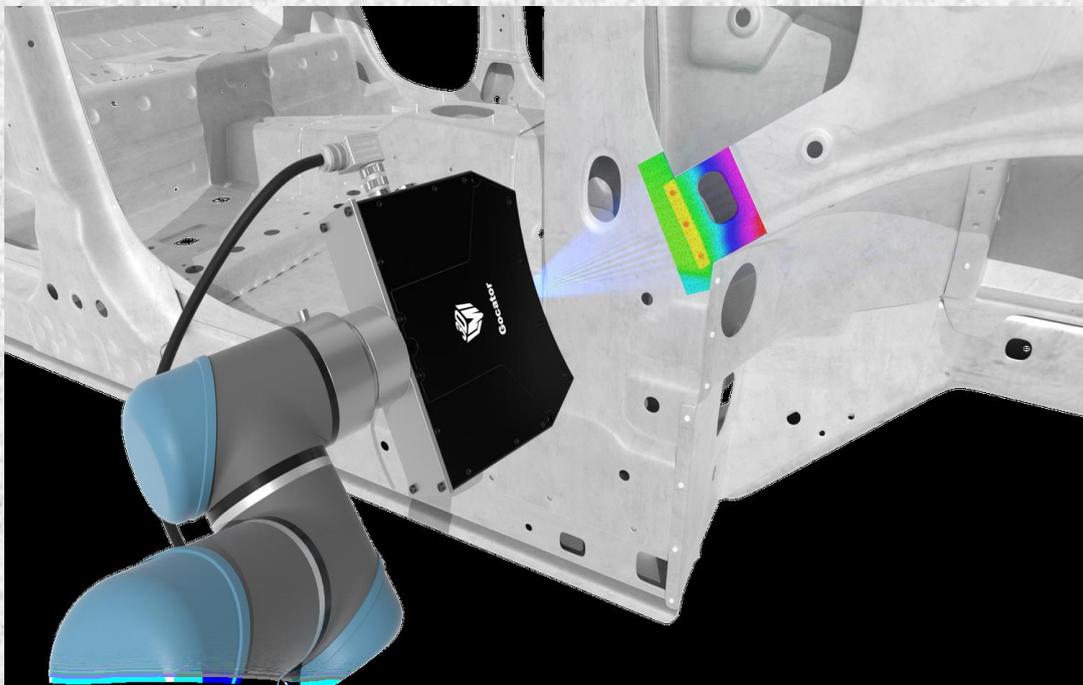


Spécialité
Automatique et Informatique Industrielle

Cours :
IMAGERIE ET VISION INDUSTRIELLE

Chap. 11
Vision Industrielle En Pratique
Etudes de Cas et Exemples d'Application



La Vision Industrielle en Pratique

Contenu du Chapitre

Introduction

Exemples de Cas Pratiques de la Vision Industrielle

1. Contrôle de tôle optimisé grâce à un module de vision industrielle
2. Systèmes intelligents de vision 3D avec connexion directe au robot
3. Contrôle en plein vol : Inspection de la qualité des saucisses par vision industrielle
4. Amélioration de l'assemblage des circuits imprimés pour l'automobile
5. Contrôle d'étiquettes à 350 mètres par minute
6. Un emballage parfait pour les produits laitiers, grâce à la vision industrielle
7. Gros rouleaux - zéros défauts!

La Vision Industrielle en Pratique

INTRODUCTION

La vision industrielle peut être définie comme l'application de la vision par ordinateur à des problématiques de production. Son principe est de doter les machines de production de la capacité de voir afin d'automatiser les tâches de contrôle qualité ou de contrôle de processus.

Cette automatisation permet d'augmenter les performances et les cadences de production, de rendre la production plus fiable, d'améliorer la qualité des produits, d'assurer leur traçabilité, et de garantir la sécurité.

Les applications de vision industrielle sont aujourd'hui nombreuses et se sont ouvertes à tous les secteurs de l'industrie. En effet, les progrès techniques tant au niveau des caméras et des systèmes d'éclairage que des systèmes informatiques ont permis un élargissement considérable du champ d'application de la vision industrielle.

L'avantage d'un système de vision industrielle est qu'il est possible, avec un seul dispositif, de réaliser systématiquement, sur tous les produits, plusieurs contrôles différents en continu qui nécessiteraient, sans ce dispositif, des appareillages différents :

- le contrôle de conformité d'assemblage permet de vérifier l'absence ou la présence d'éléments constituant le produit à fabriquer, ainsi que leur positionnement et leur orientation ;
- le contrôle d'aspect est destiné à examiner les états de surface afin de détecter des défauts d'aspect comme des rayures, des griffures, des trous, des taches, des défauts de nuances de couleurs ou de textures...
- le contrôle dimensionnel consiste à mesurer les dimensions d'une pièce comme une longueur, un diamètre, une profondeur, un angle ou une géométrie particulière ;
- le comptage et le tri de pièces peuvent également être effectués par un système de vision industrielle ;
- le pilotage de machines ou de robots est également réalisé grâce aux systèmes de vision. La caméra devient alors l'œil du robot, ce qui permet la détection et la localisation d'une pièce pour la manipuler, l'assembler ou l'aligner. Le suivi d'une trajectoire pour une opération de dépose peut également être ainsi effectué ;
- l'identification est destinée à effectuer une reconnaissance ou une vérification de caractères, ainsi que la lecture des codes à barres, des codes matriciels ou des codes couleur. Cette opération permet de

référencer un produit et d'assurer sa traçabilité et son traitement statistique, ainsi que de suivre la gestion des stocks ou le flux de production ;

- sur site industriel, mais également dans d'autres domaines, la vision permet des opérations de surveillance et de sécurité par du contrôle d'accès (analyse d'empreintes, de visages, de mains, de l'œil, de plaques d'immatriculation) ou du suivi de foules ou de flots de personnes.

Les systèmes de vision industrielle s'implantent donc dans les usines de production, et plus précisément aux étapes critiques qui justifient d'un contrôle :

- à la réception des matières premières et des pièces nécessaires à l'élaboration du produit ;
- en cours de fabrication afin de contrôler la transformation des matières premières et l'assemblage des pièces ou afin de piloter les machines de fabrication ;
- à la fin de la fabrication pour le contrôle du produit fini ;
- à l'emballage.

Différents éléments constituent un système de vision industrielle :

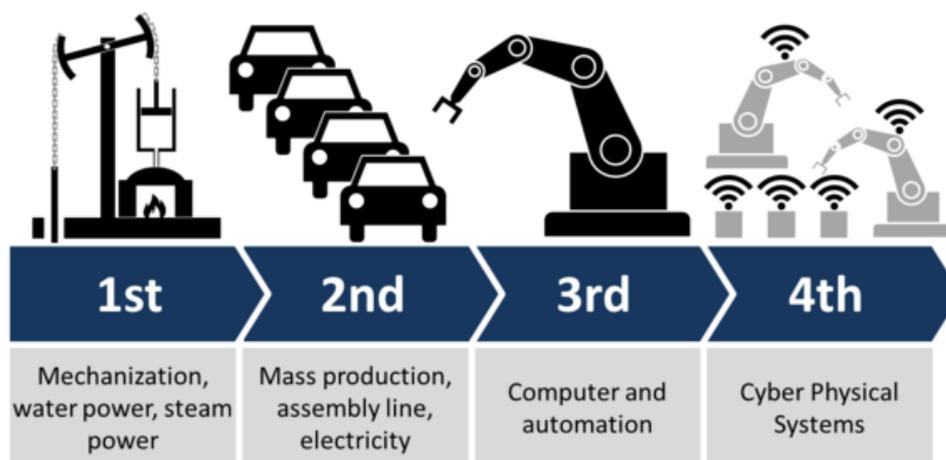
- un dispositif d'éclairage qui définit les caractéristiques de la lumière éclairant l'objet à contrôler. L'éclairage est un élément fondamental de la réussite d'une application de vision industrielle. Il doit être parfaitement maîtrisé afin de mettre en évidence les zones du produit à inspecter ;
- un dispositif de capture d'image constitué d'une caméra équipé d'un capteur sensible à la lumière qui transforme l'énergie lumineuse en un signal électrique. On distingue les caméras analogiques qui délivrent un signal vidéo et nécessitent l'utilisation d'une carte d'acquisition et les caméras numériques qui convertissent le signal analogique donné par le capteur en une image numérique ;
- un dispositif optique constitué d'un objectif qui permet de faire converger la lumière issue de l'objet à contrôler sur le capteur de la caméra ;
- une unité de traitement qui permet de stocker et traiter les images, ainsi que de configurer ou programmer les outils logiciels de vision industrielle. Elle peut être embarquée dans la caméra (caméras intelligentes). Cette unité prend des décisions en fonction des résultats de l'analyse des images afin d'activer des sorties pour alerter l'opérateur ou mettre une pièce au rebut.

Le système de vision est généralement intégré sur une ligne de production et nécessite un système mécanique associé à un automatisme permettant de convoier, détecter et isoler le produit à inspecter. Le système de vision gère également différentes entrées/sorties comme les entrées de déclenchement de l'acquisition (*trigger*, encodeur) ou les sorties de déclenchement de l'éclairage.

La vision industrielle fait donc intervenir plusieurs disciplines telles que la physique, l'optique, l'informatique, la mécanique ou l'électronique et demande des connaissances aussi bien pratiques que théoriques. Le but de ce chapitre est donc d'apporter les bases de cette connaissance et de proposer une méthodologie de conception d'un système de vision industrielle en étudiant chacun des éléments qui le constitue. La vision industrielle est devenue une partie intégrante dans le concept d'industrie 4^{ème} génération, désignée par le nom d'Industrie 4.0.

Le concept d'industrie 4.0 ou industrie du futur correspond à une nouvelle façon d'organiser les moyens de production. Cette nouvelle industrie s'affirme comme la convergence du monde virtuel, de la conception numérique, de la gestion (opérations, finance et marketing) avec les produits et objets du monde réel.

Il s'agit de la quatrième révolution industrielle, après celle de la mécanisation, celle de la production de masse et celle de l'automatisation. Grâce à l'arrivée de la numérisation, l'industrie devient un système global interconnecté dans lequel les machines, les systèmes (ERP) et les produits communiquent en permanence.



Exemple de Cas Pratiques de la Vision Industrielle

Dans la suite de ce chapitre sont exposés plusieurs exemples d'applications réelles de la vision industrielle touchant plusieurs domaines de l'activité industrielle. Ces études de cas sont développées par l'entreprise [STEMMER IMAGING](#), l'un des principaux fournisseurs de technologies de vision industrielle sur le plan international.

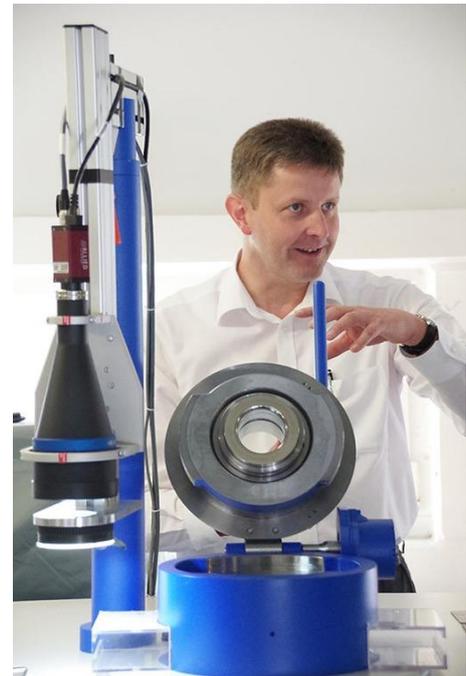
1. Contrôle de tôle optimisé grâce à un module de vision industrielle

La société Erichsen GmbH est mondialement célèbre, notamment grâce à ses machines universelles de contrôle de la tôle par emboutissage et élargissement. Ce test standard permet de contrôler la qualité des tôles de 6 mm d'épaisseur maximum. Les échantillons sont généralement prélevés au début des bobines ou « coils » à travailler. Les machines de contrôle de tôle d'Erichsen sont utilisées dans le monde entier, dans les laminoirs, l'industrie automobile et les laboratoires de recherche.

La société **Erichsen** a conçu un module de traitement d'images qui renforce l'automatisation des processus de contrôle, élimine le «facteur humain» et améliore de surcroît la qualité de la documentation lors des contrôles de routine de la tôle effectués selon la norme ISO 16630.

De bonnes raisons pour contrôler la tôle

- Volonté sans cesse par l'industrie automobile pour **améliorer la sécurité des passagers**.
- Assurer une bonne absorption par les pièces de carrosserie de l'énergie cinétique libérée lors d'une collision.
- Afficher la rigidité appropriée réelle de la tôle formant les profils, (les pare-chocs, les supports latéraux, les bas de caisse, les montants avant, centraux et arrière, les traverses les arches de toit) réalisés en tôle aussi fine que possible, pour des raisons de poids.
- Minimiser les rejets pour défauts de fissure des objets en métal embouti tels que les canettes de boisson, les cartouches, douilles, bacs ou buses présentant des parois uniformément solides.
- Les simples essais de traction visant à déterminer la limite d'élasticité sont insuffisants pour obtenir des données pertinentes.



• Préparation des échantillons et procédure de test

Un test toujours plus important dans le domaine du contrôle de la tôle est la procédure d'expansion de trou selon la norme ISO 16630 suit les préparations suivantes :

- 1- Prélever un échantillon. L'échantillon est prélevé par la même machine qui réalise le contrôle. Au centre d'un échantillon rectangulaire de tôle, on fait un trou de 10 mm de diamètre.
- 2- Elargir le trou par dessous jusqu'à ce que des fissures apparaissent sur la partie interne en utilisant un mandrin conique en acier, entraîné par un système électrohydraulique.



• Application du traitement d'images

D'habitude, l'**observation de l'apparition de fissures** se fait par un **opérateur expérimenté** qui examine la partie supérieure de l'échantillon, stoppe manuellement la machine lorsqu'il détecte une fissure et mesure le diamètre du trou avec un pied à coulisse. Cette procédure fonctionne bien, elle fait en effet l'objet d'une norme ISO reconnue mondialement. Cependant, une autre possibilité basée sur l'automatisation du procédé de contrôle par traitement d'images est fortement recommandée.

Avantages de la solution par **traitement d'images**:

- Le fonctionnement du **système ne dépend plus du personnel en place, de sa forme ou des conditions de visibilité.**
- La procédure de contrôle, aux paramètres prédéfinis avec précision, est optimisée par **une procédure d'observation tout aussi reproductible.**
- les **résultats encore plus fiables**, un **haut niveau de précision et de répétabilité.**
- un processus entièrement numérisé et documenté par des images et des valeurs mesurées.



L'image (gauche) montre le système de vision ainsi conçu : la zone d'observation est dotée de surfaces métalliques éclairées par un éclairage annulaire CCS à rayonnement diffus faiblement réfléchi.



Contrainte au processus :

Le mandrin de contrôle se déplace vers le haut sur une distance maximale de 40 mm. Pour garantir des images exploitables et une mesure exacte du diamètre, le rebord annulaire du trou dans la tôle doit donc être observé sans distorsion sur cette zone relativement large.

Il est impératif d'employer un objectif télécentrique pour obtenir une solution optimale.

La caméra remplace l'opérateur

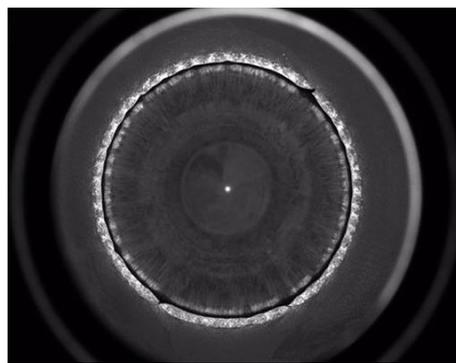
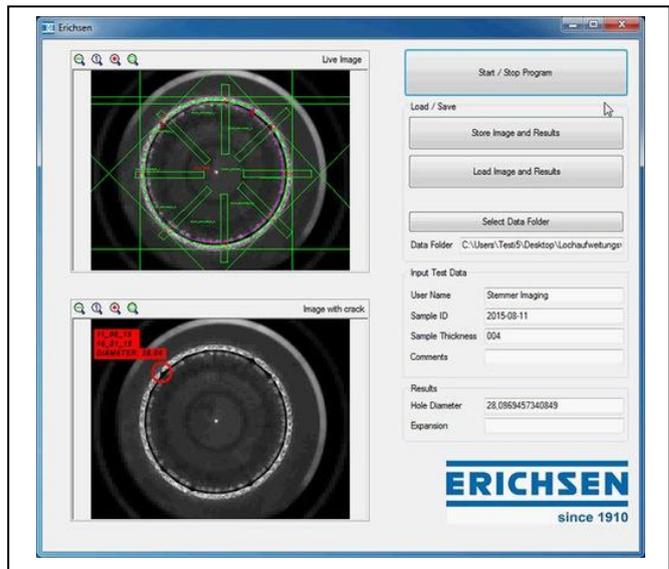
Le modèle utilisé est issu de la gamme Manta, d'Allied Vision : une caméra matricielle monochrome avec interface GigE vision.

Caractéristiques de la caméra :

- **Enregistrer 30 images par seconde**, dépasse légèrement les performances de.
- Une **résolution** d'environ 30 $\mu\text{m}/\text{pixel}$:
- très largement supérieure à l'œil humain et garantit ainsi une **détection fiable des fissures** dès 150 μm .
- dotée de deux E/S librement programmables : elles pilotent l'API intégré à la machine de contrôle : dès que le logiciel de traitement d'images détecte la formation d'une fissure sur le rebord du trou à une vitesse de traction typique de 10 mm/min, un signal est automatiquement envoyé pour stopper la machine.



- Calcul du diamètre intérieur du trou au moyen d'un algorithme de **mesure de cercle**.
- La détection et la mesure sont effectuées à l'aide de divers outils de traitement d'images du logiciel Sherlock, développé par Teledyne Dalsa.
- Le module de vision est monté sur un bras articulé afin de pouvoir accéder facilement à la chambre de contrôle par le haut, tout en garantissant la reproductibilité des positions de mesure.
- Le surcoût du module de traitement d'images équivalait actuellement à environ 15 % du coût de la machine de contrôle de tôle.



Exemple d'Image d'un Défaut

Perspectives

Afin d'améliorer la répétabilité de la procédure de contrôle et la reproductibilité des résultats, Erichsen et STEMMER IMAGING ont développé un système de traitement d'images supplémentaire pour les contrôles de routine de la tôle effectués selon la norme ISO16630 :

- **la reproductibilité d'un test réalisé selon la norme est nettement accrue**
- **les résultats sont plus sûrs et la qualité de la documentation est plus élevée.**
- **Grâce à l'enregistrement numérique des procédures de test sous la forme de données de mesure et de séries d'images, les utilisateurs peuvent exploiter les données et les utiliser pour améliorer la qualité.**
- **dans le domaine du contrôle de la tôle, ces données permettront le développement de concepts d'industrie 4.0 et d'applications sur le cloud.**

2. Systèmes intelligents de vision 3D avec connexion directe au robot

On assiste à une insertion accrue des robots collaboratifs, appelés « cobots », de petite et moyenne taille, dans l'automatisation industrielle. Ils sont principalement utilisés pour des tâches de prélèvement et de mise en place (pick and place) où le robot a besoin d'un système de vision pour visualiser l'environnement de production, localiser des objets, traiter des informations et prendre des décisions de contrôle. Il doit par ailleurs exécuter des mouvements mécaniques précis.

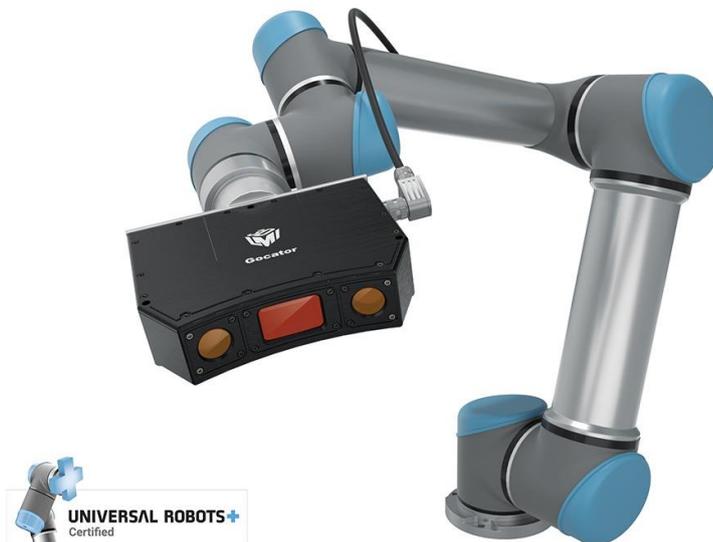
Solution :

- **Utilisation de systèmes de vision 2D ou 3D.**

Contrainte :

- **L'intégration de capteurs intelligents avec des systèmes robotiques est extrêmement exigeante.**

LMI Technologies a développé un plugin qui permet à ses capteurs snapshot 3D Gocator de se connecter directement aux robots Universal Robots (UR). Le capteur snapshot 3D peut être connecté directement au robot via Ethernet en utilisant le plugin Gocator URCap. Le système de coordonnées 3D du Gocator est directement transféré au système de coordonnées du robot, ce qui rend le système robotique commandé par la vision 3D simple et très efficace. Aucun logiciel ou PC supplémentaire n'est nécessaire.



- Intelligent Pick-and-Place avec un robot guidé par vision 3D
Source d'image : LMI Technologies

• Les avantages de la vision 3D

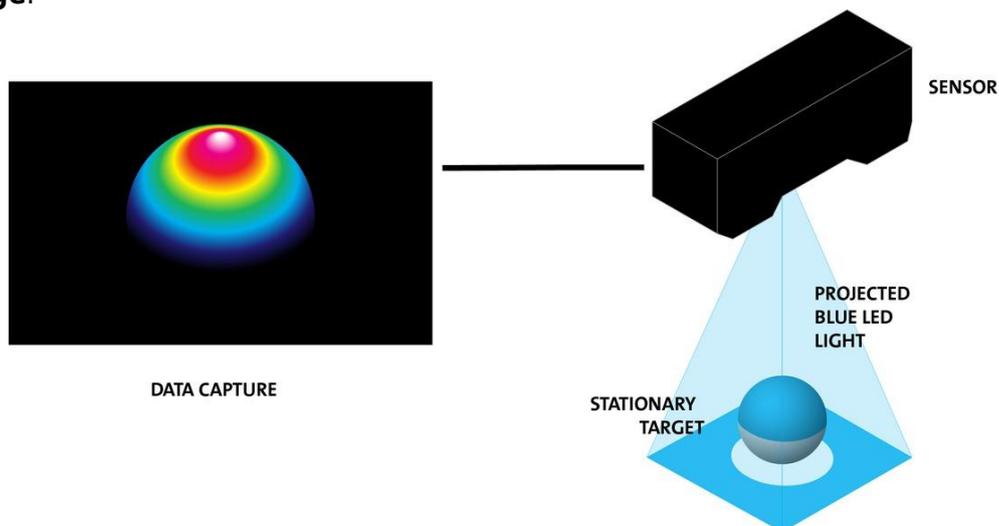
- les systèmes pilotés par la vision 2D sont incapables de localiser des objets situés sur une surface plane par rapport au robot.
- **Les systèmes robotiques 3D permettent d'identifier en trois dimensions les objets positionnés arbitrairement et détecter l'orientation 3D de chaque objet** : une caractéristique clé pour la réussite des applications robotisées de « pick and place ».

Les capteurs snapshot_Gocator utilisent la projection de franges avec un éclairage à LED à lumière bleue structurée combinée à une variété d'outils de mesure 3D intégrés et à une logique de décision.

Chaque caractéristique de l'objet est scannée et vérifiée image par image à des vitesses allant jusqu'à 6 kHz. La LED bleue projette un ou plusieurs motifs lumineux à fort contraste sur l'objet.

Possibilité d'**acquisition de nuages de points 3D en plein champ par les caméras stéréoscopiques avec une excellente immunité à la lumière ambiante, même dans des conditions d'éclairage difficiles.**

L'utilisation commune de ces capteurs snapshot de haute précision avec les systèmes UR permet d'obtenir une solution robotique performante : la garantie de la fiabilité des **données 3D des systèmes de vision guidés par robot dans le secteur du contrôle-qualité et des systèmes intelligents de « pick and place » dans les processus automatisés d'assemblage et de montage.**



• Les applications les plus courantes

Les robots guidés par la vision 3D sont généralement équipés de **bras de préhension à vide ou pneumatiques** qui permettent au robot de saisir un objet sur une variété de surfaces et de le déplacer vers un point cible sans collision indésirable. **Les objets sont placés de manière aléatoire ou systématique sur des convoyeurs en mouvement, dans des conteneurs ou sur des palettes empilés.**



Placer des colis sur des palettes à l'aide d'informations 3D
Image source: LMI Technologies

Les tâches typiques :

- **Prélever et placer les matières premières ou les assemblages sur un système de convoyage tel qu'une bande transporteuse ou une palette.** Le Gocator scanne la pièce d'assemblage, rapporte sa position exacte en fournissant ses coordonnées et la place - de manière aléatoire ou sélective - sur une bande transporteuse ou une palette.
- **Prélèvement aléatoire et positionnement d'objets sur une bande transporteuse.** Le Gocator scanne un objet transporté sur un convoyeur et commande le robot lorsqu'il saisit l'objet et le place dans le conteneur approprié.
- **Positionnement des produits ou des ensembles finaux dans des conteneurs conçus en fonction de leur taille, par exemple.** Le Gocator utilise les informations 3D pour placer les objets dans le conteneur correspondant, avec l'angle de rotation approprié.

Les trois exemples d'application peuvent être résolus facilement et sans programmation supplémentaire à l'aide des outils Gocator tels que « Bounding Box » et « Height Matching » ou « Part Matching ». Le système pré-calibré en usine est immédiatement prêt à l'emploi.

3. Contrôle en plein vol

Inspection de la qualité des saucisses par vision industrielle

Objectif :

- Détecter avec certitude les résidus parfois minuscules (1 mm²) de boyaux synthétiques autour des saucisses et retirer les produits incorrects.

Solution proposée par :

- La société Wolf GmbH utilise une installation construite par BT-Anlagenbau. Ce système fonctionne avec des composants de vision industrielle de STEMMER IMAGING ainsi qu'un logiciel de vision perfectionné et un système de tri très précis de la société BT-Anlagenbau.

Résultat :

- Les saucisses sont inspectées dans les airs.



Les industriels en agro-alimentaires tendent avec insistance de commercialiser des produits sans impuretés en vue de :

- **minimiser les risques sanitaires,**
- **éviter les opérations coûteuses de rappels de produits et la perte d'image de marque qui en découle.**
- **Améliorer l'aspect visuel d'un produit et de son emballage,** un facteur non négligeable pour parvenir à atteindre les chiffres de vente souhaités dans les supermarchés.

Au vu des vitesses de production élevées au sein des installations modernes de fabrication agroalimentaire, un contrôle-qualité manuel n'est quasiment plus possible si on veut obtenir des résultats fiables à 100%. Très souvent, le recours à la vision industrielle constitue une option économique pour assurer le contrôle des denrées alimentaires et de leurs emballages.



Après élimination automatique des boyaux, les saucisses, parfois encore recouvertes de résidus de boyau synthétique, sont acheminées vers l'installation de tri.

Depuis la mi-2018, la société Wolf GmbH a décidé de miser sur cette technologie pour une installation qui assure le contrôle qualité des saucisses.

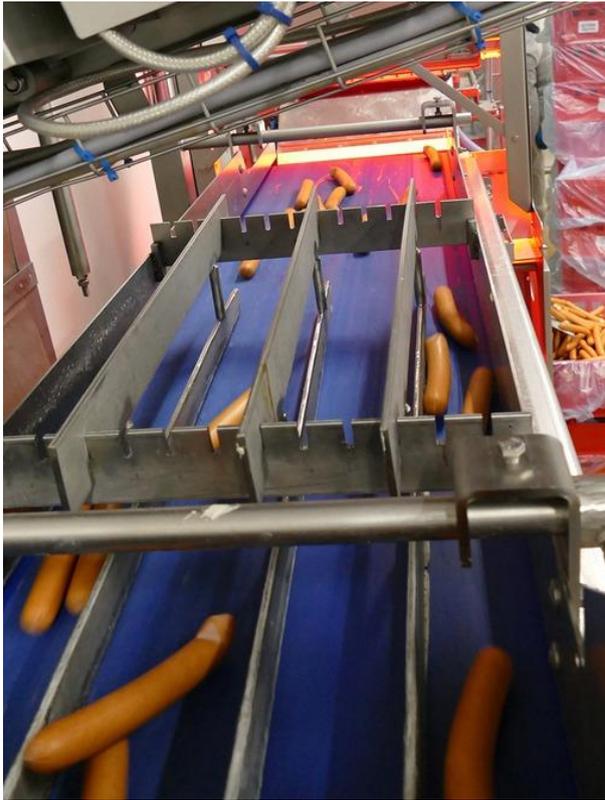
Pour la fabrication des saucisses de base, la chair à saucisse est mise dans un boyau synthétique, puis elle est fumée et cuite. Lors de l'étape suivante, **le boyau synthétique est retiré avec une machine de pelage**, puis le produit est enveloppé dans le bacon fumé. On peut s'imaginer le boyau comme une sorte de moule de cuisson qui doit être retiré avant le traitement ultérieur des saucisses.

De manière générale, ce boyau en cellulose ne présente aucun danger pour la consommation et exclut tout risque pour la santé. **Toutefois, les consommateurs prennent souvent ces résidus de boyaux présents dans les produits pour du plastique ou des impuretés ; c'est la raison pour laquelle on veut retirer du processus les saucisses contenant des résidus de boyaux.**

• Sur le convoyeur ou en volée ?

Après plusieurs études de faisabilité afin d'établir la liste optimale des composants de vision nécessaires, Il s'est alors avéré :

- la solution la plus simple et la plus évidente de faire défiler les saucisses sur un convoyeur, devant une caméra linéaire, et à les scanner est inadaptée : l'ensemble de la saucisse ne peut être inspecté correctement, tout particulièrement la partie inférieure. La détection des résidus de boyaux situés du côté opposé à la caméra ne peut être ainsi garantie avec certitude.
- **La solution proposée par la société BT-Anlagenbau, spécialiste de vision industrielle, grâce à sa technologie de caméra à 360° : Inspecter les saucisses en plein vol à l'aide de deux caméras linéaires installées l'une en face de l'autre. En procédant ainsi, il est possible d'examiner quasiment toute la surface des saucisses et de détecter les défauts les plus divers.**



Des glissières, réglées en fonction de la taille des produits, alignent grossièrement les saucisses dans le sens de la marche du convoyeur.



A une vitesse de 2 m/s, les saucisses défilent en volant devant deux caméras linéaires, une située au-dessus (que l'on peut voir sur cette image) et une autre située en dessous. Les deux caméras sont installées dans des boîtiers de protection de classe IP67.

- **Vitesse de traitement : Jusqu'à 30 saucisses par seconde**

L'installation est équipée de **deux caméras linéaires à niveaux de gris de type Linea de Teledyne Dalsa** avec les accessoires appropriés, tels que des éléments de refroidissement supplémentaires, des **éclairages adaptés à LED rouges de Metaphase**, ainsi que des **objectifs Kowa** munis de filtres polarisants et passe-bande assurant la vitesse et la qualité nécessaires à l'acquisition des images . Pour respecter les standards sévères de l'industrie agroalimentaire et garantir la robustesse requise pour supporter les nettoyages quotidiens, les caméras sont intégrées dans des **boîtiers de protection, de classe de protection IP65 ou supérieure, fournis par la société Allison Park Group (APG)**.



80 valves spéciales très rapides soufflent de l'air stérile pour éjecter au bon moment les saucisses recouvertes de résidus de boyaux sur une largeur de 400 mm. Les autres saucisses sont recueillies avec précaution et acheminées vers la suite du processus de production.

Le système est désormais en service depuis la mi-2018 et a fait pleinement ses preuves.

le déroulement du processus :

Les saucisses débarrassées de leur boyau sont alignées sur la bande transporteuse et dans des glissières flexibles pour être placées dans le sens de la marche et éviter de rouler. La bande peut alors accélérer et atteint une vitesse d'environ 2 mètres par seconde : les saucisses arrivées en bout de convoyeur sont propulsées dans les airs devant les caméras situées au-dessus et en dessous et qui les contrôlent au passage. »

Étant donné la vitesse élevée du processus, le temps nécessaire pour détecter des résidus de boyaux, qui ne font parfois pas plus de 1 mm², et piloter ensuite les valves à air comprimé incorporées qui assurent l'éjection des produits incorrects est très faible. A l'heure actuelle, des saucisses de 90 et 160 mm de longueur sont contrôlées sur l'installation. **En fonction de ces deux tailles, la durée d'acquisition des images s'élève respectivement à 45 et 80 millisecondes par saucisse.** Il reste donc 70 millisecondes pour l'une et 35 millisecondes pour l'autre pour détecter les résidus de boyaux et éjecter au bon moment les saucisses qui ne sont pas parfaites. Les autres saucisses sont recueillies avec précaution et acheminées vers la suite du processus de production.

Un ordinateur industriel haute performance assure la puissance de calcul nécessaire à cette tâche. Il est doté d'un système d'exploitation en temps réel et peut être piloté par le biais d'un écran tactile. Il est possible d'y afficher des images simples et des statistiques par exemple, ou de procéder à des paramétrages du système.

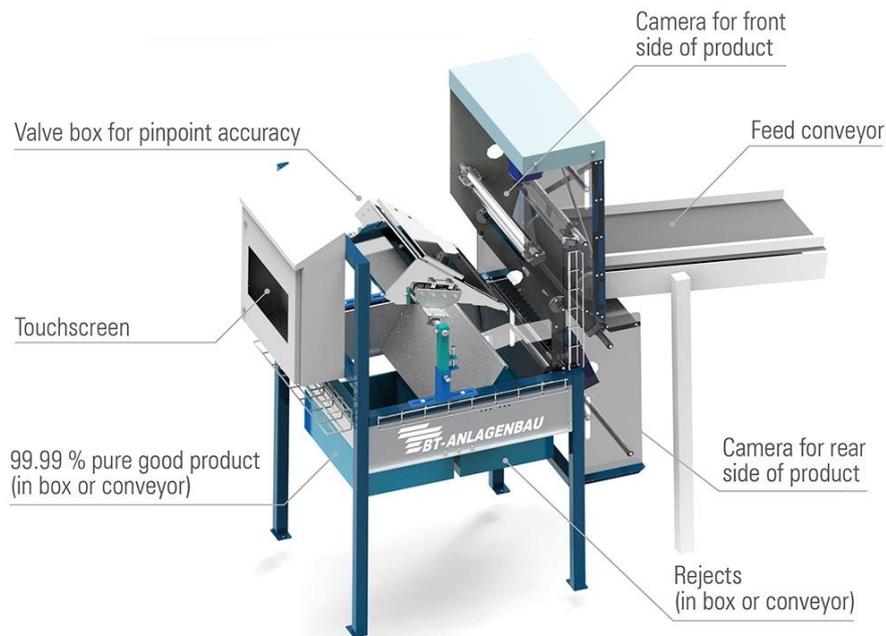
Résultats :

- ✓ *Détection parfaite de tous les résidus de boyaux synthétiques indésirables de plus de 1 mm².*
- ✓ *une pureté des produits finaux pouvant aller jusqu'à 99,999 %, ce qui dépasse de loin les impératifs fixés par le cahier des charges.*

Ceci constitue une solution compacte, bon marché et extrêmement précise qui satisfait pleinement aux exigences voulues.

- **Détails élaborés et défis observés**

- Les exigences sévères et la vitesse élevée des processus de production agroalimentaire.
- prévoir un rideau d'air devant les caméras pour éliminer d'éventuels résidus de saucisses qui pourraient, à force, nuire à la netteté des images.
- **Pour éjecter les produits incorrects, il a été également conçu un système de soufflerie dotée de 80 valves spéciales très rapides permettant de couvrir les 400 mm de largeur de la bande.**
- Les buses sont suspendues de façon à ce que la condensation générée puisse s'écouler sans créer d'impuretés.
- *En raison des directives relatives aux denrées alimentaires, l'air comprimé doit être stérile afin d'éviter toute contamination par ce biais.*



Mais les entreprises impliquées dans le projet ont su venir à bout de tous ces défis avec brio. Depuis lors, la société BT-Anlagenbau propose également ce nouveau système, sous le nom de **Meat Sorter**, à d'autres clients souhaitant résoudre des problèmes analogues. L'entreprise propose également d'autres systèmes apparentés, capables de trier d'autres produits à base de viande, tels que des boulettes, des steaks ou des aliments pour animaux, en fonction de leur forme, de leur taille, de leur poids ou de leur couleur, et d'y détecter des corps étrangers ou des résidus de boyaux synthétiques. En ajoutant une extension hyperspectrale, ces systèmes peuvent également détecter des résidus d'os ou déterminer la teneur en graisse ou en eau des produits, ainsi que leur degré de fraîcheur.

4. Amélioration de l'assemblage des circuits imprimés pour l'automobile

- Actuellement, une nouveauté en vérification manuelle de l'assemblage des circuits imprimés a permis à un fabricant d'améliorer considérablement la qualité de ses cartes utilisées dans les dispositifs audio des voitures. Un système autonome de caméras permet d'assembler correctement près de 50 composants avant que les cartes ne passent à l'étape suivante.

Bien que de nombreux aspects de la fabrication soient automatisés, **un grand nombre de produits continuent d'être assemblés manuellement**. On peut imaginer un système de contrôle-qualité en fin d'assemblage à l'aide d'un système de vision, **mais cela peut compromettre le rendement car tout défaut constaté pourrait entraîner des retouches longues et coûteuses, ou pire encore, la mise au rebut complète du circuit imprimé**.

- Le nouveau système de **caméra autonome de Ricoh**, disponible exclusivement en Europe chez **STEMMER IMAGING**, offre une approche différente. La puissance de la vision industrielle est déployée pendant le processus d'assemblage afin de garantir que chaque action s'effectue correctement et complètement avant que l'opérateur passe à l'étape suivante. Chaque action de l'opérateur est automatiquement vérifiée à l'aide de différentes techniques de traitement d'image.

La caméra Ricoh-SC10

C'est une caméra intelligente pour assister l'homme, dotée d'un capteur couleur CMOS d'1/3 de pouce, un système de reconnaissance d'images et un dispositif de contrôle. L'unité compacte permet d'éviter les erreurs dans les opérations d'assemblage manuel.

Un ensemble d'instructions d'assemblage est tout d'abord enregistré dans le système, puis s'affiche sur un écran pendant que la caméra scanne la pièce. L'utilisation d'un PC n'est pas nécessaire.

L'opérateur de montage suit les instructions à l'écran. Après chaque action, le système compare le résultat obtenu avec l'image correcte qu'il a en mémoire avant d'autoriser le passage à l'action suivante. Si une étape est incomplète ou si une erreur est commise, elle est affichée à l'opérateur pour qu'il puisse la corriger. Si tout semble correct, l'opérateur peut passer à l'instruction suivante.

Chaque étape accomplie est enregistrée dans un fichier CSV, avec l'indication du temps passé à effectuer la tâche et, en option, une image de l'inspection. **Ainsi, la caméra peut être également utilisée pour l'analyse et la traçabilité des tâches d'assemblage**. Le système est capable de reconnaître des chaînes de caractères, de sorte qu'un clavier ou un lecteur de code à barres peut être utilisé pour entrer les numéros de pièce ou de série et les indentifiants de l'utilisateur. Les données collectées peuvent également être utilisées pour la traçabilité. Par exemple, les numéros de série des pièces d'assemblage peuvent être enregistrés. Le système Ricoh SC-10 est disponible avec deux options d'agrandissement et convient ainsi à la plupart des lignes de montage.



Traitement d'image Incorporé

La caméra est équipée d'un logiciel de traitement d'image intégré pour la reconnaissance des formes, la vérification des couleurs ou l'identification de la présence de textures. L'outil de reconnaissance de formes est l'un des outils les plus importants du Ricoh SC-10 et couvre la majorité des applications pour lesquelles il peut être utilisé.

En voici quelques exemples :

- pour s'assurer de l'orientation correcte d'un connecteur lors de l'assemblage.
- pour contrôler que la bonne étiquette ait été apposée sur une pièce.
- pour des applications d'emballage où chaque paquet doit contenir un nombre précis de pièces.

Lorsque la fonction de reconnaissance de motifs est couplée au processus de vérification de séquence, le SC-10 devient un outil très performant pour garantir l'exactitude de l'assemblage.

Par exemple :

- **Le système détecte la présence et reconnaît l'orientation correcte d'une pièce qui peut être masquée lors des étapes ultérieures d'assemblage.**
- **Le système vérifie le montage des vis et l'ordre dans lequel elles ont été serrées afin d'assurer la stabilité de l'assemblage.**

Cet outil de reconnaissance des couleurs est utile pour assembler des pièces qui ont chacune une couleur spécifique, comme par exemple pour monter un boîtier à fusibles. La plupart des fusibles ont une forme et une taille similaire ; ils ne diffèrent que par leur couleur qui désigne leur ampérage.



Amélioration de l'assemblage de circuits imprimés d'autoradio

Le circuit imprimé testé contient un certain nombre de composants différents tels que des relais, des condensateurs et des bobines qui **nécessitent plus de 50 contrôles visuels** pour s'assurer que toutes les pièces soient présentes et correctement placées. **Ce nombre élevé de contrôles est exigeant**

pour un opérateur humain, si bien que des erreurs peuvent souvent être commises, laissant des cartes incomplètes passer à l'étape suivante de la fabrication.

L'introduction du **Ricoh SC-10** apporte une **différence de taille**. La version à fort grossissement a été utilisée pour cette application, facilitant ainsi l'inspection des petits composants. Outre le contrôle du montage correct des composants, il est également possible de vérifier l'état des cavaliers (jumpers) et des commutateurs DIP. **Le système effectue près de 50 contrôles en cinq secondes environ, ce qui renforce sans aucun doute l'efficacité opérationnelle.**

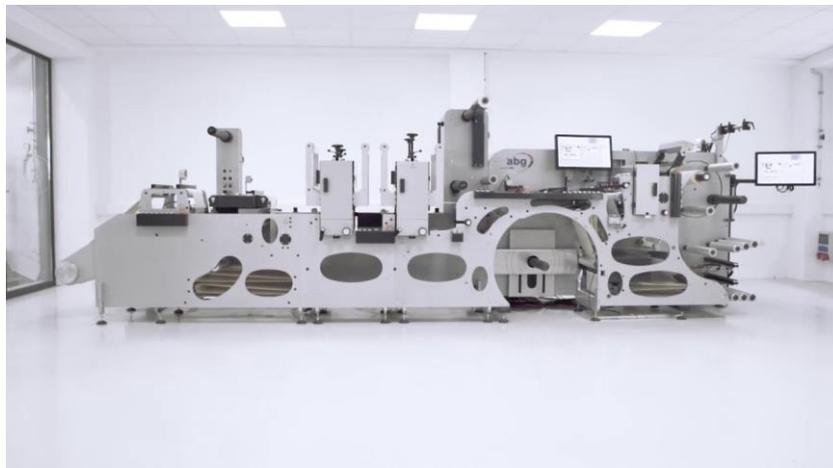
- **Avantages supplémentaires**

S'il permet d'éviter les erreurs de fabrication, **le système peut également aider les opérateurs à apprendre de nouvelles tâches**, puisqu'ils suivent les instructions étape par étape et se rendent compte de leurs erreurs. Les instructions de travail sont configurées en fonction de la tâche à effectuer et sont chargées dans la caméra soit localement depuis une carte SD, soit depuis un réseau via le port Ethernet intégré. **Ce chargement facile des fichiers d'instructions permet de les créer en plusieurs langues et de s'adapter ainsi à une équipe internationale.**

5. Contrôle d'étiquettes à 350 mètres par minute

Description et Objectif

Des étiquettes et autres bandes imprimées défilent à une cadence frôlant les 350 mètres par minute : un contrôle-qualité fiable à une telle vitesse requiert ici une installation ultra-performante. La société AB Graphic fabrique de telles machines et utilise pour ce faire la vision industrielle de STEMMER IMAGING.



Quatre rubans d'étiquettes tournent en parallèle sur l'Omega SRI, une machine de façonnage d'étiquettes.

La tâche principale :

- Découper les rubans pour ensuite les enrouler sur des bobines individuelles.

Ce qui est demandé en plus :

- Apposer des données spécifiques sur les étiquettes préimprimées, comme un numéro de lot par exemple.
- Intégrer des modules de vision industrielle fleyeVision pour le contrôle-qualité des étiquettes.

• L'apport de la vision industrielle



Ces modules de vision industrielle constituent le domaine de prédilection de la filiale allemande d'AB Graphic qui développe et fabrique ces modules, sous le nom de fleyeVision. Les modules sont implantés sur la machine pour leur intégration dans le processus de contrôle de qualité.

Afin de garantir la qualité de chaque étiquette, les modules fleyeVision inspectent différentes caractéristiques :

- **détection des étiquettes manquantes, endommagées ou mal collées**
- **détection des défauts d'impression : les résidus de matrice, d'encre ou autres impuretés.**

Enjeux :

Il est impératif de détecter ces défauts sans marge d'erreurs, car il peut entraîner de lourdes conséquences dans le cas contraire. On peut s'attendre à :

- risque de faire croître le nombre de réclamations ainsi que le mécontentement affiché sous forme de demandes de dommages et intérêts élevés.
- entraîner l'interruption de la production sur une ligne de remplissage par exemple et, du même coup, une hausse vertigineuse des coûts.
- les conséquences d'un mauvais étiquetage dans l'industrie pharmaceutique, peuvent être très graves pour les patients.

Pour exclure de tels risques, AB Graphic propose à ses clients une multitude d'extensions modulaires du système fleyeVision, permettant ainsi la configuration bon marché et sur mesure de systèmes d'inspection conformément à leurs attentes.

Détection sans capteurs



La toute dernière génération d'installations fleyeVision permet de détecter les étiquettes sans utiliser de capteurs, c'est-à-dire sans déclenchement supplémentaire. Cette fonction facilite considérablement l'intégration du système d'inspection et son utilisation par l'opérateur. Elle simplifie et accélère la configuration de nouvelles étiquettes, notamment pour des largeurs de bande plus importantes, rend les réglages mécaniques inutiles et permet au système d'apprendre à reconnaître automatiquement les nouvelles étiquettes en quelques minutes ! » selon Ralf Wirtz, Sales Manager, AB Graphic International GmbH.



L'interface utilisateur fleyeVision permet la configuration automatique extrêmement rapide de nouvelles étiquettes.

Les exigences en matière de vitesse, de résolution et de débit de données sont très élevées dans l'inspection d'étiquettes. Les caméras linéaires permettent de couvrir toutes les variantes proposées en option aux clients.



L'offre de caméras linéaires à disposition est très large, allant d'une résolution 1K ou 2K jusqu'aux modèles monochromes ou couleurs à résolution 8K. **Selon la largeur du matériel à inspecter, des cadences de 350 mètres de ruban à la minute, avec une détection de défauts sur 0,02 mm² sont possibles.** Pour la reconnaissance fiable de codes-barres, il est essentiel que la caméra puisse lire les écarts les plus minimes entre deux barres ou les barres les plus fines. La limite actuelle se situe ici à 0,08 mm, pour une largeur de bande de 210 mm et avec une caméra linéaire 8K.

Le module de vision industrielle comporte également un système d'éclairage linéaire adapté, comme par exemple un éclairage UV pour l'inspection de films transparents, ainsi que des objectifs et des câbles adéquats. La société AB Graphic a développé elle-même le logiciel de commande : celui-ci permet de programmer très rapidement de nouvelles étiquettes, de façon

automatique ou manuelle si nécessaire, et affiche les résultats de l'inspection.

- **Système de miroir et solutions à deux caméras**

Les systèmes de vision industrielle fleyeVision s'intègrent aux installations dans des boîtiers discrets et compacts. En raison de l'espace de montage restreint, les développeurs d'AB Graphic ont judicieusement allongé l'axe optique avec un système de miroir afin de réaliser la distance de travail requise pour les caméras.

Il est également possible d'utiliser en option deux systèmes de caméra au sein des installations fleyeVision, ce qui permet soit :

- **d'inspecter le recto et le verso des rubans d'étiquettes,**
- **d'augmenter la résolution avec des largeurs de bande plus importantes.**

Même avec de telles variantes, les données provenant des deux caméras ne sont traitées que par une seule carte d'acquisition d'image.



6. Un emballage parfait pour les produits laitiers, grâce à la vision industrielle

La technologie de vision a un rôle crucial à jouer dans l'industrie agro-alimentaire, offrant aux industriels un avantage concurrentiel important. C'est notamment le cas dans le secteur de l'emballage où la qualité du conditionnement ainsi que l'inspection des inscriptions sont essentielles.

TriVision, basée à Odense, au Danemark, a développé deux systèmes de vision avec des composants fournis par STEMMER IMAGING. Ils garantissent une inspection complète des emballages, aussi bien lors de leur fabrication que lors du contrôle de fin de ligne.

- **Principe de Conditionnement des Produits Laitiers**

Les **réipients en plastique et leur couvercle servant au conditionnement des produits laitiers** (beurre, fromage et autres pâtes à tartiner) sont généralement produits à l'aide du **procédé d'étiquetage lors de leur moulage (in-mould labeling / IML)**. Il s'agit d'un procédé qui fusionne l'étiquette et l'emballage durant le processus de moulage par injection, soufflage ou de thermoformage. L'étiquette déjà imprimée est placée dans le moule juste avant l'injection, ce qui permet de **l'incorporer dans le matériau d'emballage afin d'obtenir un réipient final avec des illustrations**. Tous les **réipients avec des défauts de structure** découlant du processus de fabrication (bavures, surfaces hétérogènes, tailles différentes) **doivent être rejetés**. Lors du processus de production IML, **l'exactitude et le placement des illustrations intégrées et des codes-barres sont contrôlés**.

Lorsque les emballages acceptés atteignent l'entreprise laitière pour y être remplis et scellés pour expédition, ils sont **à nouveau soumis à des contrôles importants**. Cela **garantit non seulement la confiance de l'utilisateur final**, mais permet aussi **d'éviter le rappel du produit** en raison d'un étiquetage incorrect. Une mesure qui se révèle chère, non seulement au niveau des coûts, mais également pour la réputation d'une marque.



- Voici une ligne de production (machine à moulage par injection et robot) alimentant les produits sur deux convoyeurs dans chaque cycle. Sur chaque convoyeur, trois caméras inspectent différentes parties du produit.

- **La Solution par Vision Industrielle**

La capacité des systèmes de vision industrielle à effectuer une grande variété de mesures, répétitives à haute vitesse, rend cette technologie essentielle dans la fabrication.

a été créée en 1999 pour se concentrer sur les solutions technologiques de vision destinées aux industries de l'emballage et de la production alimentaire, et aider ainsi les clients à améliorer l'efficacité et la qualité de la production. L'«Inspecteur d'emballage» (Packaging Inspector) développé par **TriVision A/S** a été introduit pour l'inspection des emballages à l'étape de leur fabrication, tandis que l'«Inspecteur de produit» (Product Inspector) est utilisé sur le produit final emballé.

L'exigence pour le système était une inspection à 100% de tous les produits afin de rejeter les emballages défectueux.

Pour le système **Packaging Inspector**, il était important d'**utiliser des caméras à bonne sensibilité spectrale** et ayant la possibilité de détecter de très petites erreurs de moulage. Les **caméras d'Allied Vision ont été sélectionnées**. En outre, l'utilisation de caméras GigE Vision a permis d'effectuer des économies de coûts, puisqu'il n'était plus nécessaire d'utiliser de cartes d'acquisition.



Une caméra en hauteur et deux caméras en-dessous du convoyeur, de sorte que chaque produit est inspecté par trois caméras. Cette ligne de production particulière comprend six caméras.

Le processus d'inspection

Afin d'effectuer une **inspection à 100% avec plusieurs types de mesures, un certain nombre de caméras installées dans différentes positions sont utilisées**. Le Packaging Inspector sert à inspecter les emballages fabriqués pour les éléments suivants :

- Erreurs de surmoulage
- Erreurs de dosage
- Trous et plis dans les étiquettes
- Erreurs d'illustrations
- Positionnement des étiquettes et des illustrations
- Mesure dimensionnelle des emballages
- Analyse du code-barres

L'inspection principale concerne les erreurs de surmoulage dûs à de petites quantités de plastique liquide coulant sur le mauvais côté de l'étiquette produisant ainsi des récipients en plastique avec des fuites.

Les erreurs de dosage : présence de trop peu ou trop de matière dans l'emballage. On le note en inspectant les bords de l'emballage.

Pas de produit vers les bords de l'emballage : on est en sous-dosage.

Le produit déborde : on est en surdosage.

Pour les **récipients rectangulaires**, deux caméras sont placées sous une bande transporteuse pour inspecter la boîte au fur et à mesure qu'elle défile.

L'illustration imprimée est inspectée par-dessus afin de vérifier la position correcte de l'étiquette, du code-barres, etc.

Les **couvercles utilisés pour sceller les boîtes** sont inspectés sur des lignes séparées. La **surface intérieure** des récipients cylindriques est inspectée par le haut, tandis qu'une

caméra montée latéralement vérifie la **présence de l'étiquette sur la surface extérieure.**

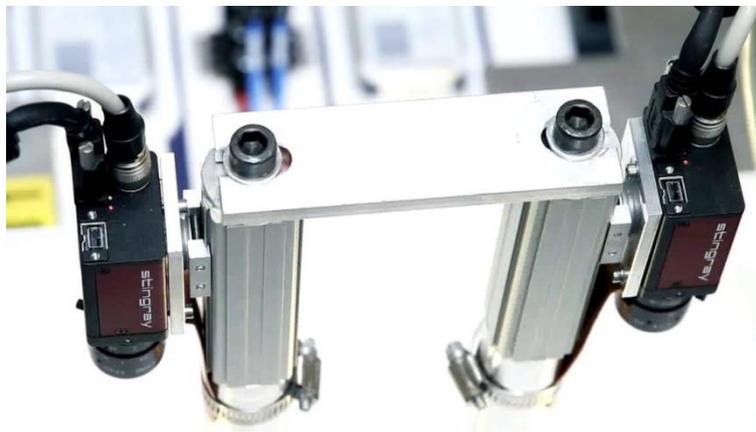
Les caméras **Manta** et **Mako** d'**Allied Vision** sont utilisées ici et **bénéficient d'une large gamme de fonctionnalités embarquées pour optimiser l'image.**

Elles offrent un contrôle flexible de la caméra. Les caméras aux résolutions allant de 0,4 mégapixels à 5 mégapixels sont utilisées en fonction de la tâche d'inspection spécifique et des tolérances requises. Par exemple, des **erreurs de moulage extrêmement petites doivent être détectées à une vitesse relativement élevée.**

Les tolérances de mesure sont spécifiées par l'utilisateur, à la fois pour le type particulier de mesure et le produit individuel, mais les dimensions sont généralement évaluées pour une variation de 0,1 mm.

Grande flexibilité du logiciel utilisé.

- Adaptation facile aux changements fréquents de produits manufacturés.
- En outre, les données de chaque mesure sont utilisées pour analyser l'état de la procédure de production, de sorte qu'une intervention précoce peut être effectuée si l'on constate une répétition de défauts sur une ligne de produit particulière.



Cette image montre l'assemblage avec des caméras montées au-dessus des deux convoyeurs.

L'Inspecteur d'emballage en action chez RPC Superfos

Le **Packaging Inspector de TriVision** est un système modulaire qui peut être adapté à différents produits et tâches. RPC Superfos A/S utilise l'Inspecteur dans la fabrication IML pour détecter les erreurs de surmoulage dans l'étiquetage et les coins des emballages, contrôler les codes-barres et détecter les erreurs d'illustration. Dans ce cas, il peut s'agir d'étiquettes erronées ou manquantes, de variations de texte et / ou de couleurs, d'un positionnement incorrect, de trous ou de plis sur les étiquettes etc.

L'utilisateur peut lui-même définir les limites tolérées pour le rejet des produits :

la taille et le contraste du surmoulage, la quantité d'étiquettes mal placées, les quantités de sous-dosage et surdosage, la longueur et la largeur des produits ou l'évaluation des codes-barres sont facilement paramétrables et adoptés par le système de vision en moins de 5 secondes

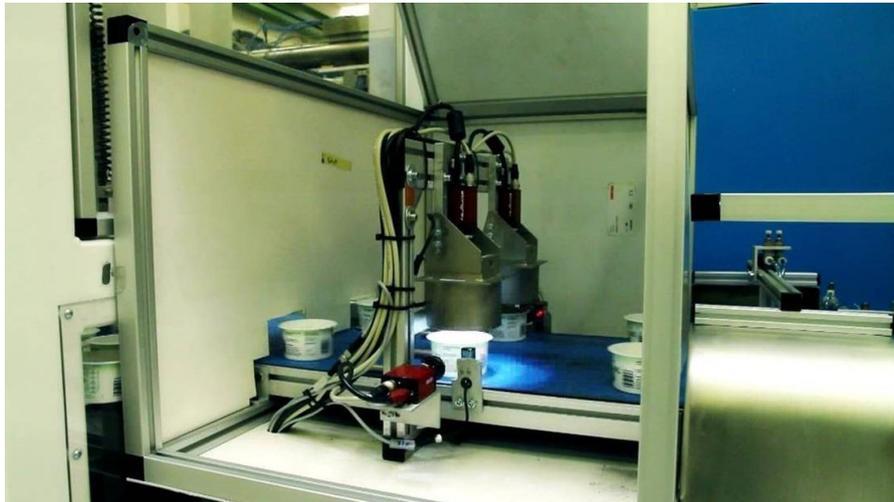
Le système compte également le nombre d'éléments éjectés :

Afin de bien gérer les conteneurs recevant les produits défectueux évitant ainsi le débordement et le mélange produits défectueux.

Le Packaging Inspector est équipé d'une fonction statistique graphique en temps réel, où chaque erreur reconnue à différents stades d'inspection est enregistrée :

Cela permet à l'opérateur de vérifier l'état de chaque outil et d'identifier rapidement le type d'erreur détecté. Ce qui permet d'accélérer des interventions de maintenance et de dépannage.

TriVision peut se connecter directement à la ligne de production et gérer à distance un problème qui ne peut être résolu localement. Les méthodes de production IML évoluent constamment : l'Inspecteur d'emballage offre la flexibilité nécessaire aux développements futurs de ces méthodes.



- La ligne de production produisant des coupelles coniques circulaires utilise deux caméras par convoyeur. Celle du dessus vérifie principalement le surmoulage et les erreurs de dosage ; celle sur le côté vérifie l'étiquetage.

L'Inspecteur de produit en action chez Arla Foods

Les marques **Lurpak** & **Arla Kærgården** d'Arla Food sont connues dans le monde entier pour leurs **produits haute-gamme, aux exigences élevées en matière de qualité, goût, emballage et design**. Afin de **livrer des produits parfaits à ses clients, Arla utilise l'Inspecteur de produit TriVision**. Celui-ci s'assure que les emballages comportent le code-barres correct, que les couvercles soient correctement numérotés, que la partie imprimée soit sans erreur et bien placée et que le papier protecteur soit également à sa place. **Tous les emballages qui ne sont pas parfaits à 100% sont retirés de la ligne de production.**

Le **Product Inspector est doté d'un module « Intelligence de production », basé sur le cloud, qui garantit que l'équipement de production est toujours dans un état optimal**. Cela réduit le nombre d'arrêts de production et augmente l'efficacité globale. Si un dysfonctionnement majeur ou mineur se produit dans l'équipement de production, l'opérateur peut identifier rapidement le problème à partir du module et obtenir de l'aide pour réparer le défaut.

Le système permet de comparer la qualité de différents produits et différentes lignes de production et garantit une production par heure de produits parfaits plus élevée que sur une ligne similaire sans système d'inspection. Le nombre de réclamations-clients a également considérablement diminué.

7. Gros rouleaux - zéros défauts!

Les exigences élevées en matière de vitesse et de précision font de la vision industrielle une solution idéale pour le contrôle qualité dans les industries de l'impression et du papier. L'entreprise allemande Roptec prouve que cette technologie va bien au-delà du simple processus de production. Leur système de vision industrielle est utilisé pour le contrôle qualité lors de la manipulation des rouleaux de papier.

Avec une cadence qui peut atteindre 2000 mètres de bande de papier par minute, l'industrie papetière doit faire face à des vitesses de production extrêmement élevées. Les bobines de papier pesant jusqu'à 5000 kg et mesurant jusqu'à 5 m de largeur et 1,5 m de diamètre sont emballées afin d'éviter tout endommagement et transportées pour la suite du traitement. A leur arrivée, elles sont déballées, placées dans des machines d'impression et changées en fin de bobine, à pleine vitesse de production par un changeur automatique de rouleaux. Les moindres défauts sur ces rouleaux peuvent provoquer un déchirement du papier lors du changement de bobines, entraînant des arrêts de production ou des erreurs d'impression.

Une autre source d'erreur réside dans l'emballage des rouleaux de papier : ces derniers sont enveloppés dans du papier fin sur les faces avant et latérales afin de les protéger contre d'éventuels dommages lors du transport et de la manipulation ultérieure. L'emballage garantit ainsi le haut niveau de qualité du papier lors du processus d'impression. L'endommagement de cet emballage peut entraîner des dysfonctionnements coûteux dans les systèmes de grues automatiques utilisés pour manipuler les rouleaux de papier lors de l'entrée et de la sortie des stocks, car ces rouleaux pèsent très lourd. L'intervention manuelle est ici nécessaire, mais implique des risques supplémentaires : d'autres rouleaux peuvent être endommagés ou même renversés, risquant de blesser les employés et occasionnant des frais supplémentaires.

La société Roptec a développé le système de contrôle RCx Roptec (Roptec Control System) qui utilise la vision industrielle pour détecter les défauts d'emballage des bobines de papier. La tâche demandée au système de vision consistait à :

- **Vérifier l'emballage des faces avant des rouleaux de papier afin de détecter d'éventuels défauts**
- **Trier automatiquement les rouleaux mal emballés pour ensuite les reconditionner.**
- **Vérifier Les étiquettes aux extrémités des rouleaux pour contrôler leur présence, l'absence de plis ainsi que leur positionnement.** Les étiquettes d'identification des rouleaux sont apposées à l'état humide. Dans certains cas, les étiquettes peuvent glisser, se froisser ou même tomber lorsqu'elles sont appliquées par le bras du robot.

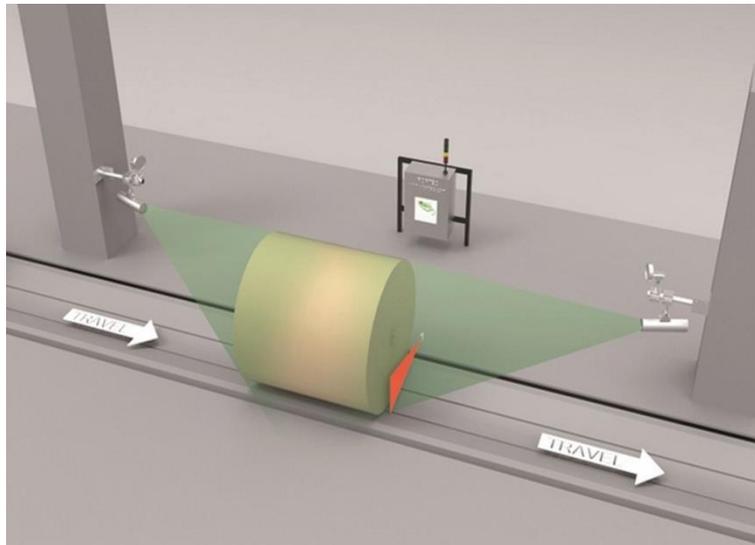


Si l'une de ces erreurs se produit, le système s'arrête immédiatement et permet à l'opérateur d'apposer une nouvelle étiquette.

Les systèmes de vision Roptec (à gauche sur l'image) inspectent les bobines de papier pesant jusqu'à 5 000 kg pour détecter les dommages dus au transport et à la manutention et lisent les étiquettes sur les bobines avant qu'elles n'atteignent les machines d'impression.

(Image source : Roptec GmbH)

Le défi particulier résidait ici dans le fait qu'il s'agissait d'objets de très grande taille et qu'il fallait les éclairer de façon uniforme. *L'arrêt de la ligne n'était autorisé qu'en cas de détection d'erreur.* Le poids énorme des rouleaux de papier exigeait ainsi une construction robuste en acier pour protéger le système de vision et le boîtier de la caméra contre les éventuels dommages causés par les rouleaux qui « déraillent ».



- Deux caméras capturent des images à l'avant et à l'arrière des rouleaux de papier pour une analyse plus poussée. Image source : Roptec GmbH

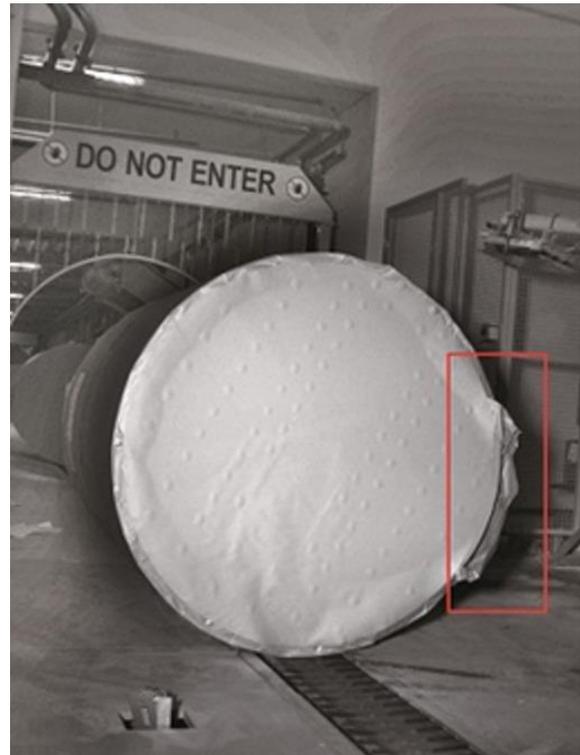
Les composants sélectionnés forment un système qui comprend une caméra monochrome **Prosilica GC1290 d'Allied Vision** de 1,2 mégapixel monté avec un objectif **Ricoh** à focale fixe de 6 mm par station de prise d'images. « *Nous savons que nous avons opté pour un modèle de caméra plus ancien, mais solide. C'était le choix parfait pour cette application spécifique* », souligne M. Rossbruch. En matière d'éclairage, Roptec a choisi un éclairage stroboscopique de l'entreprise canadienne Papertech Inc, très utilisé dans l'industrie papetière.

Pour l'évaluation des images, le logiciel **Dalsa Sherlock** et le PC industriel pour l'analyse des images disponibles chez STEMMER IMAGING ont été choisis, ainsi que d'autres composants tels que les unités d'entrées et de sorties, les connecteurs et les câbles nécessaires.

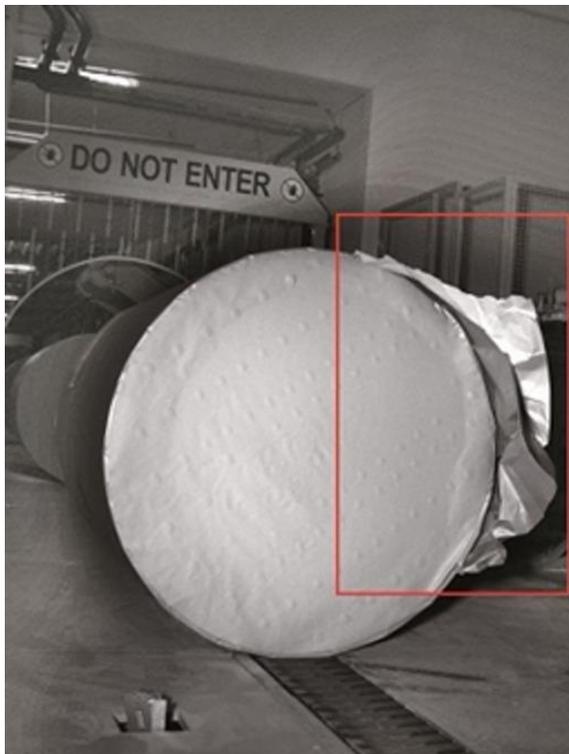
Le client Roptec est également très satisfait de la solution trouvée : depuis qu'il utilise le Roptec Control System RCx, seuls des rouleaux de papier parfaitement emballés parviennent à ses clients, ce qui améliore considérablement les performances de toute l'usine grâce à des temps d'arrêt réduits. Il a été récemment demandé une amélioration du système afin d'inspecter les faces latérales des rouleaux pour un emballage correct avant le transport. Jusqu'à présent, seules les extrémités ont été inspectées et les erreurs ne pouvaient être détectées que si elles apparaissaient suffisamment proches des extrémités du rouleau pour être enregistrées et évaluées par le système de vision industrielle.



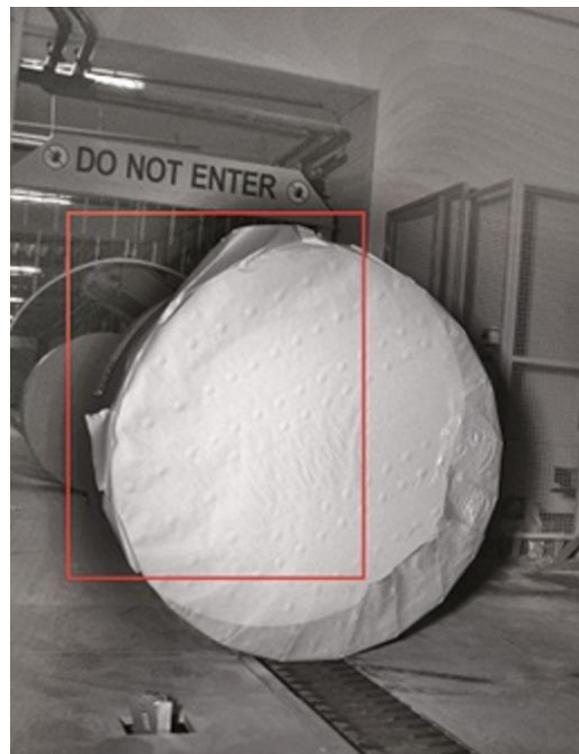
Exemple d'erreur détectée : l'étiquette a glissé.
Image source : Roptec GmbH



Exemple d'erreur détectée : l'emballage est incorrect.
Image source : Roptec GmbH



Exemple d'erreur détectée : l'emballage latéral est déchiré.
Image source : Roptec GmbH



Exemple d'erreur détectée : le couvercle est déplacé.
Image source : Roptec GmbH