



# Imaginons l'avenir du recyclage: l'IA associée à l'expertise process



# Sommaire

Les déchets n'existent pas !	03
Comment l'IA peut contribuer à relever les défis du recyclage	05
L'IA dans le centre de tri du futur : passons à la vitesse supérieure	06
Prévision des flux	07
Surveillance	08
Retour d'informations des actionneurs	09
Le tri à assistance visuelle	10
Le marquage qualité des produits sortants	11
Étude de cas : analyse de caractérisation de la ligne de papier pour désencrage	12
Œuvrer pour le monde de demain avec l'IA	14





## LES DÉCHETS N'EXISTENT PAS

# En réalité il existe un gisement de matières premières à trier, nettoyer et remettre en circulation

L'UE aspire à mettre en place un système d'économie circulaire d'ici à 2050. Il s'agit d'un bel objectif, toutefois le processus de transformation de l'économie linéaire actuelle est à ce jour loin d'être terminé.

Une économie circulaire signifie l'optimisation de l'utilisation des matières premières. Le recyclage zéro déchets vise à minimiser le volume de matières résiduelles destinées à l'incinération ou à la mise en décharge. En parallèle, la présence de matières valorisables potentiellement réutilisables dans les résidus doit être évitée. Ces objectifs ambitieux nécessitent le développement et la mise en œuvre de technologies intelligentes et de solutions exploitant l'intelligence artificielle, la robotique et l'ingénierie avancée, associées à une expertise dans la récupération des matières présentes dans les déchets. Cette vision est au cœur de la démarche innovante de Bollegraaf Group.

Edmund Tenfelde, PDG de Bollegraaf Group



Charles Daridon,  
Directeur commercial  
international

Dans un avenir proche, nous nous attendons à une restructuration complète des centres de tri des déchets de collectes sélectives. Ces centres seront équipés de solutions mécaniques de recyclage à la performance maximale, conçues pour traiter divers types de matières.



C'est une histoire de CO2 ! L'augmentation de la proportion de déchets recyclés est étroitement liée à une réduction du volume de CO2 généré. Examinons le cas du plastique, par exemple. Au cours des dernières années, la démarche visant à transformer les déchets en matières premières a engendré le développement de nouvelles technologies. Cela s'est produit notamment dans le domaine du recyclage chimique, avec des techniques telles que la pyrolyse, la dissolution, ou encore la dépolymérisation, qui sont utilisées lorsque l'extraction mécanique n'est pas possible. De gros volumes et des qualités spécifiques sont nécessaires pour rentabiliser ce type de procédé. Chez Bollegraaf, nous voyons l'avenir dans des solutions innovantes pour des meilleurs processus de tri mécanique ainsi que des matières recyclées de la plus haute qualité, en association avec l'utilisation du recyclage chimique.



Rob de Ruiter, Directeur innovations et durabilité



Martine Assié,  
Directrice marketing produit

“

Lorsque l'IA est associée à l'expertise process, la possibilité de produire des matières premières secondaires de haute qualité devient une réalité. Nous y travaillons en partenariat avec nos clients.

”



COMMENT L'IA PEUT CONTRIBUER À RELEVER LES DÉFIS DU RECYCLAGE

# Un tour d'horizon des process innovants et de la filière de valorisation intelligente



Une approche globale est nécessaire pour parvenir à une réelle circularité des matières, ainsi que pour réduire la dépendance sur les énergies fossiles dans le secteur des biens de consommation et dans l'industrie. Dans cette optique, le recyclage mécanique avancé est l'une des clés de la réussite. Ce domaine connaît donc actuellement des transformations profondes

L'essor rapide des technologies intelligentes mènent le secteur vers une nouvelle ère, l'Industrie 4.0. Cela sous-entend la génération en temps réel de données de process pertinentes, alimentées par l'intelligence artificielle et ensuite déployées dans le cadre d'outils de gestion pertinents. En découlera ensuite tout un éventail de possibilités pour les opérateurs, de bilans approfondis à l'optimisation de process, en passant par l'automatisation des étapes clés du tri.

De plus, le cadre économique du recyclage a connu des modifications significatives au cours des dernières années. D'un secteur où l'accent était placé sur la maximisation des volumes sortants, la tendance actuelle se tourne clairement vers des produits de haute qualité, qui seront ensuite transformés en matières premières secondaires.

Au-delà de l'environnement réglementaire en évolution constante, le commerce international de matières recyclables a également subi des bouleversements, avec pour conséquence une augmentation des coûts de la mise en décharge ou de l'incinération. Le contrôle des process dans un cadre en perpétuelle mutation est plus que jamais nécessaire pour assurer une production régulière et mener à bien la quête pour trouver les ressources de demain.

Les données jouent un rôle fondamental pour faciliter ce processus et créer le centre de tri du futur. La capacité de s'adapter en fonction des changements sera essentielle pour la survie des organisations.

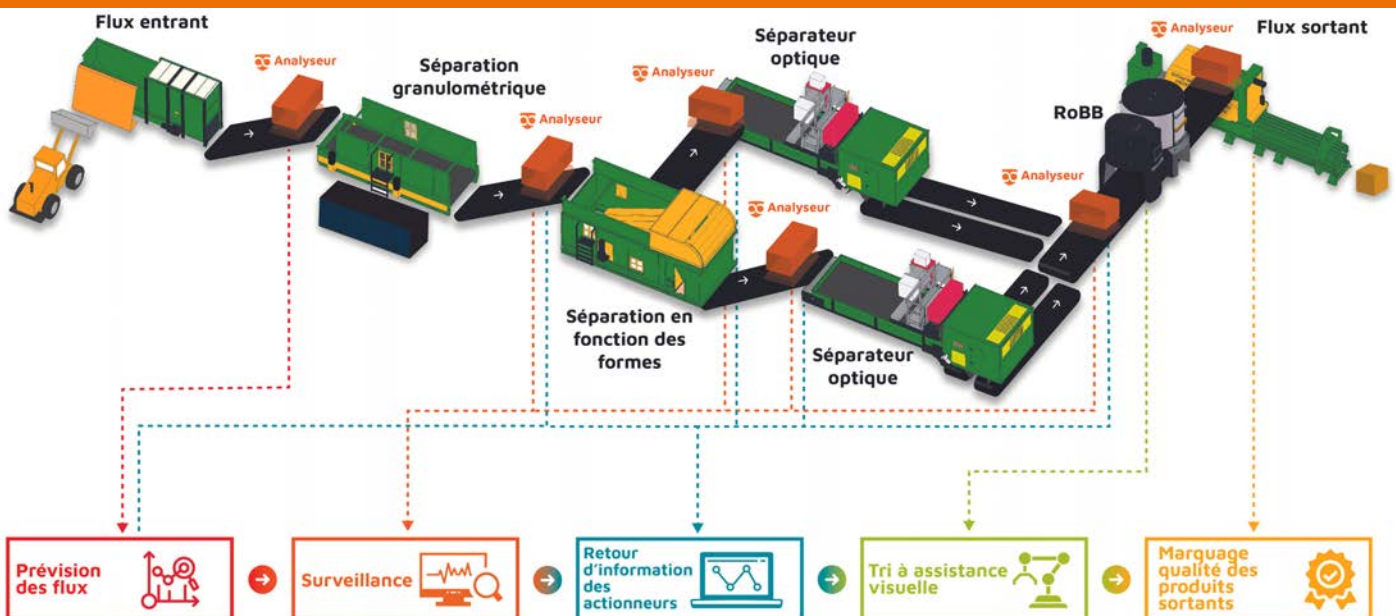


COMMENT L'IA PEUT CONTRIBUER À RELEVER LES DÉFIS DU RECYCLAGE

# L'IA dans le centre de tri du futur : passons au niveau supérieur

## Exploiter toute la valeur financière des déchets

Pour les opérateurs, un manque de données en temps réel portant sur la composition des déchets a pour conséquence une analyse inexacte des flux à différentes étapes du processus de tri. L'intégration de systèmes d'analyse avec IA à des points clés d'une ligne de tri est le premier pas pour maximiser la pureté des matières et améliorer la productivité, tout en réduisant les coûts d'exploitation et l'impact environnemental. De plus, l'accès aux données sur la caractérisation des flux de déchets améliore la transparence tout au long de la chaîne de valeur et permet ainsi à l'opérateur d'augmenter le niveau de performance des processus de recyclage en aval. Cela permet également de lutter contre les sources d'inefficacité potentiellement coûteuses, telles que la dépendance excessive sur le travail manuel pour le contrôle qualité et l'échantillonnage.



## Quantifier pour mieux comprendre

L'Analyseur Bollegraaf recueille des données exhaustives et pertinentes en temps réel depuis des points clés du processus de tri. En exploitant ces données avec notre système d'IA, l'intégration de nos solutions visuelles ont permis de développer les applications suivantes : 1-prévision des flux , 2- surveillance du process, 3- retour d'informations des actionneurs, 4- tri à assistance visuelle, et 5- marquage qualité des produits sortants.



## PRÉVISION DES FLUX

# De la boîte noire à la boîte orange



Des données de caractérisation insuffisantes produisent un aperçu imprécis sur la caractérisation du flux de déchets, ce qui ralentit les prises de décisions.

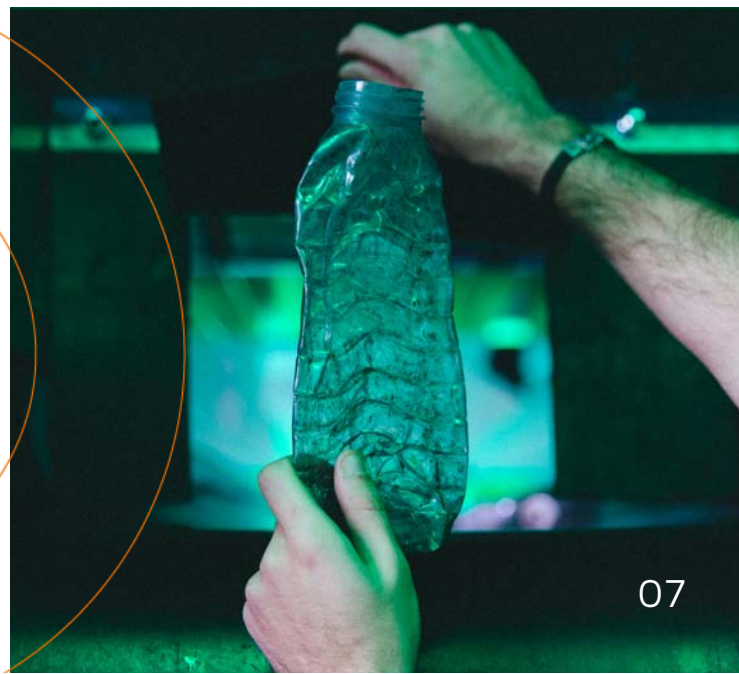
### Les conséquences :

- Un manque de visibilité sur la composition et la qualité des matières entrantes sur la ligne de tri ;
- Un flux entrant de mauvaise qualité se traduira par des difficultés à garantir la pureté des flux sortants.

**L'intégration d'un Analyseur Bollegraaf, ou « boîte orange » au début d'une ligne de tri peut fournir une analyse approfondie de l'efficacité de l'usine.**

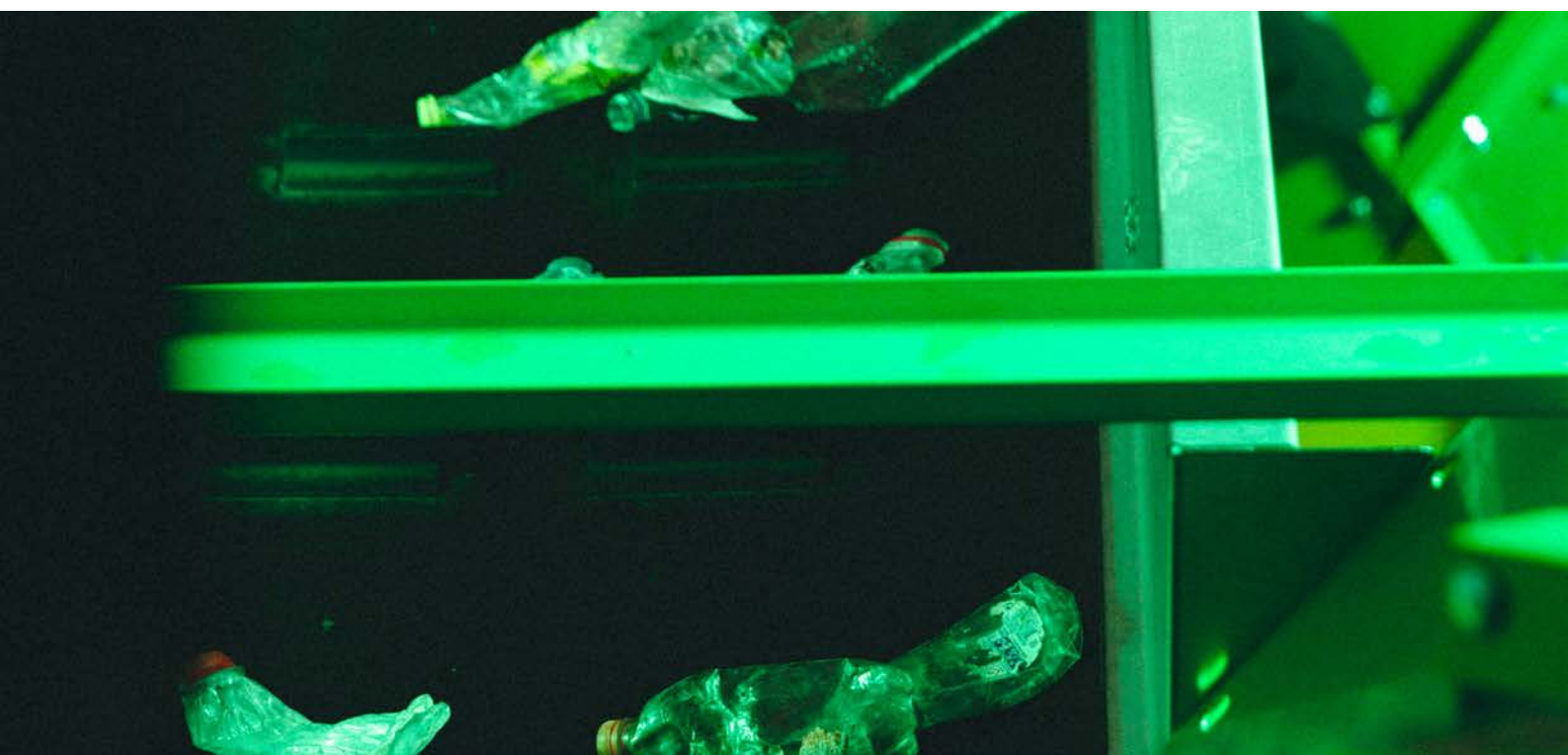
Grâce à une analyse automatisée et en temps réel de la caractérisation des entrants, les processus de tri et de recyclage peuvent être optimisés rapidement.

Les données des flux entrants peuvent également servir à ralentir ou à accélérer l'alimentation de la ligne pour en optimiser l'efficacité.



## LA SURVEILLANCE

# L'optimisation sera quantifiée ou ne sera pas



Les analyseurs de Bollegraaf sont alimentés par IA et fournissent des informations précises et en continu sur la composition des flux de déchets aux points clés de la ligne de tri. En regroupant plusieurs ensembles de données, le tableau de bord Bollegraaf Analytics sera personnalisé en fonction des indicateurs clés de performance des clients.

Les informations requises seront extraites du processus de tri et affichées de façon exhaustive sous la forme d'indicateurs opérationnels et de performance pour étayer les prises de décisions sur la base de données.

Notre système de surveillance fonctionne 24H/24 et 7j/7, et émet des alertes en cas de changements de la composition des flux entrants ou sortants, de détérioration de la performance ou de la survenue d'anomalies. Il est également possible de générer des étiquettes indiquant la pureté des lots de matières sortantes.

Le contrôle qualité actuel est basé sur le tri manuel et l'échantillonnage randomisé. Ces procédures hautement consommatrices de main d'œuvre et peu fiables peuvent désormais être automatisées, pour garantir la pureté des produits et valoriser les matières à leur juste prix.



RETOUR D'INFORMATIONS DES ACTIONNEURS

# Contrôler la performance à chaque étape du processus de tri

La composition des déchets est extrêmement volatile. Les évolutions sont influencées par des paramètres tels que la saison, les tendances en matière d'emballages, la collecte et la réglementation.

La caractérisation en amont et en aval de l'actionneur permet un bon niveau de réactivité en vue d'améliorer la performance via l'optimisation des étapes du processus de tri.

**Avantages:**

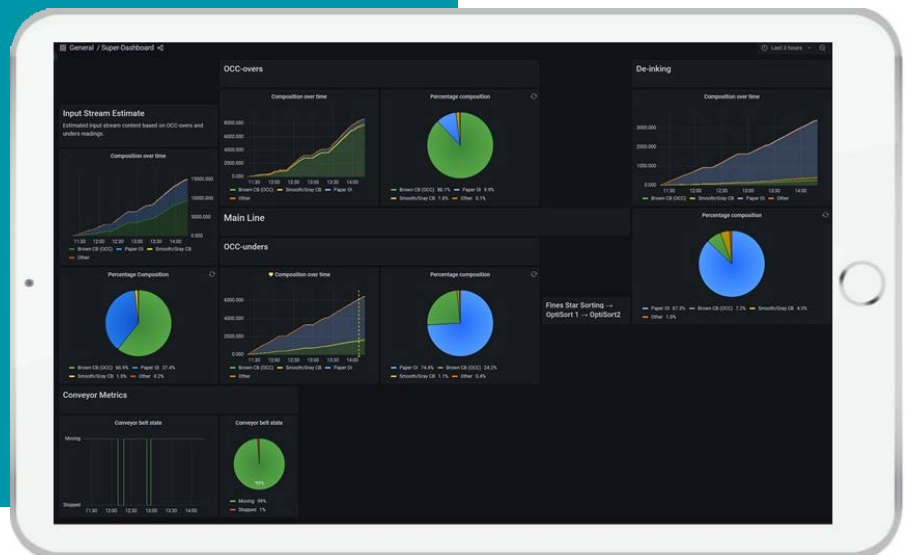
- Retour d'informations
- 24h/24 et 7j/7
- Pas d'intervention humaine

**Les ICP**

- Caractérisation
- Temps de fonctionnement du tapis
- Granulométrie
- Épaisseur de la couche de matière

**Applications**

- Rapports composition balles
- Détection de la détérioration de la performance et des anomalies



“ En collaboration avec Bollegraaf, nous avons modernisé notre ligne de tri de papier, qui comprend une technologie de séparation optique rapide dernier cri, le Bollegraaf Opti-Sort. La performance de tels équipements dépend des flux entrants. C'est pour cela que nous avons installé des Analyseurs Bollegraaf pour surveiller l'étape de criblage amont. Avec une surveillance en continu de la caractérisation, de la granulométrie et de la forme des matières avant et après notre crible OCC, nous pouvons ajuster les paramètres et optimiser la préparation des matières avant les séparateurs optiques. Ce retour sur la performance du crible améliore significativement la régularité de la qualité et de l'extraction de notre papier pour désencrage. ”

**Patrick Jonk,**  
Directeur général chez SPK bv





LE TRI À ASSISTANCE VISUELLE

# Faire passer le tri au niveau supérieur

“ Bollegraaf était la seule société en mesure de proposer une solution capable de réussir à intégrer la technologie robotisée dans notre usine existante, pour le traitement des matières légères. ”

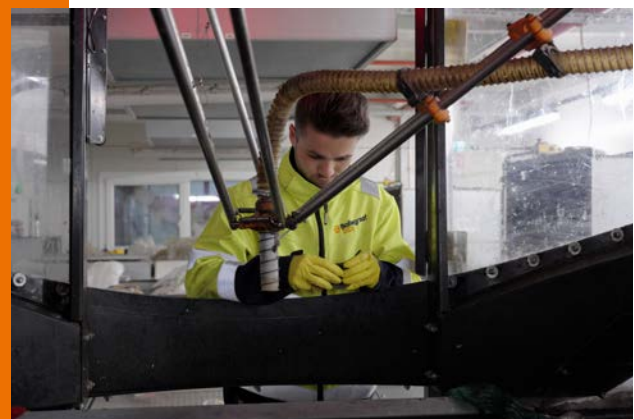
**Christian Hündgen,**  
Directeur général de Hündgen  
Entsorgungs GmbH & Co. KG

## L'amélioration du contrôle qualité

Les solutions à assistance visuelle Bollegraaf sont basées sur l'IA et peuvent désormais être intégrées dans des dispositifs de tri tels que les trieurs robotisés, les séparateurs optiques et les presses à balles.

Par exemple, RoBB, la solution de contrôle qualité automatisée de Bollegraaf, est un trieur robotisé équipé d'un système de captage visuel guidé par l'IA. Cet équipement comprend un éventail de détecteurs optiques tels qu'un NIR (near infrared, ou proche infra-rouge), RVB et une caméra pour détecter la hauteur. Cet ensemble identifie et catégorise les objets en fonction de la matière, la forme, les couleurs et d'autres paramètres facilement reconnaissables par l'œil humain. Son processus fondé sur l'informatique cognitive exploite les réseaux d'apprentissage profonds, capables d'auto-apprentissage et de reconnaître les séquences de la même façon qu'un cerveau humain.

Un avantage significatif de ces types de systèmes visuels basés sur l'IA est l'utilisation de multiples méthodes de détection pour différencier entre les matières. En recueillant principalement des données RVB et assisté par l'IA, une estimation de la caractérisation des flux est réalisée au niveau des objets. Cela permet une analyse plus approfondie de la composition des déchets, jusqu'à départager deux emballages réalisés en la même matière, selon qu'ils soient alimentaires ou non-alimentaires. L'Analyseur Bollegraaf appréhende les objets de manière globale et est en mesure d'exploiter les modèles adaptatifs.





## LE MARQUAGE QUALITÉ DES PRODUITS SORTANTS

# L'échantillonnage des déchets est facilité

**Une analyse exhaustive de la caractérisation des produits sortants**



**Un échantillonnage simple et rapide**



**Une amélioration du rapport coût-efficacité**



**Des clients plus satisfaits**

L'Analyseur est un exemple polyvalent de l'intégration de l'IA dans les solutions de tri Bollegraaf. Une application concrète de l'analyseur est le marquage qualité des produits du centre de tri. Cela offre de nombreux avantages.

L'Analyseur Bollegraaf fournit des mises à jour portant sur les tendances, la caractérisation actuelle, et la valeur estimée des lots à des intervalles rapprochées. La rentabilité de chaque chargement s'en trouve maximisée. De plus, les données produites par l'Analyseur peuvent contribuer à améliorer la transparence pour les clients et la direction de la société. Cela ouvre la voie à des prises de décision informées, pour augmenter la rentabilité future.

L'intégration d'un Analyseur Bollegraaf en fin de ligne réduira le volume d'heures ouvrées nécessaires pour réaliser l'échantillonnage des déchets. Autre avantage, l'Analyseur évitera le rejet de lots par les clients en raison de la non-conformité contractuelle, situation qui pourrait engendrer des frais additionnels, et des heures supplémentaires travaillées ce qui augmentera les coûts d'exploitation.

Les acheteurs souhaitent obtenir des informations précises sur le contenu de leurs lots. Le Bollegraaf Analyzer vous permet de répondre aux besoins de vos clients en leur communiquant une analyse exhaustive de la caractérisation de leur livraison. Cette transparence peut créer un avantage concurrentiel, et ainsi de meilleures relations entre vous et vos interlocuteurs.

## ÉTUDE DE CAS

# Analyse de caractérisation de la ligne de papier pour désencrage dans un centre aux Pays-Bas

## Le défi

Optimiser les coûts en améliorant la logistique lors des activités commerciales\*

\*Les centres de tri expédient des matières vers les papeteries, où sont réalisés des contrôles qualité aléatoires. En cas d'anomalie, le chargement est renvoyé au fournisseur.

## La solution

Une analyse en temps réel de la caractérisation des flux sortants de la ligne de papier pour désencrage.



L'Analyseur Bollegraaf a été implanté sur le tapis de sortie de la ligne de tri de papier pour désencrage dans le centre de tri mécanique et optique. Sa capacité est de 400 000 kg par jour, dont environ 50% de papier.

**Provenance des déchets :**  
Région d'Amsterdam

**Paramètres du tapis :**  
Vitesse : 1 m /s  
Largeur : 1,2m

**Caractérisation type de la matière :**  
80-95 % papier pour désencrage  
5-15 % impuretés (carton brun, carton lisse, tétrapacks, plastiques)

**Nature des déchets :**  
papier, carton et impuretés

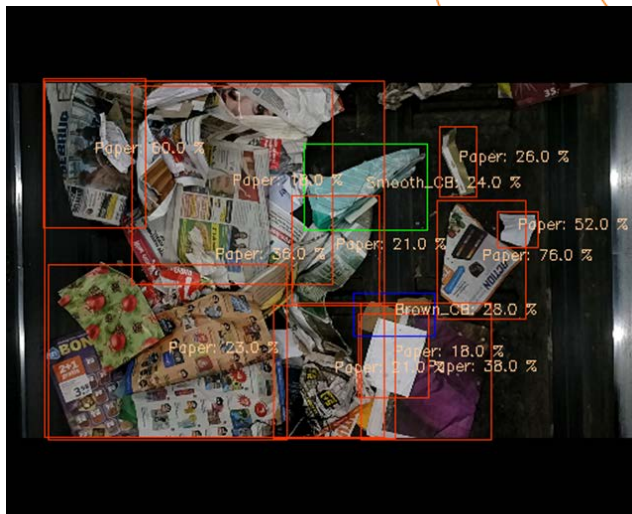


Pour évaluer la précision du système, nous avons comparé les flux sortants de l'analyseur (estimations de masse par catégorie de matière et images en provenance d'enregistrements de caméras avec modélisation prévisionnelle) avec les flux sortants de référence (matière pesée et triée manuellement).

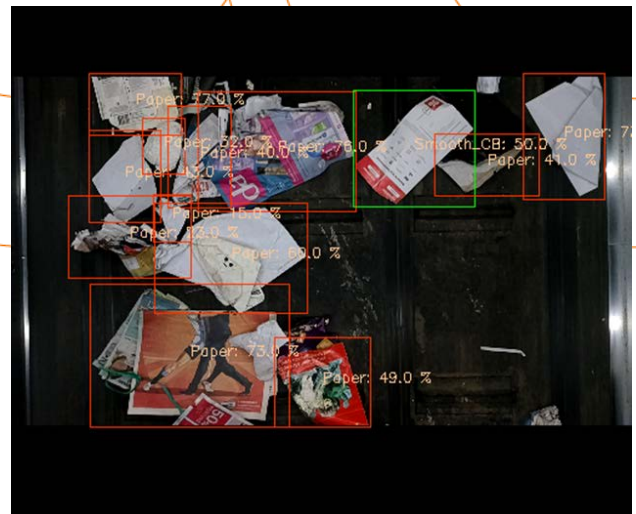
Un exemple de test de précision réalisé en collaboration avec le client :

Catégorie matière	Poids de l'échantillon de référence	Échantillonnage manuel (% du poids)	Caractérisation analyseur (% du poids)	Écart constaté (Analyseur vs Manuel)
Cartons bruns	5,7 kg	10,8%	11,2%	0,4%
Cartons lisses	3,65 kg	6,9%	4,8%	-2,1%
<b>Papier pour désencrage</b>	<b>43,15 kg</b>	<b>81,6%</b>	<b>83,0%</b>	<b>1,4%</b>
Autres	0,4 kg	0,8%	1,1%	0,3%
Total	52,9 kg			

# Le système de reconnaissance et de catégorisation visuelle est essentiel



Les résultats positifs erronés entraînent de mauvaises performances



La reconnaissance précise entraîne de bonnes performances

La catégorisation est essentielle, et le maintien d'une performance élevée nécessite une mise à jour régulière avec de nouveaux échantillons liés à des ensembles de données spécifiques au client. Les flux de déchets évoluent au fil du temps, et ces changements doivent être pris en considération.

# Œuvrer pour le monde de demain avec l'IA

**Nous avons une vision globale et novatrice des processus de tri et de recyclage des déchets, afin d'atteindre une réelle circularité des matières.**

Il n'existe pas de solution unique. Les besoins de chaque client leur sont propres, et les flux de déchets entrants évoluent au fil du temps, tout comme les réglementations. Le circuit de valorisation des déchets nécessite de la transparence et une approche collaborative pour atteindre une réelle circularité des matières secondaires.

Nos clients sont au cœur de cette démarche, et le développement de solutions percutantes en fonction de leurs défis uniques sont la raison d'être de nos parcours communs.

L'innovation englobe à la fois le développement de processus de tri à la technologie de pointe, et l'intégration de systèmes visuels basés sur l'IA. Nous estimons que les équipements de la plus haute qualité que sont ceux de Bollegraaf, ainsi que son expertise en ingénierie associée à des systèmes d'intelligence artificielle représentent une synergie unique, vouée à la réussite.

**Edmund Tenfelde**  
PDG de Bollegraaf Group





“ En collaboration avec nos clients, nous œuvrons pour faire évoluer le marché. Ensemble, nous faisons face à des défis majeurs en exploitant des technologies de pointe. C'est comme cela que nous bâtissons un avenir réellement durable pour notre planète. ”





**CREATING A  
WORLD OF  
DIFFERENCE**