSSE des rations avec ses deux brosses qui assurent une repousse de tous les composants de la ration.
6. LES INTERFACES de pilotage intuitives avec KUHN LIBRAFEED et AURA LIVE.

Facilité de programmation des missions de la machine avec des tableaux de bord personnalisés pour les indicateurs de performances.

LE CHARGEMENT : UNE AUTOMOTRICE AUTONOME !

Le module de chargement AURA s'inspire des dispositifs de désilage sur mélangeuses automotrices conventionnelles. Ce module embarqué permet à la machine de charger directement les fourrages dans les silos et donc de supprimer les temps de confection de blocs et/ou de chargement d'un stock tampon avec les ensilages.

La fraise de chargement équipée de sections revêtues au carbure est associée à un convoyeur en caoutchouc qui achemine le fourrage dans la cuve de mélange.

La fraise permet de charger tous les ensilages et ce, à une hauteur allant jusqu'à 4,00 m. Sa largeur de travail de 600 mm est le compromis idéal entre le débit de chargement (allant jusqu'à plus de 500 kg/min d'ensilage de maïs chargé en instantané) et la demande de puissance faible et donc réduction de la consommation d'énergie.



Fraise de chargement : respect du fourrage !

La fraise de 600 mm de large est équipée de flasques sur lesquelles les sections revêtues au carbure sont fixées. Les sections au profil cambré font office de « pelle » pour un haut débit en ensilage sans recoupe excessive.

Les paramètres de réglages sont nombreux et vous permettent d'adapter les performances du chargement au type de fourrage : profondeur de désilage au tas d'ensilage, régime de rotation de la fraise, sens de rotation...

Le fourrage est guidé ensuite en « ligne droite » vers le convoyeur réduisant ainsi son recyclage autour du rotor de la fraise souvent synonyme de demande de puissance.

Convoyeur avec translation : un brevet KUHN !

Le convoyeur en bande caoutchouc résistant aux acides gras des ensilages, assure le chargement de la cuve. Ce dernier est monté sur coulisseau en translation latérale. Sans changer de position au niveau du silo, AURA assure trois « passes » pour charger la quantité programmée : gain de temps au chargement !

AURA est programmée pour se positionner aux abords des murs des silos avec un angle de 3° réduisant ainsi la quantité d'ensilage laissé sur les côtés.

La tension du tapis de convoyeur est automatique limitant ainsi l'usure en lien avec une mauvaise tension ou aux différences de température ayant un impact sur la matière du tapis.

FRONT D'ATTAQUE NET ET PROPRE

AURA réalise les rations avec des fourrages fraîchement prélevés dans les silos. Le troupeau est alimenté quotidiennement avec une ration composée d'ensilages non oxydés, indemnes d'échauffement. AURA gère sa prise au silo de manière précise à l'endroit même où le dernier passage a été réalisé. Les trajectoires parallèles dans les silos prédéfinies en amont dans le navigateur KUHN FARM TRACK seront empruntées les unes après les autres par AURA. Comme les conducteurs de mélangeuses automotrices conventionnelles, AURA assure la reprise en pied de silo après avoir effectué sa passe de chargement. Les fronts d'attaque sont nets, les pieds de silos toujours propres.



Chargement des fibres : en direct des balles !

La fraise est équipée également de sections dites « droites » afin de calibrer la fibre lors du chargement. Le fourrage grossier pourra être placé directement en balles rondes ou en balles cubiques dans des cases de longueur à définir selon l'autonomie du stock recherchée.

Comme pour les silos d'ensilage, AURA chargera directement le fourrage grossier dès lors que les cases auront été identifiées dans le navigateur KUHN FARM TRACK. Ces cases normalisées en termes de dimensions, sont placées idéalement au plus près du chargement des concentrés car souvent associés dans les rations mélangées.



Concentrés : pilotage automatique par AURA

La couverture wifi de l'élevage permet à AURA de gérer l'ensemble des périphériques qui interagissent avec la machine. Les relais wifi KUHN EXTERNAL CONTROL sont positionnés dans les armoires électriques des vis de chargement, de pompes doseuses, de tapis de chargement...

Selon la quantité à charger, AURA gère le chargement des concentrés via deux modes. Elle gère directement les concentrés au poids pour les quantités supérieures à 30 kg. En deçà, le pilotage se fera au nombre de tours de vis ou au temps minuté.

AURA

LE MÉLANGE : TOUT LE SAVOIR FAIRE KUHN !

La technologie de mélange à deux vis verticales avec une capacité de cuve de 3 m³ offre une homogénéité exceptionnelle et une vitesse de mélange rapide. Le brassage est effectué via deux flux : rotatif par l'effet des vis et vertical du bas de cuve vers le haut des vis. Les mélanges homogènes en petites rations sont ainsi rendus possibles. Le faible diamètre des vis de mélange réduit la demande de puissance, économisant ainsi la consommation d'énergie de la machine. Deux contre-couteaux hydrauliques affinent au besoin la longueur des brins et peuvent être programmés pour chacun des ingrédients. De nombreux paramètres peuvent également être personnalisés pour chacune des rations et des ingrédients. Depuis l'interface de rationnement KUHN LIBRAFEED, vous déterminerez pour chacune de vos rations, la vitesse des vis, les temps de mélange, les cycles de contre-couteaux, etc...

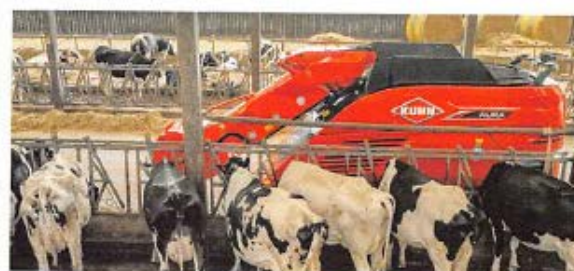
Pour la santé du troupeau, AURA est équipée d'un aimant sur l'une des vis de mélange. De classe « Néodyme », il est 10 fois plus efficace que les aimants classiques du marché de classe « Ferrite ». Pour chacune des rations, l'aimant AURA travaille trois fois : pendant le chargement de la machine, pendant le mélange et enfin durant la phase de distribution. Vous récupérez les pièces métalliques présentes dans les fourrages avant qu'elles ne soient ingérées par le troupeau en occasionnant des lésions intestinales irréversibles. L'accès à la vision de la caméra placée dans la cuve depuis le mobile avec AURA LIVE, permet à l'utilisateur de vérifier le volume et le statut du mélange.



K-NOX + DURAKUHN : gages de longévité

De base, l'intégralité des deux vis de mélange ainsi que la cuve pour ses flancs sur 80 cm et son fond sont en K-NOX. Cet alliage composé de brome et de ferite (exclusivité KUHN), multiplie la longévité des organes par 6 par rapport à des aciers classiques du marché.

L'ensemble des vis est en K-NOX : spire, tronc, radleur et soudure. Concernant les couteaux placés sur les vis de mélange, ces derniers sont labélisés DURAKUHN. Ce revêtement carbure déposé par laser, garantit une efficacité de coupe constante dans le temps. L'ensemble de la boulonnerie qui maintient les couteaux est également DURAKUHN. Pas de risque de perdre le couteau à cause d'une usure prématurée des têtes de boulon.



Multidistribution : tout l'intérêt de l'automatisation de l'alimentation

« Mes animaux sont plus calmes... », « mes vaches fréquentent davantage les robots de traite... », « j'ai moins de compétition à l'auge... », « pas de chute de production laitière pendant les périodes chaudes... » sont autant de retours d'utilisateurs après quelques semaines suivant l'intégration de AURA.

L'apport fractionné journalier de la ration mélangée fraîchement réalisée et prélevée au silo apporte indéniablement des bénéfices sur le troupeau quel que soit son niveau de production. La programmation ou le changement du nombre de distributions journalières est rapide et facile avec l'outil KUHN LIBRAFEED.

AURA

LE DÉCHARGEMENT : DISTRIBUTION 3 ÉTOILES !

Les différents lots d'animaux et donc de distribution sont identifiés dans le navigateur KUHN FARM TRACK. Ce qui pour la machine, permet d'identifier précisément le point de départ et d'arrivée sur la longueur de la table d'alimentation. Pour chacune des rations, vous disposez de la possibilité de fractionner les distributions en plusieurs séquences et d'en définir les horaires.

La distribution utilise la technologie LINEAR FEEDING permettant à AURA à chaque instant de connaître sa position sur l'auge, le reste en cuve à distribuer et la quantité déjà distribuée. AURA va donc ajuster automatiquement et ce, en continu sa vitesse d'avancement et son régime de rotation des vis afin de décharger un cordon d'alimentation totalement linéaire sur la longueur des cornadis.



Tapis transversal de distribution : à droite comme à gauche !

La distribution est assurée par un tapis transversal permettant de décharger à droite comme à gauche du couloir d'alimentation. Ce dernier est placé à l'arrière de la machine. En réalisant la distribution en « marche arrière », AURA apporte le fourrage au plus près des derniers cornadis dans les configurations de bâtiment non-débouchant. Le tapis transversal régule le flux dans les cas des rations fibreuses. En bande PVC, et au-delà de l'aspect silence de fonctionnement, le tapis reste toujours propre. Guidée par deux rouleaux d'entraînement avec une gorge, la bande du tapis reste centrée pour éviter l'usure prématurée.

Repousse par brossage : un nettoyage total de l'auge !

AURA est équipée de deux brosses latérales assurant le balayage des refus jusque dans l'auge. Les brosses ont la faculté à nettoyer tous les éléments différents qui composent les refus... Même en petite quantité.

Le devant de l'auge est toujours impeccable, bénéfique d'un point de vue sanitaire.

Le brossage est réalisé systématiquement lors de chaque distribution afin d'éviter le tri par les animaux. En fonction des souhaits de l'éleveur, il est possible également de programmer un passage de machine uniquement avec la mission de repousse rations.

OUTILS DE PILOTAGE ET DE PROGRAMMATION

KUHN LIBRAFEED

KUHN LIBRAFEED est l'interface dédiée au plan d'alimentation de votre troupeau. Elle qui sera utilisée par la machine comme un gestionnaire de missions. Développé par les équipes KUHN, cet outil est dédié et spécifique à la mélangeuse automotrice autonome AURA.



Dans votre interface KUHN LIBRAFEED, vous programmez les différentes rations avec une liste d'ingrédients déjà préétablis. Vous définissez ensuite le planning de distribution avec le nombre de séquences de déchargement et leurs horaires. Pour chacune des rations, mais également pour chaque ingrédient, vous avez accès aux paramètres des fonctions de la machine avec au choix de laisser les critères par défaut ou bien de les personnaliser : paramètres fonctionnels de la fraise de chargement, des vis de mélange, des fonctions de distribution...

Il suffira ensuite de quelques clics pour créer et identifier tous les lots de distribution avec la possibilité de déterminer un coefficient d'ajustement pour modifier simplement une quantité de ration sur un nombre d'animaux identiques au fil du temps (ex. cas des bovins engraissement pour le suivi de leur croissance). Les modifications réalisées dans KUHN LIBRAFEED impactent directement la programmation de la machine à l'issue de la

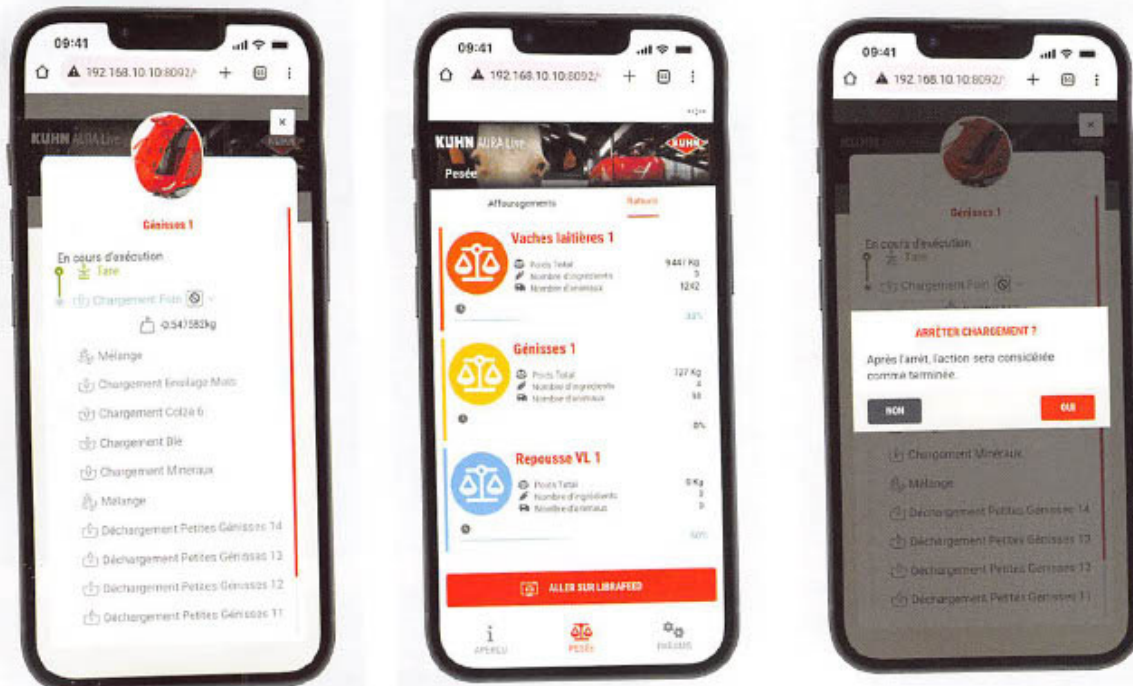
mission réalisée à l'instant « T ». Cette réactivité permet à l'éleveur d'intervenir sur le cycle « des machines à venir » en quelques clics (exemple : modifier une quantité sur un lot de distribution).

Au-delà des fonctions de programmation, KUHN LIBRAFEED a été développé pour offrir tous les tableaux de bord de performances et de reporting des missions effectuées. Vous disposez d'indicateurs par défaut tout en ayant la possibilité de personnaliser ces derniers en croisant vos critères préférés sur des périodes spécifiques de l'année (analyse de l'ingestion des lots, état des stocks, performances AURA sur les temps de cycle...).

KUHN LIBRAFEED s'adapte automatiquement au format de l'écran que vous utilisez : écran PC, sur tablette ou encore sur mobile.

AURA LIVE

AURA LIVE est l'équivalent d'un terminal d'une automotrice ou d'un tracteur agricole. Vous y découvrez l'ensemble des informations pour suivre la machine en temps réel et ce, depuis votre mobile. Comme pour KUHN LIBRAFEED, AURA LIVE a été développé spécifiquement pour répondre aux attentes des utilisateurs d'une machine innovante telle que AURA.



Plusieurs menus sont disponibles depuis votre mobile avec AURA LIVE :

Le menu « Aperçu »

regroupe l'ensemble des informations nécessaires immédiatement sur la machine. Position de AURA sur la carte, l'accès à la caméra « intérieur de cuve », mise en pause de la machine, statut des missions en cours, l'envoi aux différents points d'intérêts (point de lavage, zone de maintenance, point carburant, point de parking...). Les informations techniques y sont également disponibles telles que la température du moteur, le nombre d'heures, le niveau de carburant, le régime moteur...

Le menu « diagnostic »

permet à l'utilisateur d'être informé sur le détail des incidents pour lesquels il reçoit une notification par SMS. Avec les informations du code incident actif, de ceux résolus, du nombre d'occurrences et l'historique des codes erreurs... l'éleveur peut déterminer rapidement les pistes de résolution. En cas d'arrêt de sécurité au silo, un enregistrement des mesures du LIDAR dit « d'intrusion » est systématiquement réalisé permettant à l'éleveur d'identifier l'origine de la mise en sécurité de la machine et de pouvoir intervenir rapidement.

Le menu « paramètres »

est utile pour l'éleveur mais également pour les équipes techniques du partenaire KUHN lors des opérations de maintenance. La fonction « calibrations », le réseau wifi, le spectre d'analyse des capteurs, sans oublier le mode manuel pour prendre la main sur la machine, sont l'ensemble des opérations qui pourront être effectuées avec un smartphone.

CONCEPT DE NAVIGATION : MODULABLE ET ÉVOLUTIF

Le concept de navigation de la mélangeuse automotrice autonome AURA est totalement innovant dans l'agriculture et a été développé pour être évolutif. Il répond ainsi à toutes les situations futures qu'elles soient à court, moyen et long terme. Un changement de rations pour des raisons météorologiques, une évolution d'infrastructures telle que l'ajout d'un silo ou d'un nouveau bâtiment... Sont autant de situations auxquelles AURA devra répondre.

Cet outil baptisé KUHN FARM TRACK a été développé par les équipes recherche & développement KUHN. Il est utilisé par AURA pour sa navigation. AURA suit les trajectoires virtuelles créées dans KUHN FARM TRACK pour rejoindre tous les centres d'intérêts en calculant par elle-même le trajet le plus court. L'éleveur identifiera en amont de la phase d'intégration de la machine tous les points dits « centres d'intérêts » : emplacement des différents lots de distribution, des zones de chargement, de la zone pour le carburant, de la zone de lavage...

Avec cet outil, vous avez à votre disposition la possibilité de faire varier la vitesse de la machine sur l'ensemble des parcours ou encore condamner temporairement une trajectoire pour adapter le fonctionnement de AURA aux différents événements au sein de l'élevage (chantier ensilage...).



Des dispositifs de navigation adaptés au contexte d'un élevage

AURA est équipée de différents dispositifs de localisation pour se guider dans l'élevage. Ces systèmes ne demandent pas d'aménagement, ni au sol ni dans les airs.

- Le GPS RTK est utilisé pour la localisation de la machine en extérieur. Sa précision centimétrique permet à AURA de se déplacer de façon précise.
- Le LIDAR est utilisé principalement dans les bâtiments où le GPS peut être limité en précision. Il s'agit d'un laser rotatif qui mesure les distances avec les points fixes de l'élevage (poteaux bâtiments...).
- L'odométrie consiste à instrumenter chaque roue avec des capteurs qui enregistrent en continu l'angle et la vitesse afin d'en déduire une position. AURA peut se déplacer sur une courte distance de façon totalement autonome.



Transmission et gestion de l'avancement

La transmission hydraulique associée aux 4 roues motrices de AURA lui confère une capacité de déplacement jusqu'à 7.2 km/h sur sol plat et même, une capacité de franchissement jusqu'à 20 % de pente !

AURA se déplace sur tous les terrains dès lors que le sol est correctement stabilisé.

Ses 4 roues directrices assurent une maniabilité hors pair pour se faufiler dans tous les espaces avec son déplacement en « crabre ».

La centrale inertielle embarquée fait ralentir automatiquement la machine en cas de secousses pour préserver sa structure et ses composants. En cas de pente importante, le cycle de mélange réalisé pendant le transport s'arrête pour éviter tout débordement du fourrage hors de la cuve.

KUHN, LA SÉCURITÉ AVANT TOUT !

Les phases de développement de AURA ont laissé la part belle au travail autour de la sécurité de la machine mais également des personnes qui évoluent autour de la machine quotidiennement sans oublier tous les visiteurs non-habituels de l'élevage.



Sécurité en déplacement : respect des normes.

La norme européenne des automates d'alimentation ISO 3991 (en cours de publication) détermine les règles de sécurité sur lesquelles s'appuient en partie les fondements de la sécurité de AURA.

Plusieurs dispositifs de sécurité équipent la machine :

- LIDAR de sécurité qui permet à AURA de circuler à 7.2 km/h tout en anticipant la détection d'un obstacle sur sa trajectoire,
- Des capteurs sont disposés à l'avant et à l'arrière de la machine et permettent de détecter les obstacles précisément avant d'entrer au contact. Si l'obstacle est détecté durant un laps de temps défini, AURA signale l'incident à l'éleveur par notification.
- Les bordures sensibles sont les sécurités ultimes qui arrêtent la machine en cas de contact.

Pour aller encore au-delà, des arrêts de sécurité dits « coup de poing » sont disposés autour de la machine. À cela s'ajoutent aussi les voyants lumineux qui selon la couleur informent les visiteurs du sens de circulation et d'orientation de la machine.



Sécurité dans les silos : toute la singularité et spécificités de AURA !

AURA est l'unique automate d'alimentation qui embarque un module de chargement. C'est tout le savoir faire KUHN qui a permis de sécuriser cette fonction sur la machine.

Avant la mise en route de la fraise, plusieurs vérifications sont réalisées systématiquement par la machine :

- Le LIDAR de sécurité placé à l'avant de la machine vérifie que personne ne se situe dans la zone proche de la fraise. Lors de l'opération de fraisage, l'entrée d'un individu dans cette zone dite « sacralisée », interrompt automatiquement la fraise en mouvement.
- Les capteurs sur le convoyeur, permettent de valider l'absence et de prévenir l'arrivée d'un individu au sommet du tas d'ensilage avant et pendant le fraisage.

LE PROCESSUS D'INTÉGRATION

Durant toutes les phases d'avant-projet jusqu'à l'optimisation des performances de AURA dans l'élevage, vous êtes accompagnés par les équipes KUHN et celles des partenaires revendeurs pour la réussite de votre investissement.



1. ANALYSE DU PROJET

Suivi - Echanges - Conseils - Expertise

VALIDATION DEVIS - COMMANDE



2. TRAVAUX PRÉPARATOIRES

de l'élevage (silos, périphériques...)

Pré-visite de sécurité
Rédaction du rapport de pré-visite

CONFIRMATION DE COMMANDE



3. INSTALLATION RÉSEAUX

Couverture WIFI



4. INSTALLATION PACK N°1 et N°2

Pack N°1 : Composants réseaux et guidage
Pack N°2 : Composants sécurités et informatiques



Définition des paramètres KUHN FARM TRACK
(points d'intérêts et trajectoires)



5. PRESTATION GÉOMÈTRE



6. LIVRAISON AURA - INTÉGRATION OPTIMISATION PERFORMANCES



Test WIFI
Visite de sécurité « SAFETY CHECK »



Fin de l'intégration
Réception machine et de son environnement
par le procès verbal de réception

Document n° 3: l'alimentation

Témoignages sur la robotisation de

Source : XXLait Magazine Eté 2023
Extraits : pages 1,15 à 21,23 à 26, 28 à 29.

Été 2023

XXL LAIT

ÉCHANGER ENTRE GRANDS TROUPEAUX LAITIERS

Le mag.



GrAnd Angle

UNE ENVIE DE ROBOT D'ALIMENTATION!

DE L'EAU DE PLUIE TRAITÉE POUR LES BOVINS	REPASSER DE L'AUTOMOTRICE AU BOL MÉLANGEUR	À 14000 KG / VL, LE MONITORING EST INDISPENSABLE
---	--	--



Moins de 1000 exploitations laitières sont aujourd'hui équipées d'un robot d'alimentation. Le taux d'équipement devrait au moins tripler dans les cinq prochaines années puisque dix pour cent des éleveurs ont l'intention d'investir dans ce type de machine pendant cette période. Nous pouvons ajouter qu'un tiers des autres éleveurs aimerait bien les rejoindre^[1].

Qui sont les potentiels investisseurs ?

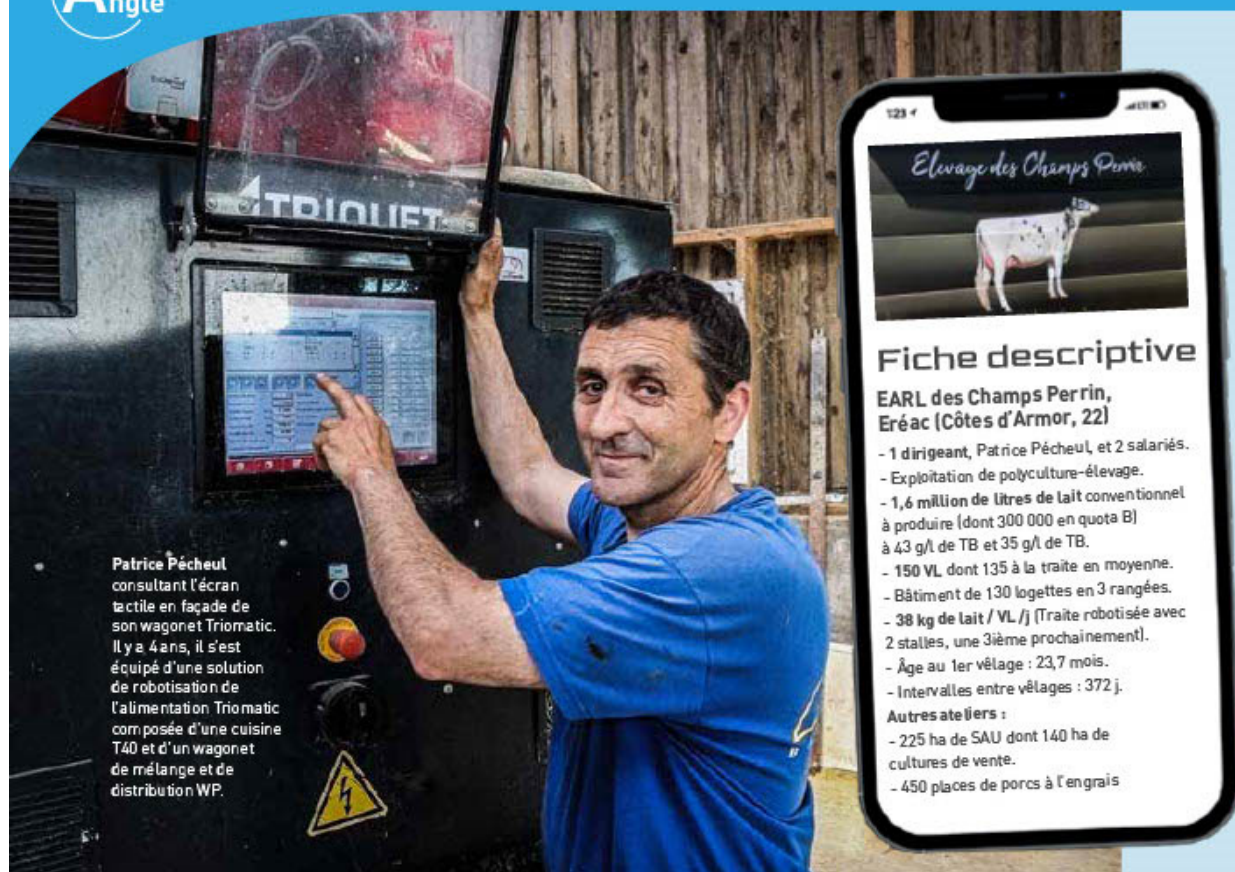
Ce qui les rassemble le plus, c'est la part des salariés dans la main d'œuvre totale de l'exploitation. Les structures collectives avec des salariés sont sur-représentées parmi les investisseurs. Les éleveurs que Le Mag XXLait a rencontré pour échanger sur leurs motivations et sur leur expérience ont également ce point commun : en plus de gagner du temps au quotidien pour diminuer les charges salariales, ils souhaitent mieux organiser l'astreinte des week-ends et proposer un système de production plus technologique pour attirer de jeunes salariés dans un contexte de pénurie de main d'œuvre. Les agriculteurs qui ont sauté le pas ou intéressés par l'investissement élèvent 105 vaches en moyenne avec la volonté d'accroître leur cheptel puisqu'une grande partie d'entre eux se voit à la tête d'un troupeau de plus de 150 vaches dans les cinq prochaines années. Ils sont également très productifs avec, fréquemment, d'autres productions agricoles en plus du lait. La part des éleveurs qui veulent gagner plus en travaillant plus est sur-représentée chez les éleveurs attirés par les robots.

Quelles différences entre les robots ?

Le Mag XXLait a visité quatre fermes équipées de solutions différentes qui se distinguent par besoin d'une cuisine ou non, le stockage des fourrages en cubes ou en vrac, leur motorisation, sur courant électrique, sur batterie ou thermique et leur guidage par GPS RTK, par LiDAR ou nécessitant la pose d'un rail ou d'un fil. Ils se distinguent également par leur capacité ou non à se connecter avec les robots de traite pour valoriser les données de production laitière et de consommation sous forme d'indicateurs.

Quant au prix, il dépend du nombre d'animaux à nourrir, de la configuration des bâtiments, du nombre d'aliments dans les rations... Les éleveurs que Le Mag XXLait a rencontrés ont investi entre 270 000 € et plus de 350 000 € tout en économisant le renouvellement de leur précédent mode de distribution et entre un tiers temps et un mi-temps de salarié par an.

[1] Source : enquête Agrinova auprès de 279 élevages laitiers de plus de 30 vaches, 6 décembre 2022.



Patrice Pécheul consulte l'écran tactile en façade de son wagonnet Triomatic. Il y a 4 ans, il s'est équipé d'une solution de robotisation de l'alimentation Triomatic composée d'une cuisine T40 et d'un wagonnet de mélange et de distribution WP.

Élevage des Champs Perrin



Fiche descriptive

EARL des Champs Perrin,
Eréac (Côtes d'Armor, 22)

- 1 dirigeant, Patrice Pécheul, et 2 salariés.
- Exploitation de polyculture-élevage.
- 1,6 million de litres de lait conventionnel à produire (dont 300 000 en quota B) à 43 g/l de TB et 35 g/l de TB.
- 150 VL dont 135 à la traite en moyenne.
- Bâtiment de 130 logettes en 3 rangées.
- 38 kg de lait / VL / j (Traite robotisée avec 2 stalles, une 3ième prochainement).
- Âge au 1er vêlage : 23,7 mois.
- Intervalles entre vêlages : 372 j.

Autres ateliers :

- 225 ha de SAU dont 140 ha de cultures de vente.
- 450 places de porcs à l'engrais

SALARIÉS ET ROBOTS, UNE HISTOIRE DE SYNERGIES !

REPORTAGE. Salariés ou robot ? Pour Patrice Pécheul à la tête d'un troupeau de 150 vaches dans les Côtes d'Armor, l'automatisation de la distribution permet d'attirer dans le métier de jeunes salariés férus de nouvelles technologies, de mieux organiser leur travail grâce au gain de temps et d'être productif. Chez lui, c'est donc salariés ET robots.

Patrice Pécheul est installé dans les Côtes d'Armor, entre Rennes et Saint-Brieuc depuis 1993. Il produit 1,6 million de litres de lait, cultive 225 ha de SAU et engraisse des porcs charcutiers. Ils ne sont que trois pour abattre tout ce travail : l'éleveur et ses deux salariés. Il explique «qu'il a donc construit tout son système de production pour livrer le maximum de lait par place de bâtiment». Chacune des heures de travail des salariés doit être rentable ! Pour illustrer son obsession de la rentabilité du travail, il cite «qu'il ne sort pas ses

vaches au pâturage, car ce n'est économiquement pas intéressant d'envoyer des salariés compétents à poser des clôtures». C'est également sa préoccupation de la productivité du travail qui l'a poussé, il y a quatre ans, à réorganiser ses bâtiments d'élevage en les regroupant tous sur le même site. Un bâtiment pour les génisses a été construit en face de celui des vaches laitières. Dans l'alignement de cet ensemble, il a érigé une autre stabulation pour les vaches tarées et celles en préparation au vêlage.

Donner envie aux salariés

Simultanément, il a lancé son projet de robot d'alimentation. Il distribuait alors les rations de ses bovins avec un bol mélangeur qui allait sur ses huit ans et qu'il fallait renouveler. Il en était de même pour le tracteur attelé à ce dernier qui affichait 14 000 heures de travail au compteur. «Leurs renouvellements à l'identique ne permettaient pas de résoudre mes problématiques de travail, au premier rang desquels,

des journées surchargées» analyse Patrice Pécheul. Comme il avait pris l'habitude d'enregistrer les emplois du temps, il avait calculé que l'alimentation des bovins occupait 1100 heures par an en comptabilisant les temps de distribution, d'enlèvement des refus, de repousse des fourrages, de débâchage et de nettoyage des pieds de silo. Le dirigeant avait également identifié que le fait d'être dépendant de la main d'œuvre salariée était une fragilité dans un contexte de forte concurrence entre agriculteurs pour recruter des ouvriers. «Si je venais à manquer de main d'œuvre, je pourrais mettre mon exploitation en péril» résume-t-il pour expliquer sa crainte. Il se doit donc d'offrir des conditions de travail attractives pour fidéliser ses employés et en recruter de nouveaux. Le nombre de week-ends d'astreinte en fait partie avec un objectif pour l'employeur : pas plus d'un sur trois ! Pour obtenir ce résultat, il fallait réduire le temps de travail pendant les week-ends pour qu'une seule personne puisse effectuer l'ensemble des tâches. Aujourd'hui, la durée de l'astreinte est limitée à cinq heures de travail le samedi ainsi que le dimanche. La semaine d'avant et celle d'après son week-end travaillé, le salarié n'est présent que quatre jours sur l'exploitation, si bien qu'il profite de deux pauses de trois jours ou de trois jours et demi autour de son week-end d'astreinte. Pour Patrice Pécheul, la robotisation participe également à l'intérêt du travail pour les salariés. Il constate que «c'est plus facile de recruter de jeunes salariés dans une ferme technologique et qu'il a pu embaucher des personnes qui ne sont pas issues du milieu agricole». «Les jeunes sont doués pour les nouvelles technologies, ils adorent cela, c'est leur univers» observe l'éleveur qui est convaincu que «les exploitations agricoles ont intérêt à suivre cette évolution de la société». La robotisation permet également de diminuer la pénibilité de certains travaux. «Sans les robots, j'aurais sans doute eu plus de mal à convaincre ma dernière recrue, une femme, de venir travailler chez moi» note Patrice Pécheul. La robotisation ne fait pas tout pour recruter et fidéliser les salariés. L'éleveur cite, comme autres avantages pour ses deux employés, la mise en place d'un plan d'épargne salariale (intéressement). Il constate avec satisfaction que toutes ces attentions portent leurs fruits puisque l'un de ses deux salariés «est fidèle au poste» depuis 2016.

Economie de 850 heures de travail par an

C'est donc convaincu par les nombreux avantages de l'automatisation de l'alimentation, que Patrice Pécheul s'est lancé, en 2018, à la recherche de la solution robotisée la mieux adaptée à son exploitation. «Il y a quatre ans, les offres disponibles sur le marché étaient réduites à quelques-unes» souligne l'éleveur. Il a choisi une solution Triomatic® (c'est le nom donné par le fabricant de mélangeuse Trioliet à ses robots d'alimentation) composée d'une cuisine T40 associée à wagonnet de mélange et de distribution WP type «TGV». La cuisine T40 permet de stocker les fourrages sous forme de cubes, en balles ou en vrac (pour la paille) et de charger les quantités voulues dans le wagonnet. Ce dernier, avec une cuve de 3 m³ en inox et une double vis du même métal, mélange les ingrédients et se déplace en roulant dans l'exploitation. Comme un train, il est alimenté par un rail électrifié qui a aussi pour rôle de le guider dans ses déplacements. Le wagonnet WP pouvant fonctionner 24 heures sur 24 (il n'y a pas de temps de recharge), a la capacité, selon Trioliet, d'alimenter jusqu'à 800 UGB. Le constructeur propose deux autres motorisations du wagonnet : un modèle suspendu à un rail (sans roue) ou un autre

modèle à roues alimenté par une batterie rechargeable et filoguidé. Ce dernier, plus facile à implanter dans certaines exploitations, nourrit jusqu'à 300 UGB. La solution choisie par l'éleveur a coûté 230 000 €, auxquels il faut ajouter le hangar et ses aménagements abritant la cuisine et l'achat d'un désile-cube (l'ensemble est estimé à 30 000 € par l'éleveur avec l'autoconstruction des ouvrages bétonnés). Patrice Pécheul calcule qu'avec un coût d'amortissement annuel de 28000 € sur douze ans, cet équipement revient à 20 € par mille litres de lait en ajoutant la consommation électrique de l'ordre d'une dizaine d'euros par jour. Cependant, ce n'est pas avec cet indicateur que Patrice Pécheul compare le coût d'usage de son Triomatic par rapport à celui d'une mélangeuse. Une mélangeuse trainée de 16 m³ aurait coûté autour de 13 000 € d'amortissement annuel (en incluant la part du tracteur et du télescopique dédiée à l'alimentation). A ce coût, il convient d'ajouter le temps de travail économisé avec la robotisation. Comme il note tous les temps de travaux, il a pu calculer un gain annuel de 850 heures, soit l'équivalent d'un mi-temps de salarié. Pour un salarié payé 1800 € nets par mois, l'économie se chiffre à 17000 € par an, charges patronales incluses. Même sans tenir compte de l'écart de consommation de GNR en faveur du robot, le prix de revient annuel du Triomatic est donc compétitif.



Le wagonnet WP se déplace en roulant dans l'exploitation. Il est alimenté par un rail électrifié placé jusqu'à 4,20 m de hauteur qui a aussi pour rôle de le guider dans ses déplacements (un système de pont permet de relever le rail de 1,5 m).

Lamier bilame de désilage

Chez Patrice Pécheul, la cuisine T40 est composée de quatre tables de stockage en matériaux durables (composites et inox) de neuf mètres de longueur. Deux d'entre elles sont réservées à l'ensilage de maïs, une à l'ensilage d'herbe et une dernière à la paille. L'agriculteur aurait aimé s'équiper d'une table supplémentaire pour incorporer deux qualités différentes d'ensilage d'herbe dans ses rations. L'investissement de 20 000 € environ l'en a dissuadé. La capacité de stockage est étudiée pour assurer trois à quatre jours d'autonomie entre les réapprovisionnements. Dans les faits, l'éleveur recharge les tables quand il a un moment de disponible. *«Je ne bloque pas de temps spécifique pour cela dans mon emploi du temps»* précise-t-il. Une alarme sms le prévient quand un fourrage vient à manquer. Les tables sont équipées de convoyeurs à chaînes qui avancent les cubes de fourrage pour le désilage ou les reculent lors du réapprovisionnement pour coller le nouveau cube à celui en cours de désilage. Un lamier bilame permet de débiter «des tranches» de fourrage dans le cube. L'une des lames fait des coupes horizontales dans le cube et l'autre des coupes verticales. *«Avec ce système, le cube se tient bien, il ne s'effondre pas en cours de désilage»* souligne l'éleveur. La taille «des tranches» est réglable si bien que le lamier peut découper des balles de paille, de foin ou d'enrubannage. Mais, l'éleveur juge que le temps de découpe des fourrages en balles est un peu long car *«il faut faire faire des petites tranches pour obtenir un bon mélange dans le wagonnet»*. Il préfère donc utiliser de l'herbe ensilée et de la paille hachée et calibrée qu'il charge en vrac sur

la table. Les convoyeurs demandent un entretien régulier : la tension des chaînes d'entraînement est réalisée tous les ans et le graissage des roulements tous les huit jours.

Zéro refus

Le wagonnet WP alimente les vaches en lactation et les génisses qui partagent le même couloir d'alimentation ainsi que les vaches tarées et celles en préparation au vêlage élevées dans un autre bâtiment construit dans l'alignement du premier. La particularité du robot Triomatic est de pouvoir distribuer le long d'une auge à l'aller ou au retour. La ration des laitières composée de 10 Kg MS d'ensilage d'herbe, de 12 kg MS d'ensilage de maïs, de 1,25 kg de maïs grain sec ainsi que de 2,5 kg de correcteur azoté et de 320 g de minéraux est distribuée en neuf parts égalitaires par jour. *«C'est possible de la diviser en parts inégales»* précise Patrice Pécheul. Le robot Triomatic offre énormément de possibilités de programmation de son fonctionnement directement sur l'interface tactile du wagonnet WP. *«Pour chaque ration, je peux programmer la vitesse de mélange et le temps de mélange. Pour la gestion des quantités distribuées, je peux agir sur le nombre de vaches à l'auge ou sur le pourcentage de ration à distribuer»* observe l'éleveur. C'est cette dernière option qui est privilégiée pour ajuster les quantités distribuées en fonction du reste à l'auge. Par sécurité, l'éleveur préfère qu'il reste en permanence suffisamment de fourrage dans les auges, le temps de le temps d'intervenir en cas d'alarme. *«Je ne veux pas travailler en flux tendu»* insiste-t-il. Cela ne signifie pas qu'il jette des refus, bien au contraire! *«Avec les distributions fréquentes, les rations ne chauffent plus dans les auges. Je ne jette plus de refus, c'est*

autant de fourrage économisé» souligne-t-il.

Plus d'activité dans le bâtiment

Quand Patrice Pécheul fait le point sur ce qui a changé dans son troupeau suite à la mise en route du robot Triomatic il y a quatre ans, il cite en premier lieu l'augmentation de l'activité des animaux la nuit qui se traduit par des passages plus fréquents au robot de traite. *«Le robot d'alimentation rythme la vie dans le bâtiment»* observe l'éleveur qui a remarqué *«que chaque passage du robot stimule les vaches même quand il ne fait que passer pour distribuer dans le bâtiment des tarées»*. Il a également observé un gain de production laitière. *«Elle est spécifiquement liée au manque de places aux cornadis dans mon bâtiment»* explique Patrick Pécheul qui précise *«qu'il n'a que 105 places à l'auge pour 135 vaches présentes (ndlr : 0,8 place à l'auge par vache présente)»*. Les vaches dominées étaient défavorisées lorsque l'éleveur distribuait à la mélangeuse. *«Alors qu'avec une distribution automatisée, la fréquentation de l'auge est plus étalée, toutes les vaches ne viennent pas manger en même temps»* explique l'agriculteur. Un coût d'usage compétitif par rapport à un bol mélangeur, de meilleures conditions de travail pour les salariés et quelques effets positifs sur le troupeau : Patrice Pécheul est convaincu que l'automatisation de la distribution était le bon choix pour son exploitation. *«Cela comptera également dans l'attrait de mon exploitation quand sonnera l'heure de la retraite dans une dizaine d'années et que je chercherai à transmettre»* ajoute l'éleveur à la liste des avantages.



La cuisine T40 est composée de quatre tables de stockage en inox de neuf mètres de longueur. Ces dernières sont équipées de convoyeurs à chaînes qui avancent ou reculent les cubes de fourrage. Un lamier bilame permet de débiter «des tranches» de fourrage dans le cube pour le désiler.

Adèle Salles et son frère Etienne, les deux associés du Gaec de la Huverie dans l'Orne.



FACILITER L'ORGANISATION PENDANT LES PICS D'ACTIVITÉ ET LES WEEK-ENDS

REPORTAGE. Pour remplacer leur mélangeuse automotrice, Adèle Salles et son frère et associé Etienne ont choisi une mélangeuse autonome AURA. Ce choix a été guidé par la nécessité de diminuer l'astreinte pendant les week-ends et de faire face aux pics d'activité.

Adèle Salles est venue s'installer avec son frère Etienne en 2019 après quelques années d'expérience dans un métier qu'elle qualifie « de trop sédentaire à son goût ». La relation avec les animaux lui manquait. Comme son frère se retrouvait seul à la tête de l'exploitation familiale après un mouvement d'associés, elle a sauté le pas. Aujourd'hui, la jeune femme ne regrette pas son choix. Elle apprécie « d'être responsable de ses résultats » et le challenge « de toujours chercher à mieux faire ». « Nous ne sommes jamais assez bons » ponctue Adèle Salles en souriant.

Les deux jeunes éleveurs savent dans quelle direction ils veulent conduire leur exploitation. Etienne Salles, le frère et l'associé d'Adèle, l'image sous la forme d'un triangle reliant trois termes : performances économiques, résultats techniques et temps de travail. « Nous cherchons à atteindre le bon équilibre entre ces trois objectifs, c'est-à-dire à améliorer les performances économiques en progressant techniquement tout en n'augmentant plus le temps de travail » explique l'exploitant. Le travail ne manque pas

sur l'exploitation puisque les deux associés aidés de deux salariés élèvent 130 vaches laitières, engraisent 180 taurillons, cultivent 240 ha de terre et font tourner un méthaniseur en cogénération de 250 kWh (leurs parents à la retraite leur donnent un coup de main). Le tout, en gardant un œil attentif sur leurs marges qu'ils comparent avec celles d'autres éleveurs dans un groupe GTE. A ces objectifs, Adèle Salles, responsable de la conduite du troupeau laitier, ajoute un objectif de productivité laitière afin de maîtriser la taille du troupeau car la traite est robotisée. Elle est, entre autres, attentive aux démarrages en lactation des primipares, avec l'objectif de leur faire produire plus de 30 kg de lait six à huit semaines après leur vêlage.

1 week-end sur 2 libéré

Cette recherche du bon compromis entre économie, technique et temps de travail a guidé leur décision de robotiser la distribution des rations des bovins lorsqu'il a fallu

renouveler leur mélangeuse automotrice de 13 m³. « Nous en avons envie depuis quelques années, mais nous avons différé cet investissement pour prioriser la construction d'une nouvelle stabulation pour les génisses » explique Adèle Salles qui poursuit « qu'au niveau de l'organisation du travail, nous avons trois problèmes à résoudre ». Premièrement, les deux associés voulaient libérer un week-end sur deux pour leurs salariés et eux-mêmes. Il fallait donc pouvoir réaliser le travail d'astreinte en équipe de deux. Ensuite, ils souhaitaient réduire le pic de travail pendant les saisons de gros travaux de culture. « Avec notre mélangeuse automotrice, nous étions obligés de distribuer les rations des vaches deux fois par jour (soit 3 heures de travail au total). Quand nous étions dans les champs, il fallait donc tout arrêter pour revenir désiler en fin d'après-midi » précise Etienne Salles. Un autre objectif de la robotisation est « d'être moins dépendant des salariés » selon les mots d'Adèle Salles. Son frère explique « qu'économiquement, c'est plus intéressant d'embaucher un salarié que de roboti-

Fiche descriptive

Gaec de la Huverie, Saint-Hilaire-de-Briouze (Orne, 61)

- 2 associés : Adèle SALLES (installée en 2019) et son frère Etienne (installé en 2013) aidés de 2 salariés.
- Exploitation de polyculture-élevages.
- 240 ha de SAU dont 150 ha pour l'alimentation des bovins.
- Engraissement de 120 taurillons de race Charolais (achetés à 8 mois) et de 60 taurillons de race Holstein nés sur l'exploitation.
- Unité de méthanisation de 250 kWh / j en cogénération.
- 130 vaches laitières de race Prim' Holstein (120 à la traite) pour produire 1,36 million de litres de lait conventionnel à 43 g/l de TB et 34,5 g/l de TP.
- Traite robotisée depuis 2000.
- Mélangeuse autonome AURA depuis octobre 2022.

ser. Mais, dans un système comme le nôtre, l'absence prolongée d'un salarié peut mettre en péril l'équilibre de l'exploitation». «Il fallait trouver un compromis entre automatisation et salariés pour nous sécuriser» appuie sa sœur.

Une fois prise la décision d'investir dans la robotisation, le frère et la sœur ont étudié et comparé plusieurs solutions possibles. «Nous avons des cousins qui ont investi dans un robot AURA (ndlr: commercialisé par KUHN sous le nom de mélangeuse automotrice autonome AURA au prix catalogue de 255 000 € HT) et l'absence de cuisine pour charger les fourrages nous plaisait» argumente Adèle Salles. La motorisation thermique n'est pas un frein pour son frère qui donne l'exemple «du moteur thermique de la génératrice de leur méthaniseur qui fonctionne en continue sans problème». L'éleveur constate une consommation de GNR de l'ordre de 50 litres par jour pour douze heures de travail quotidien.

Choix de 12 heures de fonctionnement par jour

La machine a été mise en route à l'automne 2022. Bien qu'elle puisse parfaitement fonctionner de nuit (dans certains élevages, AURA tourne plus de 16 heures par jour), les deux jeunes éleveurs ont décidé de ne la faire travailler que de 6 heures du matin à 18 heures, lorsqu'ils sont présents sur le site. «Je suis d'astreinte de nuit pour les robots de traite et mon frère reçoit les alarmes du méthaniseur. Nous ne souhaitons donc pas avoir d'astreinte de nuit pour cette machine» explique Adèle Salles. «Pour rester dans cette plage horaire de fonctionnement, nous avons cherché à rationaliser les circuits afin de ne pas multiplier les allers et retours avec le bol à moitié plein» explique Etienne Salles. Les éleveurs ne formulent qu'un seul mélange pour les vaches en lactation qui est distribuée sept fois par jour. Ce mélange inclue peu d'ingrédients: du maïs ensilage, de l'ensilage d'herbe, du tourteau de colza et des minéraux. Les taurillons de race Holstein et ceux

de race Charolaise reçoivent deux rations différentes distribuées trois fois par jour. Les vaches tarées sont nourries avec la moitié de la ration des mères en préparation au vêlage (c'est la même composition, y compris en minéraux) complétée par de la paille. De la même façon, toutes les génisses de plus de trois mois reçoivent la même ration de base en quantité qui augmente avec l'âge. Adèle Salles complémente manuellement (en top feeding) certains lots avec des concentrés.

Les ensilages de maïs et d'herbe sont chargés grâce à la fraise de la mélangeuse autonome directement dans les silos. La paille pressée et les balles de foin sont stockées dans de petits silos couloirs avant d'être repris pour interdire l'accès à la fraise pendant le chargement et respecter les normes de sécurité. Bien que la paille soit hachée au rotocut dix-sept couteaux lors du pressage, elle est trop longue rendue à l'auge et les animaux la trient. C'est pourquoi, les éleveurs envisagent de la hacher et de la calibrer en vrac. AURA peut tout à fait fonctionner avec des petits silos aménagés dans des travées de hangar existantes ain-

si qu'avec les silos de stockage des concentrés présents dans les exploitations. Pour leur confort de travail, Adèle et Etienne Salles ont, quant à eux, choisi de construire et d'aménager un nouvel hangar de stockage des aliments et des minéraux « high tech ». Celui-ci comprend 1/ deux travées de stockage des balles pressées, 2/ une travée où descendent les vis de chargement des minéraux et des concentrés, 3/ le stockage et le remplissage des trémies en minéraux et en compléments nutritionnels (voir photos) et 4/ le stockage à plat des concentrés bennés en vrac qui sont repris grâce à des vis transversales enterrées dans le sol bétonné. L'investissement dans ce hangar de stockage est estimé à environ 150 000 € par Etienne Salles.

Après 6 mois de mise en route

Après seulement six mois de mise en route, les deux éleveurs n'ont pas pris le temps de faire le bilan des effets de cet équipement sur les performances techniques et économiques des ani-



La travée de stockage des minéraux et des nutritionnels comprend 2 étages. A l'étage supérieur, où les minéraux sont stockés, des tubes descendent directement dans les trémies situées à l'étage inférieur pour les charger. Un charriot « de fabrication maison » permet d'acheminer les sacs de minéraux juste au-dessus des tubes. Ce charriot est même équipé d'un aspirateur à poussière. Cette installation permet de manipuler les sacs de minéraux sans effort et sans inhaler de poussière.

maux. « *Nous nous sommes surtout concentrés sur l'optimisation des circuits de distribution* » commente Adèle Salles. La jeune éleveuse note tout de même deux améliorations. Comme c'est plus facile de modifier les rations ainsi que les quantités distribuées par lot d'animaux, ces ajustements sont faits plus régulièrement qu'avant. Elle observe également « *que le robot d'alimentation favorise les primipares et les animaux dominés qui ont plus facilement accès à l'auge avec la multiplication des distributions* ». Selon l'éleveuse, l'effet sur le démar-

rage en lactation de ces vaches n'est, cependant, pas visible. Pour le moment, Adèle et Etienne Salles n'ont pas cherché à avoir une conduite plus technique de l'alimentation sauf pour les petites génisses qui sont nourries plus précisément. L'investissement dans leur robot d'alimentation a été réfléchi, avant tout, pour améliorer l'organisation du travail et les sécuriser face à la quantité de travail. Objectifs atteints et cela se lit sur le sourire souriant des deux associés. Ils ont également économisé plus de deux et demi de travail par jour.



[de gauche à droite] Lydie Joyeux, son fils Ewen et son mari Vincent. La famille exploite, en système biologique, une ferme laitière de 100 vaches et de 80 chèvres dont la production est entièrement transformée sur place.

Fiche descriptive

Earl Entre Terre et Mer,
Locoal-Mendon
(Morbihan, 56)

- 2 associés, Lydie et Vincent Joyeux aidés de 6 à 7 salariés (dont Ewen leur fils).
- 100 vaches de race Holstein et Jersiaise (21 kg de lait / VL / j).
- 80 chèvres (Troupeau en cours de construction).
- En agriculture biologique.
- Lait entièrement transformé à la ferme en fromages, fromages frais, yaourt et lait de consommation.
- Traite robotisée (2 VMS 310).
- Alimentation robotisée : système Delaval OPTIMAT MASTER + OPTIWAGON.

A L'EARL ENTRE TERRE ET MER : « NOUS SOMMES ENCORE LUCIDES ET EFFICACES EN FIN DE JOURNÉE POUR CONSACRER DU TEMPS À LA GESTION DE NOTRE ENTREPRISE »

TEMOIGNAGE. En 2022, Lydie et Vincent Joyeux, éleveurs laitiers et fromagers, ont robotisé à la fois la traite et l'alimentation des bovins. Un choix qui leur permet aujourd'hui de dégager du temps pour la gestion et le développement de leur entreprise.

Depuis 2011, Lydie Joyeux et son mari Vincent exploitent, en système biologique, une ferme laitière de 100 vaches et de 80 chèvres à Locoal-Mendon dans le Morbihan. La totalité du lait est transformée sur place en fromages, yaourts et crèmes fraîches vendus notamment en circuit court. Les deux associés peuvent compter sur un effectif de 6 à 7 salariés pour les aider à soigner les animaux ainsi qu'à la fabrication et à la commercialisation des produits laitiers.

En 2022, ils ont fait le choix de robotiser la traite des vaches avec 2 stalles Delaval VMS V310 ainsi que la préparation et la distribution des rations des vaches et des génisses laitières. Pour ce faire, ils ont investi dans une cuisine OPTIMAT MASTER et dans un charriot de distribution

OPTIWAGON. L'automatisation de l'alimentation des 80 chèvres est en projet. « Notre exploitation se développe et le troupeau de vaches laitières s'agrandit » explique Vincent Joyeux. « Nous devons donc trouver des solutions pour faire face à la montée de la charge de travail entre la gestion, la traite des deux troupeaux, la transformation et la commercialisation de notre production ».

Attractif pour la nouvelle génération

Pour les deux associés, robotiser la traite des vaches a été une évidence. Ils ont poursuivi leur réflexion sur l'automatisation, en étudiant les intérêts d'y inclure

l'alimentation des animaux. « En plus du gain de temps, la robotisation de l'alimentation nous permet d'être plus technique au niveau du rationnement, en créant des rations spécifiques pour les petites génisses, pour les génisses à inséminer, pour les vaches tarées et pour celles en lactation » argumente Vincent Joyeux. Il apprécie également que le robot d'alimentation facilite la gestion de l'alimentation pendant la saison du pâturage. En effet, en quelques clics sur son smartphone ou sur son ordinateur, il peut distribuer des rations supplémentaires quand il pleut et que les animaux restent plus longtemps dans le bâtiment. Autre avantage de la robotisation pour l'éleveur : « elle redonne de l'attractivité au métier d'éleveur pour la jeune génération ».



Chez Delaval, les fonctions de mélange et de distribution sont assurées par deux machines différentes. Les fourrages sont stockés en vrac ou en cube sur les 3 tables de stockage (2 jours de stockage en moyenne) puis acheminés, au moment de la confection des rations, dans un bol mélangeur électrique de 8 m³ qui pèse et mélange les ingrédients avant de charger la ration mélangée dans l'OPTIWAGON pour la distribuer aux animaux.



car cette dernière est attirée par les nouvelles technologies». Il cite en exemple son fils Ewen qui vient de les rejoindre sur la ferme en tant que salarié. Pour le producteur, l'implication de son fils dans son travail et sa montée en compétences auraient certainement été moins fortes avec des équipements moins technologiques.

«Pour nous, c'était cohérent de choisir le robot d'alimentation de la même marque que nos robots de traite pour que tous les outils soient synchronisés automatiquement avec la conduite du troupeau via le logiciel de gestion de troupeau Delpro» explique Vincent Joyeux pour justifier la marque du robot choisi. En effet, l'éleveur enregistre dans son logiciel de gestion de troupeau Delpro les entrées et les sorties d'animaux dans les différents lots, ce qui permet de calculer automatiquement le nombre de rations à préparer pour chacun des lots. «Bien sûr, nous pouvons prendre le contrôle de la distribution en passant du mode automatique au mode manuel sur l'ordinateur ou sur notre smartphone pour ajuster en pourcentage ou en repas supplémentaires les quantités distribuées par le robot» commente-t-il. Le logiciel DelPro permet de suivre la marge sur coût alimentaire (MCA) à la condition que les prix d'achat des aliments ainsi que le prix de vente du lait soient bien renseignés. Pour ce faire, il prend en compte la production laitière enregistrée par le robot de traite et les consommations de chaque aliment mesurées par le robot de traite (pour les concentrés distribués individuellement) et par le robot d'alimentation. Le logiciel permet d'anticiper la MCA pour les mois à venir en saisissant les évolutions de prix du lait et du coût des aliments.

Fonctions de mélange et de distribution séparées

Vincent et Lydie Joyeux ont choisi une cuisine OPTIMAT MASTER et un charriot de distribution OPTIWAGON pour composer leur système robotisé d'alimentation^[1]. Dans la cuisine, ils ont trois tables de stockage à fond mouvant et à dé mêleur pour gérer trois types de fourrage différents : dans la première, le fourrage grossier (de l'ensilage de méteil, ou de la paille ou du foin) pour nourrir les génisses et les tarées ; dans la deuxième, un ensilage de maïs épis et dans la troisième un ensilage d'herbe. Les fourrages peuvent être stockés en vrac ou en silo-cube mais pas en balles pressées précise Delaval qui ajoute que les brins des fourrages stockés doivent mesurer moins de 10 cm de longueur pour un bon fonctionnement du dé mêleur. Delaval propose des tables de stockage de 4 à 10 mètres de longueur, l'objectif étant de pouvoir stocker l'équivalent de 2 jours de consommation. Au moment de la préparation des rations, chaque fourrage de la ration est acheminé dans un bol mélangeur de 8 m³ à vis verticale^[2] qui pèse puis mélange les différents ingrédients. Une fois mélangée, la ration est chargée dans le charriot de distribution appelé OPTIWAGON via un convoyeur à bande. Les fonctions de mélange et de distribution sont donc séparées et opérées par deux machines différentes. Pour se repérer dans l'espace, l'OPTIWAGON (le charriot de distribution) suit une ligne à induction enterrée dans les bétons. Selon Delaval, il est possible de créer jusqu'à 8 boucles à induction par installation (et donc 8 possibilités de trajet) pour optimiser la distance à parcourir à chaque

distribution. L'OPTIWAGON commence à travailler à 1h30 du matin en repoussant les fourrages devant les auges. Il prépare et distribue les rations entre 4 heures du matin et 21 heures : 6 rations par jour pour les vaches en lactation et 2 rations pour les génisses et les tarées.

Dégager du temps efficace en fin de journée

«Depuis l'installation du robot d'alimentation, nous avons observé une meilleure circulation des vaches et une meilleure occupation du bâtiment parce que les vaches vont se nourrir à différents moments de la journée» observe Vincent Joyeux, «ce qui favorise la fréquentation des robots de traite». En dehors de la saison de pâturage, les animaux sont traités 2,5 fois par jour en moyenne. Il constate également qu'il ne ramasse quasiment plus de refus à l'auge car les animaux profitent en permanence d'une ration fraîche qui ne chauffe pas dans la journée. «La robotisation de la traite et de l'alimentation nous apporte de la flexibilité dans l'organisation de notre travail dont la quantité est importante sur notre exploitation entre la conduite des deux troupeaux, la traite des chèvres, la transformation fromagère qui nous prend pas mal de temps et la gestion du personnel. Maintenant, nous sommes encore lucides et efficaces en fin de la journée pour consacrer du temps à la gestion de notre entreprise. C'était l'un des objectifs en investissant dans la robotisation et il est atteint» apprécie le chef d'entreprise. Pour lui, «la rentabilité de ce type d'outil se mesure sur le moyen terme en prenant en compte, en plus d'un éventuel gain de production laitière, l'impact sur le taux de renouvellement, sur la croissance des génisses, sur l'amélioration de la santé du troupeau autour du vêlage et même sur l'état d'engraissement des vaches de réforme».

[1] Delaval propose également une cuisine MASTER Standard composée d'une mélangeuse à moteur électrique et d'un convoyeur à tapis ainsi qu'un charriot suspendu sur rail appelé DRW qui constitue une alternative à l'OPTIWAGON.

[2] Une gamme de bols mélangeurs de 8 à 22 m³ est disponible au catalogue Delaval, les plus gros étant équipés de 2 vis de mélange.



Clémence Poussier est associée avec son père Luc dans le Calvados. Les deux éleveurs gèrent, avec un salarié, un troupeau laitier de 200 vaches.

MIEUX EXPRIMER LE POTENTIEL DES ANIMAUX

REPORTAGE. A la fin de l'été 2022, Clémence Poussier et son père Luc ont mis en route un bâtiment entièrement automatisé pour élever leurs deux cents vaches laitières. Leurs motivations : gagner en technicité, économiser de la main d'œuvre et fidéliser un vacher qualifié.

Clémence Poussier s'est installée en 2015 avec son père Luc à Isigny-sur-Mer, dans le Calvados, pour «vivre de sa passion de l'élevage au grand air» comme elle aime à dire. En septembre 2022, les deux associés ont apporté les dernières touches à leur nouveau bâtiment qu'ils ont fait construire pour leurs deux cents vaches laitières. L'ancienne stabulation a été reconvertie pour loger les génisses, les vaches tarries ainsi qu'un lot de vaches en préparation au vêlage. Le nouveau bâtiment entièrement ouvert, avec un toit usine et des aires d'exercice sur caillebotis abrite deux cents logettes disposées en six rangées ainsi que deux tables d'alimentation d'une longueur de soixante-douze mètres chacune. Les caillebotis ont été achetés d'occasion et les ouvrages intérieurs en béton ont été autoconstruits. Le coût de revient est d'environ 3700 € par place sans prendre en compte les différents robots. La nouvelle installation est entièrement automatisée : la traite est robotisée avec trois stalles GEA R9500,

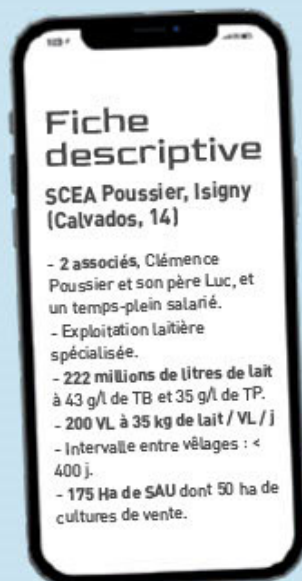
les caillebotis sont raclés avec un robot JOZ et l'alimentation des 450 bovins est distribuée avec un robot GEA F4500 installé en juin 2022.

Plus de lait par vache

Pour justifier son choix d'automatiser la préparation et la distribution des rations, Clémence Poussier exprime, en premier lieu, des motivations techniques en précisant, qu'auparavant, elle utilisait un godet désileur. «Le robot distribue les rations plusieurs fois par jour, jusqu'à seize fois pour les vaches en lactation» commence-t-elle. «Comme nous n'avons qu'un seul lot de laitières, avec tous les rangs et tous les stades de lactation ensemble, la multiplication des distributions limite la concurrence à l'auge» observe l'agricultrice. Elle ajoute à la liste des avantages techniques «une plus grande précision dans les quantités d'aliments chargés». Lors du pas-

sage au robot d'alimentation, quatre mois avant la mise en route du nouveau bâtiment, Clémence Poussier affirme avoir noté une augmentation de la productivité laitière dans l'ancienne stabulation. «Avec la même ration, les animaux, en particulier les primipares, ont mieux exprimé leur potentiel laitier». Un résultat qu'elle attribue «à un meilleur mélange plus précis et à la mise à disposition en permanence d'une ration fraîche». Les vaches ingèrent plus et elles passent plus fréquemment au robot. Conséquence : «la production laitière a augmenté de 30 à 35 kg de lait par vache et par jour» selon l'éleveuse Indlr : cette donnée est à nuancer dans la mesure où, entre les deux périodes comparées, 1/ certaines vaches sont entrées dans le troupeau pendant que d'autres sont sorties et 2/ le stade de lactation n'est pas strictement le même).

L'autre avantage cité par l'éleveuse, c'est le gain de temps. «Avec le godet désileur, nous passions deux heures



Fiche descriptive

SCEA Poussier, Isigny (Calvados, 14)

- 2 associés, Clémence Poussier et son père Luc, et un temps-plein salarié.
- Exploitation laitière spécialisée.
- 222 millions de litres de lait à 43 g/l de TB et 35 g/l de TP.
- 200 VL à 35 kg de lait / VL / j
- Intervalle entre vêlages : < 400 j.
- 175 Ha de SAU dont 50 ha de cultures de vente.

par jour à nourrir nos animaux» se remémore-t-elle. Aujourd'hui, elle consacre environ une demi-heure au quotidien pour réapprovisionner les fourrages dans la cuisine. Le gain de temps de plus de 550 heures par an (soit le tiers d'un temps complet de salarié) est bienvenu quand on sait qu'ils ne sont que trois (avec un salarié) pour soigner un cheptel de 450 animaux, production fourragère comprise.

22 heures de distribution par jour

La solution d'automatisation choisie par les éleveurs comprend une cuisine avec quatre stockeurs et un robot de distribution DAIRYFEED F4500. Les stockeurs sont des conteneurs, à fond mouvant, d'une capacité de 16 m³ dans la ferme de la famille Poussier, qui stockent les fourrages en vrac et les chargent dans le robot. Clémence

Poussier a choisi de réapprovisionner le stockeur de maïs ensilage et celui d'ensilage d'herbe tous les jours et ceux des fourrages secs (Rumiluz et paille hachée à l'ensileuse) avec des intervalles plus longs. «*Cette organisation de la cuisine en stockeurs nous a plu*» commente Clémence Poussier en expliquant «*qu'il n'y a aucune perte de fourrage puisque tout ce qui rentre dans la cuisine est distribué*». Elle ajoute que «*charger les stockeurs est simple et rapide. Je peux confier cette tâche à n'importe quelle personne sachant conduire un télescopique*».

Le robot DAIRYFEED F4500 est un bol mélangeur de 2,2 m³ à motorisation électrique sur batteries et guidé par un capteur LiDAR. Cette technologie permet au robot de se repérer en mesurant en permanence la distance entre le capteur et une cible fixe, c'est-à-dire des murs ou des bardages. Ce dernier travaille vingt-deux heures par jour dans la ferme de Clémence et de Luc Poussier. Selon le constructeur GEA, c'est la machine qui a le temps de fonctionnement quotidien le plus long en Europe. Cette performance est rendue possible car la batterie peut se recharger pendant le temps de mélange de la ration.

Le robot prépare six rations : une pour les vaches en lactation distribuée seize fois par jour ; une autre pour les vaches tarées distribuée deux fois par jour ; une ration pour les vaches en préparation aux vêlages (séparées en deux lots) distribuée une seule fois par jour et trois mélanges différents pour les génisses distribués, chacun, deux fois par jour. C'est l'éleveuse qui choisit les horaires de distribution. GEA annonce l'arrivée, en septembre 2023, d'un capteur de mesure des restes à l'auge pour tenir compte des auges vides et modifier automatiquement les horaires de distribution. Les volumes de ration à préparer par lot sont ajustés automatiquement par le logiciel de

gestion de troupeau DairyNet Box en fonction du nombre d'animaux enregistré dans chaque lot. L'éleveuse peut reprendre la main manuellement en jouant sur le pourcentage de ration à distribuer. En rapprochant les quantités de lait mesurées par les robots de traite et les quantités d'aliment distribuées, le logiciel peut analyser des indicateurs tels que l'efficacité de transformation des rations et calculer les coûts de ration pour chacun des lots. Clémence Poussier admet «*qu'avec toutes les mises en route, elle n'a pas pris suffisamment le temps de découvrir toutes les possibilités d'analyse du logiciel. Même si cela l'intéresse énormément*».

Préparer la retraite

La robotisation a permis de préparer le départ à la retraite de Luc Poussier le père et associé de Clémence. Dès aujourd'hui, à 60 ans, il peut souffler un peu en étant moins présent sur l'élevage grâce, également, à l'embauche prochaine d'un apprenti. «*Nous n'avons pas besoin d'être trois en permanence*» reconnaît sa fille. «*Les week-ends, il faut être deux le matin pour effectuer l'ensemble du travail. Mais, le samedi et le dimanche soir, une seule personne suffit*» décrit-elle. Quand le père de Clémence Poussier prendra sa retraite, cette dernière envisage de le remplacer par un salarié supplémentaire. Pour la jeune femme, «*la robotisation allège, la pression mentale des salariés quand ils se retrouvent seuls sur l'élevage car ils savent que je peux suivre le troupeau à distance, et que je peux prendre la main sur les robots avec mon smartphone*». Avec son nouveau bâtiment automatisé, l'éleveuse «*espère être attractive pour recruter et fidéliser un vacher expérimenté qui peut prendre la responsabilité du troupeau et me permettre de m'absenter*».



La solution GEA d'automatisation de l'alimentation comprend une cuisine avec 4 stockeurs de fourrage en vrac et un robot de mélange et de distribution DAIRYFEED F4500. Ce dernier parcourt une distance de 30 mètres entre la cuisine et le nouveau bâtiment sur des chemins de roulage en béton. Guidé par un capteur LiDAR, il a besoin de cibles fixes pour se repérer. La machine peut monter des pentes de 10 % et franchir de petites marches de 5 cm de hauteur selon le constructeur.

26 XLAIT
Le blog





ÉQUIPEMENT



Jérôme et Guillaume Brizard ont remplacé leur automotrice de 20 m³ par une mélangeuse BVL VMix de 36 m³ équipée, en option, d'une turbine de paillage montée à l'avant. Une très grande part des 150 ha de paille est récoltée à l'autochargeuse et stockée dans 2500 m³ de hangar.

NOUS SOMMES REPASSÉS À LA REMORQUE MÉLANGEUSE

ENTRETIEN. Après quatre années d'expérience avec une automotrice, Jérôme et Guillaume Brizard sont repassés à une remorque mélangeuse. Explications.

« Chez nous, c'est la productivité du travail à fond » affirment tout de go Jérôme et Guillaume Brizard quand ils s'expriment sur leurs objectifs. Les deux frères se sont associés pour reprendre la ferme familiale à Eancé, dans le Sud-Est de l'Ille-et-Vilaine. Aidé d'un salarié, ils exploitent 250 hectares dont 180 hectares de cultures d'export (blé, orge, colza et soja), élèvent 180 vaches de race Prim'Holstein dont les veaux mâles sont engraisés sur place en taurillons. « Bien que nous ayons beaucoup de travail, nous ne voulons pas que notre métier prenne le pas sur notre vie privée » commente Guillaume Brizard, le plus jeune des deux associés. Par exemple, tout en étant en traite robotisée, leurs portables sont éteints la nuit pour ne pas être dérangés par les alarmes ! « Il faut que notre métier reste un plaisir, que l'on est envie de venir travailler le matin » appuie l'aîné des deux frères, « alors nous faisons tout pour avoir le minimum d'embêtement ».

18 tonnes de ration

Le salarié ne travaille aucun week-end. Ce sont donc les deux asso-

ciés qui assurent l'astreinte. Ils travaillent tous les deux le samedi à temps "réduit", de 7 heures 30 du matin à 13 heures puis deux petites heures l'après-midi. Le dimanche, un seul d'entre eux vient alimenter les vaches et les taurillons et surveiller les bovins. « Les vendredis et les lundis sont de grosses journées de travail : nous préparons 18 tonnes de rations et épandons 6 tonnes de paille dans les cases des génisses et des taurillons » décrit Jérôme Brizard.

De 2017 à 2021, les deux associés ont utilisé une mélangeuse automotrice de 20 m³ pour la préparation et la distribution des rations et une pailleuse portée pour l'entretien des aires paillées des génisses et des taurillons. Les logettes des vaches sont, quant à elles, paillées quotidiennement avec une balayeuse équipée d'un distributeur de paille. « Le paillage nous prenait deux heures tous les deux jours et nous préparions jusqu'à huit mélanges par jour » se remémore Guillaume Brizard. Au début de l'année 2022, l'automotrice affichait 3000 heures de travail au compteur. Pour les éleveurs, c'était le moment de la renouveler. Ils ont réfléchi pendant

six mois à la meilleure façon de la remplacer, en comparant deux solutions : reprendre une automotrice ou revenir à un bol mélangeur équipé d'une turbine de paillage pour remplacer, du même coup, la pailleuse. Ils étaient satisfaits de la qualité du travail de leur automotrice mais pour eux « elle demandait trop d'entretien ». Ils expliquent que « ce n'était pas liée à la marque mais au fait que ce type de machine utilise beaucoup de moteurs hydrauliques pour fonctionner, d'où des fuites trop fréquentes à leur goût ». « Le coût de l'ordre de 250 000 € (ndlr : moins les reprises) pour renouveler l'automotrice et la pailleuse nous incitait à bien prendre le temps de la réflexion » ajoutent-ils.

Automotrice ou bol mélangeur ?

« Quand nous pesions le pour et le contre des deux solutions, l'avantage tournait souvent en faveur de la remorque mélangeuse » se souviennent les deux éleveurs qui citent, en tout premier, le prix d'achat deux fois moins élevé (de l'ordre de 80 à 100 000 €). « En plus,



la perte de valeur sur le marché de l'occasion d'une remorque mélangeuse est moins importante, en particulier pour les grandes capacités, car il existe une demande pour ce type de machine» pointe Jérôme Brizard. Pour faire fonctionner la remorque, il faut ajouter le coût d'un tracteur ainsi que des heures du télescopique qui la charge. Les éleveurs avaient prévu de renouveler rapidement l'un des tracteurs de l'élevage de 100 cv datant de 2006 avec 900 heures de travail (évalué à 35 000 €). «Au lieu de le faire reprendre, nous pouvions le garder pour l'atteler sur la remorque» commente Jérôme Brizard. Son frère note également qu'il était inutile d'investir dans un télescopique car «nous en avons déjà deux qui font peu d'heures. Nous pouvions leur faire faire 500 à 600 heures de plus par an (ndlr: pour un coût de 13000 €^[1])». C'est également sur le temps de travail que les deux éleveurs envisageaient une véritable différence comme le raconte Guillaume Brizard. «Avec un bol de grande capacité, nous avions besoin de moins de mélanges au quotidien et on pouvait également espérer passer moins de temps à pailler». Le coût de l'entretien leur paraissait aussi en faveur de la remorque «car elle utilise moins de moteurs hydrauliques». Quant à la consommation de GNR (250 litres par semaine avec l'automotrice), la différence ne leur semblait pas importante entre les deux solutions^[2]. Au niveau technique, les éleveurs estimaient ne pas être suffisamment précis avec l'automotrice sur les quantités distribuées aux petits lots d'animaux comme les génisses.

«Pendant le désilage, c'est difficile de se concentrer à la fois sur les pesées et sur les manœuvres» éclaire l'aîné des deux frères. «Alors que sur nos télescopiques, nous avons la pesée sur le godet ainsi qu'un retour des pesées de la remorque mélangeuse. C'est donc plus facile d'être précis sur les quantités chargées».

Pas de bourrage au paillage

Plus polyvalente, plus productive, moins onéreuse à l'achat et à l'usage: la remorque mélangeuse avec une turbine de paillage remportait donc le duel. Encore fallait-il trouver le bon modèle! Ce sont les capacités de paillage qui ont guidé leur choix avec un critère simple: pas de bourrage! Seulement deux machines ont répondu à leurs exigences lors des tests en conditions réelles dans leur élevage. C'est le rapport prix / équipements qui leur a permis de les départager en faveur d'une mélangeuse BVL VMix de 36 m³ avec trois vis verticales de mélange. Elle est équipée, en option, d'une turbine de paillage montée à l'avant (appelée souffleur à paille par le constructeur) avec un piège à pierres intégré. Cette dernière peut également être installée à l'arrière de la machine, au choix. Selon le constructeur, la distance de projection peut dépasser les 30 mètres et le débit atteint 320 kg de paille par minute. Jérôme et Guillaume Brizard ont apprécié que, pour un prix équivalent à celui de la machine concurrente, elle soit équipée de série d'un load sensing qui permet de commander la pompe hydraulique du tracteur ainsi que de buses pour introduire dix pour cent d'eau dans la paille au moment du chargement et éviter, ainsi, de projeter trop de poussière sur les animaux lors du paillage.

Gain de 6 h par jour

«Après un an d'utilisation, nous pouvons affirmer que nous avons fait le bon choix» se réjouissent les deux éleveurs qui calculent qu'ils ont gagné, en moyenne, six heures de travail par jour! Ce gain de temps est dû à l'augmentation du volume de chargement de 20 m³ à 36 m³ entre les deux machines.

Si bien que les éleveurs ne préparent plus, au maximum, que cinq mélanges par jour au lieu de huit précédemment. Quand la fermentation des fourrages est stabilisée, le nombre de mélanges descend à deux la plupart du temps car, les génisses, les tarées et les vaches en préparation au vêlage sont soignées tous les trois à quatre jours au lieu de tous les jours et demi auparavant. Le gain de temps au paillage est moins spectaculaire: les six tonnes de paille sont épandues en une heure et demi, soit un gain de trente minutes tous les deux jours. L'organisation du travail est maintenant différente. C'est le même associé qui distribue les rations et qui paille alors qu'auparavant, l'un conduisait l'automotrice pendant que l'autre manœuvrait la pailleuse. En point de vigilance, Jérôme Brizard attire l'attention sur le fait qu'il faut être un chauffeur averti pour manœuvrer dans les bâtiments car l'ensemble tracteur plus remorque mesure quinze mètres de longueur.

[1] En prenant le coût horaire de 23 €/heure de télescopique - Source: Entraid, juin 2023.

[2] L'avenir leur a donné raison car il mesure aujourd'hui une consommation hebdomadaire de 160 litres de GNR pour leur John Deere 6320 devant la mélangeuse auquel il faut ajouter la consommation de la part du télescopique dédiée à charger la remorque.

Fiche descriptive

Earl des Mésanges, Eancé (Ille-et-Vilaine, 35)

- 2 associés, Jérôme et Guillaume Brizard, et 1 salarié.
- Ferme de polyculture-élevage.
- 250 ha de SAU (dont 70 ha de SFP). Achat de 20 ha de maïs.
- 180 vaches laitières de race Prim'Holstein pour produire 1,5 million de litres de lait conventionnel.
- 31 kg de lait / VL/j à 42 g / l de TB et 33,5 g / l de TP.
- 1A par l'éleveur (1,5 paillette / 1A fécondante).
- Traite robotisée.
- Tous les mâles sont engraisés en taurillons (80 taurillons sortis / an).

Document n° 4: Présentation de l'automotrice SPW POWER

Source Kuhn

Mélangeuses automotrices à 2 vis verticales

SPW POWER (PHASE 5)



www.kuhn.com



La gamme SPW Power complète les modèles actuels de mélangeuses automotrices à 2 vis verticales SPW Intense destinés aux usages très intensifs et disponibles jusqu'à 40 km/h.

La conception du SPW Power reprend de son côté les avantages des modèles SPV avec la compacité associée à la maniabilité.

La cuve de mélange à 2 vis verticales, qui offre des capacités de 18 à 22 m³, est logée entre les 2 essieux. Cette nouvelle gamme permet d'accéder à 22 m³ de capacité utile et ce, à moins de 3 m de hauteur hors tout !

Sa cabine VISIOSPACE, sa connectivité KUHN CONNECT et enfin ses 4 roues directrices de série (selon pays - voir tarif) vous offriront un confort d'utilisation hors norme.



«Passe partout» aux dimensions hors normes

- Le nouveau SPW Power répond à une demande plus grande d'embarquer un maximum de rations, tout en restant une machine «passe-partout» ! Ce modèle a été développé spécifiquement pour offrir en achat individuel une machine adaptée aux besoins des éleveurs désireux de gagner du temps en minimisant le nombre de distributions.
- Les capacités de cuve de 18 à 22 m³ sont toutes à moins de 3 m de hauteur !
- Le SPW Power a de série les 4 roues directrices et, avec un essieu arrière à voie étroite, son rayon de braquage n'est que de 7,50 m.
- Le bloc moteur est positionné entre la cuve et la cabine pour donner un report de charge optimal à l'essieu avant motorisé. Il développe 167 ch en 4 cylindres pour un bon compromis «puissance/consommation diesel». Le moteur Phase 5 est à régime variable et s'adapte à la demande de puissance.
- La cabine VISIOSPACE de grand confort abrite le nouveau terminal de conduite CCI 800. La gestion de l'avancement et les fonctions de chargement/distribution sont toujours opérées avec le joystick multifonctions.



Désilage et chargement

- Le fraise de chargement développe une puissance de 120 ch, permettant de charger tous types de fourrages, avec en complément, une fonction de surpuissance.
- La descente de fraise bénéficie toujours de la régulation électronique pour adapter son débit en fonction de la densité du fourrage.
- Le convoyeur large de 650 mm est suspendu hydrauliquement et, en complément, il règle sa descente à l'approche du sol pour empêcher les chocs et préserver les bétuns.
- Le tapis de chargement est en caoutchouc avec une tension automatique pour le relâcher au repos et augmenter ainsi sa durée de vie. Le chargement est simplifié par une prise en main rapide et une utilisation facilitée.



Mélange et distribution

- Le SPW Power est disponible de 18 à 22 m³, et ses hauteurs hors-tout oscillent de 2,65 à 2,95 m.
- Le mélange est assuré par 2 vis verticales pour une recoupe rapide des produits fibreux, tout en réalisant un mélange aéré avec les rations humides ou semi-humides à base d'ensilage.
- Les vis de mélange sont entraînées hydro-mécaniquement : le moteur hydraulique assure une grande souplesse d'entraînement, tandis qu'un arbre de transmission (sans entretien) entre les 2 vis permet de leur assurer une synchronisation parfaite.
- La distribution est opérée par une large trappe arrière gauche avec tapis sous cuve. Le tapis est escamotable sur balancier pour s'élever à 70 cm du sol. Sa vitesse est variable pour distribuer plus ou moins loin dans un couloir étroit ou dans des auges.
- En complément, une trappe arrière droite est possible ainsi que des tapis inclinables pour les auges les plus hautes.

Caractéristiques techniques

Mélangeuses automotrices SPW Power à 2 vis verticales

		SPW Power 18.2 DL	SPW Power 19.2 DL	SPW Power 21.2 DL	SPW Power 22.2 DL
Volume utile		18 m ³	19 m ³	21 m ³	22 m ³
Dimensions hors tout	Hauteur	2,65 m	2,75 m	2,85 m	2,95 m
	Largeur	2,55 m	2,55 m	2,55 m	2,55 m
	Longueur	10,86 m	10,82 m	10,76 m	10,68 m
Poids à vide		14 900 kg	15 000 kg	15 100 kg	15 200 kg
Puissance moteur		123 kW / 167 ch	123 kW / 167 ch	123 kW / 167 ch	123 kW / 167 ch
Vitesse maximale de déplacement		25 km/h (homologation DREAL et TÜV)			
Puissance de désilage		120 ch	120 ch	120 ch	120 ch
Vitesses maximales de la vis de mélange	Vitesse lente	15 min ⁻¹	15 min ⁻¹	15 min ⁻¹	15 min ⁻¹
	Vitesse rapide	50 min ⁻¹	50 min ⁻¹	50 min ⁻¹	50 min ⁻¹
Pneumatiques avant		495/45 R 22.5	495/45 R 22.5	495/45 R 22.5	495/45 R 22.5
Pneumatiques arrière		445/45 R19.5	445/45 R19.5	445/45 R19.5	445/45 R19.5
Rayon de braquage		7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m

KUHN S.A.

4 Impasse des fabriques - BP 50060 - F-67706 Saverne CEDEX



www.kuhn.com

Les informations transmises dans ce document sont données à titre général et n'ont aucun caractère contractuel. Nos machines sont conformes aux prescriptions en vigueur dans les pays de livraison. Dans les supports de présentation de nos produits, et pour une meilleure illustration des détails, certains dispositifs de protection peuvent ne pas être en position opérationnelle. Durant l'utilisation des machines, ceux-ci doivent impérativement être en place conformément aux prescriptions des notices d'instructions et des CPL (Opérations Préliminaires à la Livraison). Il faut RESPECTER LES REGLES DE CIRCULATION EN VIGUEUR, ainsi que le poids total autorisé en charge (PTAC) du tracteur, sa capacité de levage et la charge maximale autorisée par essieu et sur les pneumatiques. La charge sur L'ESSEU avant du tracteur doit toujours être conforme aux prescriptions EN VIGUEUR (en Europe, au minimum de 20 % de la masse à vide du tracteur). Nous nous réservons le droit de modifier sans préavis nos machines, leurs équipements et leurs accessoires. Les machines, équipements et accessoires décrits dans ce document peuvent être couverts par un ou plusieurs brevets et/ou un modèle déposé(s). Les marques qui y sont citées, peuvent être protégées dans un ou plusieurs pays.

Retrouvez également KUHN sur
www.kuhn.com et



Document n° 5: Principe du LIDAR

D'après : Page Wikipedia sur le LIDAR : https://fr.wikipedia.org/wiki/Lidar#Lidars_télémètres_laser_à_balayage

La télédétection par laser ou LIDAR, acronyme de l'expression en langue anglaise « light detection and ranging » ou « laser imaging detection and ranging » (soit en français « détection et estimation de la distance par la lumière » ou « par laser »), est une technique de mesure à distance fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière renvoyé vers son émetteur.

À la différence du sonar qui utilise des ondes acoustiques et du radar qui emploie des ondes électromagnétiques de plus basse fréquence (ondes radio), le lidar utilise des ondes électromagnétiques proches de la lumière visible (du spectre visible, infrarouge ou ultraviolet). La lumière utilisée par le lidar est presque toujours issue d'un laser, ce qui permet d'avoir une source lumineuse directionnelle, monochromatique, polarisée, de haute amplitude et cohérente.

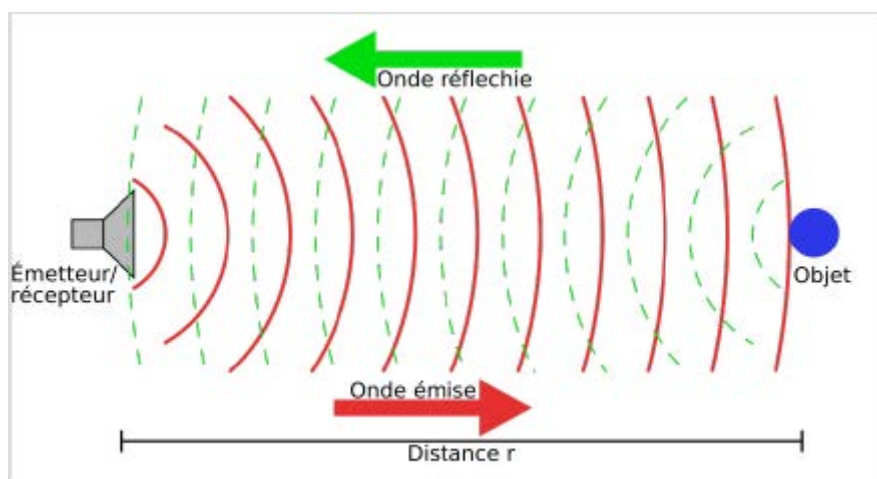
Le principe de la télémétrie (détermination de la distance d'un objet), qui concerne une grande partie des applications du lidar, requiert généralement l'utilisation d'un laser impulsif. La distance est donnée par la mesure du délai (aussi appelé « temps de vol ») entre l'émission d'une impulsion et la détection d'une impulsion réfléchie, connaissant la vitesse de la lumière. Quand la source laser est entretenue et modulée en fréquence, on parle de lidar FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave).

Une autre classe d'applications permet de déterminer la vitesse de l'objet visé en employant un laser à spectre d'émission fin (une fréquence bien déterminée) et en mesurant l'effet Doppler-Fizeau, c'est-à-dire le décalage de la fréquence de l'onde réfléchie et reçue.

Beaucoup d'autres paramètres (concentrations de gaz et de particules spécifiques, densité, température, etc.) peuvent être mesurés dans l'atmosphère et les autres milieux diffus si l'on sait isoler l'effet des différentes interactions entre la lumière et la matière le long du faisceau laser.

Le lidar, instrument de télédétection active, trouve des applications en topographie (géomorphologie, altimétrie et bathymétrie), géosciences (risque sismique, météorologie, physique de l'atmosphère) et sciences de l'environnement (étude de la pollution atmosphérique, agronomie & sylviculture), mais aussi dans l'archéologie, la prospection éolienne, la régulation du trafic aérien, le guidage automatique de véhicules terrestres ou spatiaux, ou encore la sécurité routière ou l'industrie militaire.

De manière générale, le fonctionnement du lidar ressemble à celui du radar (basé sur l'écholocalisation), la différence étant le domaine spectral des ondes électromagnétiques employées. Alors que le radar fonctionne dans le domaine des micro-ondes (fréquences de 1 à 100 GHz, longueurs d'onde millimétriques et centimétriques), le lidar est fondé sur des lasers rayonnant dans le domaine infrarouge, le domaine visible ou le domaine ultraviolet proche (fréquences au-delà de 10 THz, longueurs d'onde de 250 nm à 10 μ m). Dans les deux cas, l'onde électromagnétique émise est cohérente et polarisée. Mais dans le domaine spectral visible, elle est beaucoup plus directive et elle peut interagir avec des objets de taille microscopique.



Principe de l'écholocalisation.

Un lidar est un système opto-électronique composé d'un émetteur laser, d'un récepteur comprenant un collecteur de lumière (téléscope ou autre optique) et un photodétecteur qui transforme la lumière en signal électrique, ainsi que d'une chaîne électronique de traitement du signal qui extrait l'information recherchée.

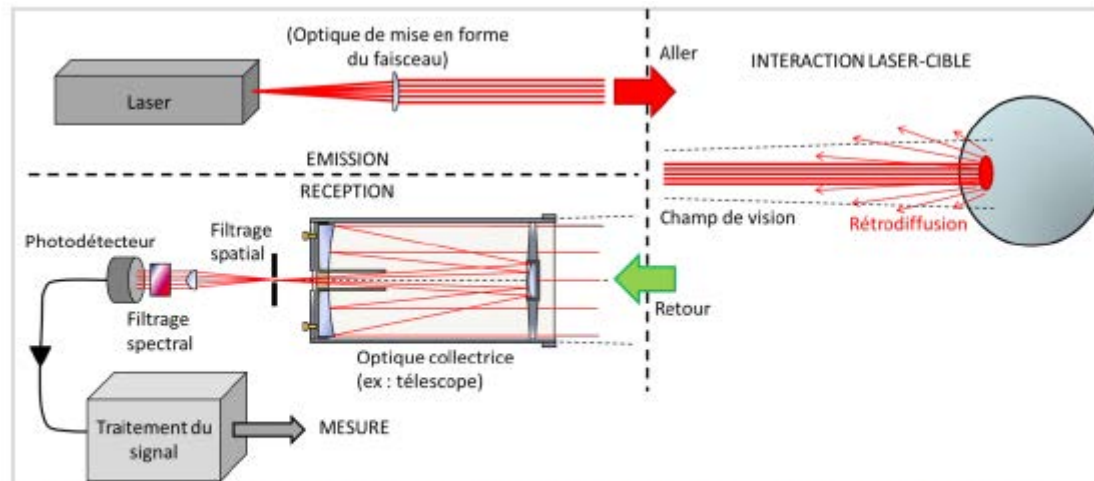


Schéma général d'un système lidar et du principe de la mesure. Noter que l'émission et la réception peuvent utiliser la même optique.

Le type de lidar le plus simple et le plus répandu demeure le télémètre laser qui calcule directement la distance d'un objet réfléchissant les impulsions laser émises, à partir de la différence de temps entre l'émission d'une impulsion et la réception de l'écho le plus important ($t_{echo,max}$) avec la vitesse de la lumière (environ 299 800 km s⁻¹).

$$z = \frac{c}{2}(t_{echo,max} - t_0)$$

La précision de cette mesure est inversement proportionnelle à la durée de l'impulsion et augmente avec l'énergie que l'on est parvenu à récupérer sur le photodétecteur du lidar.

Parmi les très nombreuses applications de ces lidars, on peut citer :

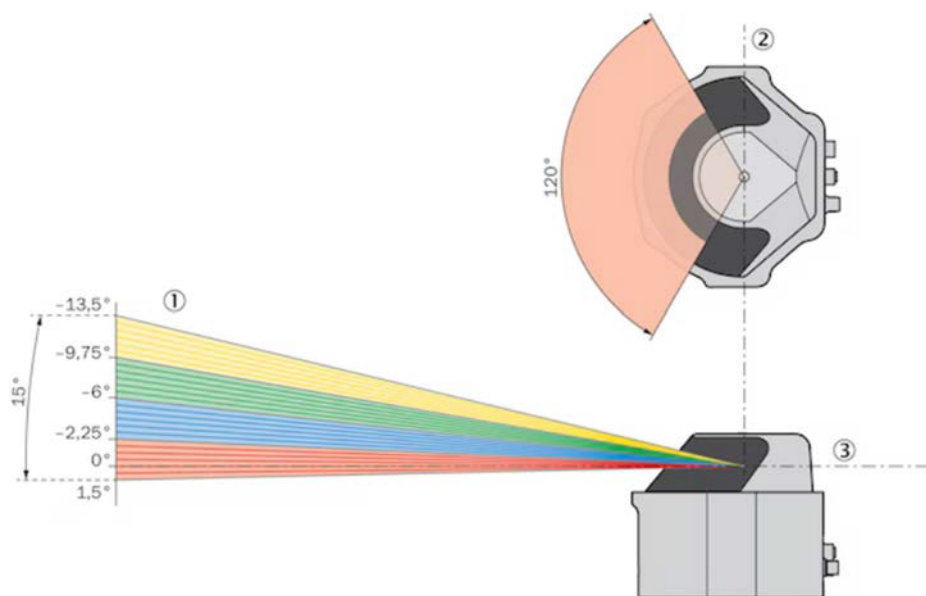
- la reconstitution en 3D d'environnements pour l'architecture, l'urbanisme , ou l'exploration spéléologique ,
- la télémétrie en temps réel pour le guidage automatique de véhicules terrestres (voiture autonome et systèmes d'aide à la conduite) ou spatiaux (rendez-vous orbital, exemple : ATV-5 Georges Lemaître),
- le contrôle de vitesse portatif pour la sécurité routière (jumelles dites à « radar laser ») par télémétrie différentielle : on mesure la variation de la distance de la cible en fonction du temps. depuis un avion ou depuis l'orbite,
- la topographie à haute précision de la Terre (lidar GLAS des satellites ICESat) ou des corps rocheux du système solaire (altimètre MOLA de la sonde martienne Mars Global Surveyor) pour obtenir un modèle numérique de terrain. En archéologie et géomorphologie cette technique aide à détecter des sites enfouis sous la végétation ou l'eau ou bouleversés par la guerre. En février 2018, une équipe découvre une cité maya de plus de 2 000 km² au Guatemala . En foresterie, elle sert à mesurer la hauteur de la canopée ou de la couronne des arbres, ce qui permet d'établir des bilans de couverture végétale, de biomasse ou de risque incendie à de très grandes échelles.

Document n° 6: Caractéristiques techniques d'un modèle de LIDAR

Source : Site Internet de l'entreprise Sick (fabricant de capteurs). Page présentant les caractéristiques techniques d'un modèle MRS6224R-131001 de LIDAR :

<https://www.sick.com/fr/fr/catalog/produits/capteurs-lidar-et-radar/capteurs-lidar/mrs6000/mrs6224r-131001/p/p672128?tab=detail>

Tâche	Mesurer - Dimensions, contours et volume Mesurer - Niveau Mesurer - Nombre Protéger les objets - Bâtiments et biens immobiliers Protéger les objets - Infrastructure Déterminer la position - Détermination de position 3D
Domaine d'application	Outdoor
Source lumineuse	Lumière infrarouge (870 nm)
Angle d'ouverture	Horizontal 120° Vertical(e) 15°
Classe laser	1 (IEC 60825-1:2014)
Fréquence de balayage	10 Hz
Résolution angulaire	0,13°, horizontal 0,625°, vertical(e)
Zone de fonctionnement	0,5 m ... 200 m
Portée :	
+ Avec un coefficient de réflexion diffuse de 10 %	30 m, x 1,4 (typique) en mode : plage de mesure étendue
+ Avec un coefficient de réflexion diffuse de 90 %	75 m, x 1,4 (typique) en mode : plage de mesure étendue
Nombre d'échos évalués	4



Document n° 7: Domaine d'application de capteurs

Source : Site Internet de l'entreprise Sick (fabricant de capteurs). Page présentant les différences LiDAR et capteur ultrasons :

<https://www.sick.com/fr/fr/lidar-radar-ou-capteurs-a-ultrasons-quelle-technologie-utiliser-w/comparatif-ultrasons-lidar-radar/>

LiDAR, RaDAR ou capteurs à ultrasons : quelle technologie utiliser ?

Vous vous êtes sans doute déjà posé la question « Que choisir entre LiDAR, RaDAR et Ultrasons ? » ou « Quelle est la meilleure technologie de mesure de distance pour mon application ? ». C'est bien légitime car des similitudes existent. Ces 3 procédés font référence à des techniques de mesure de distance mais chacun répond à un besoin ou plutôt à un domaine d'application différent.

Notre comparatif de fonctionnement pour vous aider à faire votre choix

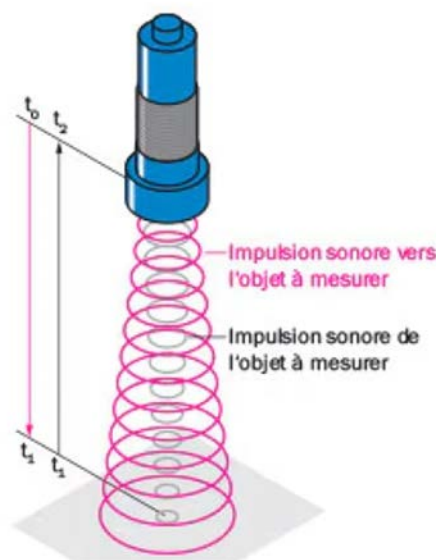
Pour savoir laquelle de ces technologies répondra le plus à vos besoins, il faut d'abord se poser quelques questions telles que : Que souhaitez-vous mesurer ? Quelle en est la matière ? Quelle en est la couleur ? Dans quelles conditions environnementales se trouve mon application ? Quelle distance entre l'émetteur et la cible ? Ces questions vont permettre de déterminer quelle méthode sera la plus adéquate et ainsi donner les résultats les plus pertinents.

La mesure par ultrasons

Tout d'abord, quel est le fonctionnement de la mesure par ultrasons ? Cette technologie temps de vol est basée sur les ondes sonores, du domaine des ultrasons non audibles. Ces ondes se propagent uniquement sous forme d'ondes longitudinales et ne peuvent être polarisées.

On utilisera plutôt cette technique pour des applications dont la précision n'est pas prioritaire et de préférence pour la mesure de matériaux durs car ils reflètent presque toute l'énergie sonore.

Les ultrasons n'étant pas basés sur la lumière, ils sont insensibles aux couleurs, à la brillance ou à la transparence.



Les ultrasons seront recommandés pour la mesure de surfaces rugueuses et produits en vrac, dans des liquides et mousses durs et dans un environnement pouvant être optiquement difficile, comme par temps de brouillard, pluie, avec de la poussière ou de l'humidité.

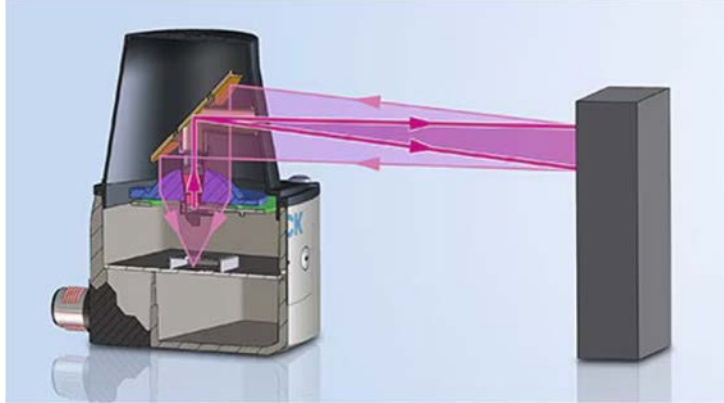
Nous conseillons donc l'utilisation de la mesure par ultrasons pour une surveillance du volume, pour des distances assez courtes car les ondes sonores ne vont pas à plus de 8 m, pour des petites dimensions de capteur ainsi que pour sa robustesse extérieure et sa fiabilité.

Il est déconseillé d'utiliser cette méthode pour la mesure de mousse liquide ou souple, textiles, tapis, laine de coton ou de poudre.

La mesure par LiDAR

Commençons par sa définition et son fonctionnement : LiDAR est l'acronyme de Light (ou Laser Imaging) Detection And Ranging, ce qui signifie la détection et l'estimation de la distance par la lumière. Il s'agit d'une technologie temps de vol basée sur l'analyse des propriétés d'un laser (infrarouge) renvoyé par la cible vers son émetteur.

En faisant tourner l'impulsion laser avec un miroir rotatif, le capteur est capable d'évaluer une zone en 2D. En scannant plusieurs plans de numérisation, il est possible de déterminer des volumes en 3D.



Cette technique LiDAR est parfaite lorsque l'on souhaite une indication de position précise.

Elle permet de mesurer facilement les objets solides, même derrière le verre grâce à sa technologie multi-échos.

Elle est idéale pour les petits objets et à une distance allant jusqu'à 200 m. La technologie Lidar 2D ou 3D permet également la surveillance de contour car le champ de vision du LiDAR est beaucoup plus large que les deux autres techniques.

Nous recommanderons l'utilisation de la technologie LiDAR 2D ou 3D lorsqu'une indication de position précise ou une classification d'objet sera requise, ou bien lorsqu'une grande zone de numération sera impérative (Champs de vue horizontal jusqu'à 360°, Champs de vue vertical jusqu'à 15°).

Par contre, il est vivement déconseillé d'utiliser cette méthode sur de l'eau, ou dans un environnement difficile (fortes chutes de neige, pluie, brouillard, poussière...).

La mesure par RaDAR

Le fonctionnement du RaDAR est proche de la technologie par ultrasons. Le RaDAR (acronyme de RAdio Detection And Ranging) utilise des ondes électromagnétiques émises verticalement et horizontalement qui se propagent dans tous les milieux, même dans le vide. La vitesse de propagation dans l'atmosphère est proche de la vitesse de la lumière dans le vide mais varie selon la densité de l'air, selon son contenu en eau, sa température et sa pression.

Le RaDAR permet de calculer la distance, le mouvement et l'angle.

Les ondes et l'écho ne sont pas coordonnées, des réflexions croisées se produisent, par conséquent, le RaDAR va devoir mesurer à plusieurs reprises. Les données vont être comparées et vérifiées, et si les résultats sont identiques alors l'objet sera reconnu. C'est ce que l'on appelle le suivi (ou tracking).

Afin de déterminer les objets, il faut pouvoir évaluer les échos grâce à des algorithmes et il est indispensable d'avoir au moins 2 antennes de réception pour calculer l'angle.

La technologie RaDAR sera préconisée pour la détection d'objet volumineux car il y aura une plus grande surface de réflexion (RCS) et sera donc plus facile à détecter. L'objet à détecter sera de préférence métallique (le métal étant un réflecteur parfait pour cette technique de mesure).

Le RaDAR est capable de mesurer de grands volumes jusqu'à plusieurs dizaines (voir centaines) de mètres, mêmes dans des conditions météorologiques extrêmes.

Document n° 8: Caractéristiques d'un modèle d'odomètre

D'après les caractéristiques d'un odomètre d'un constructeur (document d'origine en anglais)

TECHNICAL SPECIFICATION

The purpose of this document is to describe the functions, performances, and construction details of a high resolution speed sensor mounted on hydraulic motors and used to measure the speed and direction.

The high level of resolution implies to use magnetic target.

The sensor delivers impulses with a frequency proportional to the motor rotation speed.

RESOLUTION

Resolution depends of the magnetic target diameter.

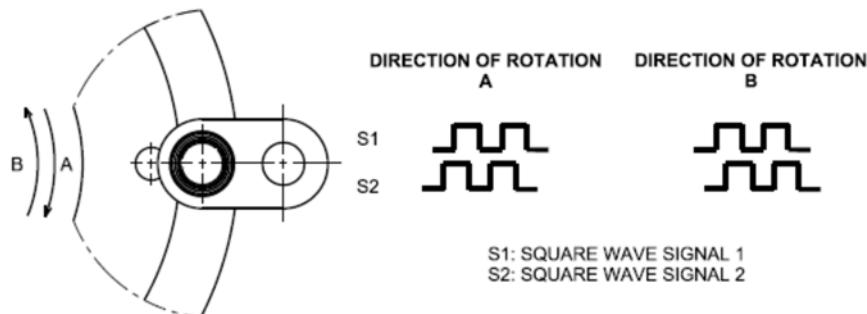
This target is specific for each motor.

Resolution according to motor, in pulses per revolution: P101 motor : 888 ; PB0202 motor : 960.

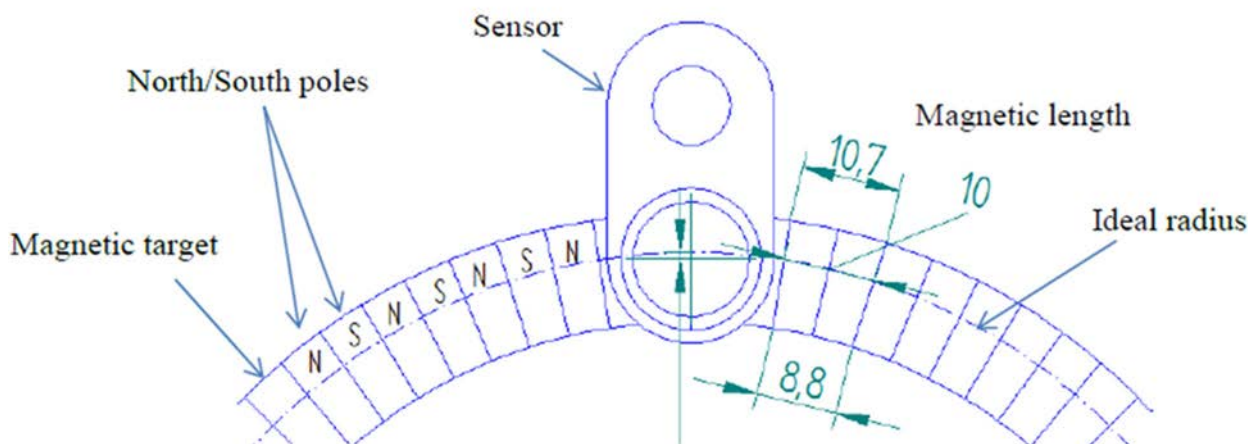
CHARACTERISTICS

Output signal	2 Push-pull square wave signals : - $V_{low} < 0.9V$ - $V_{high} > (V_{supply} - 3.5V)$ - Phase shift : $90^\circ \pm 15^\circ$ - Max load current : 20mA per channel - Outputs protected against short-circuits
Frequency range	0 Hz to 30kHz
Speed measuring accuracy	$\pm 3\%$ typ.

The 2 output signals allow the possibility to determine the direction of the rotation.



To obtain a high resolution speed sensor, the sensor multiplies by 24 the magnetic period of target (North/South poles = 10mm). The sensor is calibrated for this magnetic period length.



Document n° 9: Schéma hydraulique du robot AURA

Se reporter au schéma sur feuille en format A3

Document n° 10: Evaluation du coût annuel de la robotisation de l'alimentation du GAEC des Péjoces

D'après : Coût des opérations culturales des matériels agricoles APCA Chambres d'agriculture France, Entraid' Barême d'entraide FNCUMA, XXLait et Kuhn

		Mélangeuse trainée	Automoteur	AURA
Machine	Prix achat machine	80 000 €	210 000 €	255 000 €
	amortissements	8 000 €	21 000 €	25 500 €
	entretien/réparation	3 200 €	8 000 €	(dont abonnement annuel 11000€) 14 000 €
	coût machine /an	11 200 €	29 000 €	39 500 €

Infrastructures	aménagements silos /cuisine guidage et parcours machine			2 000 €
	aménagements périphériques			50 000 €
	Total infrastructures			52 000 €

Ensemble des investissements	Total investissements	80 000 €	210 000 €	307 000 €
	Total amortissement (linéaire sur la durée d'amortissement des machines (10 ans))	8 000 €	21 000 €	30 700 €

Autres charges annuelles d'alimentation				
	nombre d'heures chargeur/télescopique	800		
	coût/h	30 €		
	coût du GNR (1€/l)	5 €		
	coût télescopique / an	28 000 €		
	nombre d'heures tracteur/automotrice/AURA	1 000	650	3900
	entretien/réparation	3 200 €	8 000 €	14 000 €
	coût du GNR €/h	10 €	15 €	3,5 €
	coût tracteur/automotrice/AURA an	13 200 €	17 750 €	27 650 €

Main d'œuvre (25 €/h)	Heures de MO	1 095	650	98
	Cout de la MO	27 375 €	16 250 €	2 450 €

Coût annuel	coût annuel de l'alimentation	76 575 €	55 000 €	60 800 €
	coût de l'alimentation /1000L	47,86 €	34,38 €	38 €

