

TABLE DES MATIÈRES

Préface

Etude de la traçabilité	4
1. Contexte de l'étude	5
2. Structure de l'étude	6
3. Méthodologie	10
Partie 1 : Approche par les technologies	12
1.1. Génération de données	13
1.2. Transmission de données	55
1.3. Base de données	62
Partie 2 : Approche par les applications	72
2.1. Processus décisionnel	73
2.2. Réglementations, normes et standards	75
2.3. Note introductive sur les applications décrites	77
2.4. Traçabilité de moyens de transport	78
2.5. Traçabilité d'équipements	80
2.6. Traçabilité de marchandises	82
2.7. Traçabilité de ressources humaines	84
2.8. Traçabilité de personnes (hors ressources humaines)	85
Partie 3 : Tendances et marges d'innovation	86
Partie 4 : Consultation du marché	96

ÉTUDE DE LA TRAÇABILITÉ



1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Les supply chains sont de plus en plus complexes, indépendamment des secteurs. L'on demande à la production d'être davantage flexible pour pouvoir répondre aux souhaits des clients. Les étapes de logistique interne et externe sont elles-mêmes de plus en plus intégrées à ces chaînes.

Dans ce contexte, les solutions de Track & Trace offrent une réponse au besoin de situer les produits à chaque étape de la chaîne : de la production à la livraison.

Cette étude sur la traçabilité dans le domaine du transport, de la logistique et de la mobilité consiste à effectuer un état de l'art des technologies de traçabilité disponibles ainsi que des perspectives à considérer. Le potentiel de développement en Wallonie de ces technologies est défini pour divers secteurs d'application. L'étude vise notamment la traçabilité des marchandises dans les secteurs industriel, agroalimentaire, pharmaceutique, santé, luxe, déchet, construction, e-commerce, etc. Elle adresse également les contraintes liées aux environnements extrêmes et de respect de la chaîne du froid. Enfin, elle produit une cartographie des principaux acteurs wallons et étrangers qui utilisent les technologies identifiées.

Le livrable est un rapport reprenant les éléments de l'étude. Ce rapport inclut notamment un tableau comparatif synthétisant les technologies les plus pertinentes, les tendances, le mode d'utilisation des données ainsi que les principaux acteurs pour les secteurs d'application étudiés.

Cette étude sur les solutions de traçabilité applicables en matière de transport et de logistique vise à fournir une vue d'ensemble des technologies existantes et de leurs applications permettant de réaliser un suivi tout au long des chaînes d'approvisionnement, de la production à la livraison.

Que ce soit pour répondre à un besoin réglementaire, d'évolution vers plus de compétitivité, de satisfaction client, de lutte contre la contrefaçon ou d'adoption d'un modèle d'affaires collaboratif, les solutions de traçabilité sont nécessaires à un nombre croissant de secteurs (industriel, pharmaceutique, agroalimentaire, luxe, transport...).

2. STRUCTURE DE L'ÉTUDE

La traçabilité se compose du "tracing" et du "tracking".

- › Le **"tracing"** consiste à retracer l'origine¹ ou le parcours de quelque chose ou quelqu'un. Cette activité permet de créer un historique à travers la chaîne de valeur à posteriori.
- › Le **"tracking"** consiste à suivre quelque chose ou quelqu'un le long de la chaîne de valeur en regardant vers sa destination et en anticipation de ce qui va se passer dans le futur.



Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons à la traçabilité :

- › des **moyens de transport** (camion, train, bateau, péniche, vélo cargo, etc.) ;
- › des **équipements** (palettes, outils, conteneurs, chariots, RTIs², frigos, etc.) ;
- › des **marchandises** (lots, colis individuels, produits alimentaires, médicaments, etc.) ;
- › des **personnes** (ressources humaines ou usagers de solutions de mobilité).

Les activités de "tracking" et de "tracing" peuvent faire appel à des technologies d'identification ou d'authentification, de suivi de position ainsi que de suivi de paramètres intrinsèques ou environnementaux.

¹ La notion d'origine ne se restreint pas au lieu d'exportation du produit fini. Dans le cadre de l'étude, l'origine (ou les origines) d'un produit est définie par l'endroit auquel une intervention a eu lieu sur celui-ci ou ses constituants (extraction de matière première, fabrication, assemblage, etc.).

² Returnable transport items

Traçabilité des moyens, marchandises, équipements ou ressources humaines
(en temps réel ou non)



Qui/Quoi



Où



Comment

Identification
(identité,
composition...)

Géolocalisation
(position XYZ)

Mesure de l'état
(T°C, m/s², on/off,
livré...)

- › Contrôle qualité
- › Authenticité
- › Autorisation
- › ...

- › Inventaire et disponibilité
- › Vol
- › Gestion des tournées et ETA
- › Sécurité
- › Envoi d'alertes liées à la position
- › KPIs (Km parcourus, coûts, Co₂...)
- › Autres : suivi des animaux, enfants, prisonniers...
- › ...

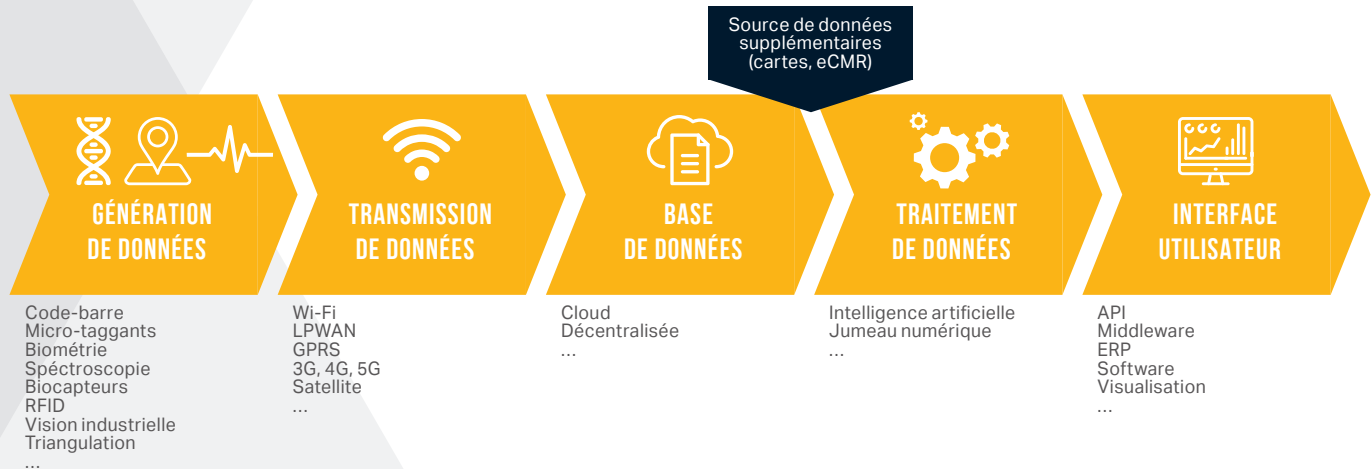
- › Contrôle qualité
- › Utilisation
- › Maintenance prédictive
- › Objectiver les relations (livraison, paiement, assurance)
- › Alertes liées à des paramètres
- › KPIs
- › Autres : prise de médicaments, suivis hors patients...
- › ...

De manière générale, les éléments constituant une solution de traçabilité sont :

- › La **génération de données** (quoi/qui, où et mesure de l'état) ;
- › La **transmission de données** (ex : intérieur, extérieur) ;
- › Le **stockage de données** (ex : cloud, décentralisé) ;
- › Le **traitement de données** (ex : intelligence artificielle) ;

- › La création de l'**interface utilisateur** ;
- › La **digitalisation** de documentation papier.

Cette étude couvre principalement les quatre premiers éléments pour lesquels une multitude de combinaisons est possible.



On pourra retrouver plusieurs solutions pouvant répondre à un même type d'application et il sera nécessaire de bien cerner les objectifs et contraintes de chaque situation afin d'identifier la meilleure combinaison de technologies au regard de critères de coûts/bénéfices, d'interopérabilité, humain, etc.

L'étude est structurée en 4 parties et accompagnée d'annexes :

PARTIE 1

TECHNOLOGIES

- › La première partie de l'étude comporte une comparaison des différentes technologies ainsi qu'une brève description de celles-ci et la mise en évidence d'applications.

PARTIE 2

APPLICATIONS

- › La seconde partie de l'étude traite différentes applications motivées par des besoins métiers. Cette partie est introduite en abordant le processus décisionnel, les contraintes et réglementations justifiant la mise en place de solutions de traçabilité.

PARTIE 3

TENDANCES ET MARGES D'INNOVATION

- › La troisième partie fait ressortir de l'étude certaines tendances et marges d'innovation.

PARTIE 4

CONSULTATION DU MARCHÉ

- › La quatrième partie, aborde d'une part, les entretiens qualitatifs individuels et, d'autre part, le sondage qualitatif en ligne.

3. MÉTHODOLOGIE

L'étude fut réalisée en combinant recherches documentaires, entrevues et sondages. La thématique de traçabilité étant très large, trois phases successives ont été menées afin de progressivement converger vers une vue synthétique.

L'évaluation de la maturité des technologies fut réalisée sur base de la matrice suivante :

	1	2	3
Maturité Commerciale (MC)	Validation marché	Commercialisation	Adoption
Dynamique d'Innovation (DI)	Faible	Moyenne	Forte

Phase 1 : recherches documentaires.

Phase 2 : entrevues individuelles qualitatives.

Phase 3 : sondage qualitatif en ligne.



PARTIE 1

APPROCHE PAR LES TECHNOLOGIES



1.1. GÉNÉRATION DE DONNÉES

Le tableau disponible à la fin de cette brochure donne un aperçu des différentes **technologies de génération de données** en les comparant en fonction de différents critères.

Chaque technologie est d'abord qualifiée en fonction de l'usage fait de la génération de données :

QUOI/QUI

Identification (capacité de déterminer l'identité unique d'un produit ou d'une personne) ou **authentification** (capacité de vérifier que le produit est conforme et certifié exact).

OÙ

Géolocalisation permettant de déterminer la position intérieure ou extérieure.

ÉTAT

Paramètres internes ou externes tels que la température, l'accélération, les chocs, le statut (ouvert/fermé, on/off...), etc.

Il est ensuite indiqué si la technologie utilisée est **intrusive**⁴ ou non (pour y inscrire un marquage spécial, par exemple, ou s'il suffit d'y apposer un dispositif) ou nécessite d'avoir recours à un **appareil de lecture** pour capturer l'une des données générées.

Enfin, le tableau fournit une indication de la **maturité commerciale** (MC), **dynamique d'innovation** (DI), du **coût** et des **secteurs privilégiés**.

⁴ Besoin d'être incrustée dans la matière

1.1.1. ETIQUETTE

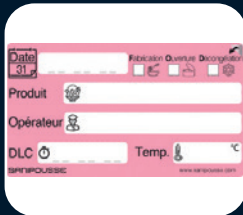
L'étiquette constitue une solution élémentaire pour inscrire des informations concernant une marchandise. Dans le secteur agroalimentaire, l'étiquette de traçabilité permet d'identifier les produits élaborés, entamés ou décongelés. Pour éviter tout risque d'intoxication, elle garantit le suivi de la DLC (Date limite de consommation) ou DDM (date de durabilité minimale) et peut renseigner le numéro de lot de fabrication, la composition, l'origine ou les conditions de conservation. Le secteur industriel pourra bénéficier d'un marquage avec scellé. Dans le secteur textile, l'étiquette peut informer le consommateur sur la nature écologique ou biologique des fibres.

Cependant l'étiquette donne une traçabilité limitée dans la mesure où celle-ci est dépendante de la personne ou de l'organisme ayant produit l'information mais peut

aussi dans certains cas être enlevée et réutilisée. Cette solution d'identification servira de support ou sera couplée le long de la chaîne d'approvisionnement à d'autres techniques alors que des réglementations plus contraignantes apparaissent (ex: agroalimentaire, textile, environnemental, etc) et pour répondre à des besoins d'authentification ou de certification.

Il existe des étiquettes de sécurité avec résidu d'encre permanent indiquant une altération ou une ouverture non autorisée, par exemple, de boîtes de médicaments, tubes à essai de laboratoire ou d'emballages. Ceci permet aussi de prévenir la réutilisation d'étiquettes. Certaines étiquettes peuvent réagir à l'usage de solvants afin d'identifier des décollements frauduleux.

Il y a de nombreux fournisseurs d'étiquettes.



Etiquette agroalimentaire



Etiquette textile



Etiquette avec scellé



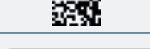
Etiquettes de sécurité avec résidu d'encre

Sources :

- www.sanipousse.com
- <https://blog.main-gauche.com/>
- www.margreiter-technik.fr
- www.leghorngroup.fr

1.1.2. CODES-BARRES 1D/2D

Les codes-barres ont été les précurseurs des moyens de traçabilité et ont servi de point de départ au développement des standards GS1. Il en existe une multitude mais ceux-ci seront soit 1D unidimensionnelle (limités à une vingtaine de caractères) ou 2D à 2 dimensions (pouvant aller jusqu'à entre 3.000 et 7.000 caractères, répartis sur une surface plus petite que les codes-barres 1D et pouvant être lus dans tous les sens). Le coût unitaire de la majorité des codes-barres est très faible (moins de 0,01€). Le bokode développé depuis quelques années par le MIT peut contenir largement plus d'informations, mesure 3 mm, est lisible jusqu'à une distance de 4 mètres (principal avantage identifié) mais serait beaucoup plus onéreux (5€) sauf pour la version réflective (0,05€). Les codes-barres répondent à des besoins d'identification, d'inventaire, de géolocalisation (connaissance de la dernière position) mais également d'authentification. Ils peuvent être sérialisés et intégrés sur un document, un emballage ou directement marqués sur un produit.

BAR CODE	SAMPLE	BAR CODE	SAMPLE
CODE 39		EAN 128	
Interleaved 2 of 5		CODABAR (NW-7)	
UPC-A		Code 128	
UPC-E		POSTNET	
EAN13		PDF417	
EAN 8		QR CODE	
		Micro QR CODE	



Datamatrix



Aztec



Bokode (LED)



Microsoft Tag



Shotcode



Bee Tagg

Suivi de personnes: hôpitaux, événements, etc.



Sources : <https://www.pdc-big.fr/bracelets/caracteristique/avec-codes-barres>

Bien que les codes-barres existent depuis longtemps (70 ans pour les 1D et 30 ans pour les 2D), on observe actuellement le développement de nombreuses applications, notamment parce qu'ils peuvent être produits et imprimés à moindre coût et facilement insérés dans la chaîne de production. Un nombre croissant d'applications favorisent les codes-barres 2D tels que les QR Code, Datamatrix ou PDF 417 qui sont les plus utilisés.

Il existe de nombreux générateurs de codes-barres (ex : <http://goqr.me/>) et ceux-ci nécessitent un appareil de lecture. Les lecteurs professionnels 1D coûtent de 150€ à 400€ (600€ pour un lecteur annulaire) et les lecteurs 2D coûtent jusqu'à 800€.



Construction



Vins & spiritueux



Returnable Transport Item

Sources :
 • www.hilti.be
 • www.warehousemarking.eu

Les codes-barres peuvent également être couplés à d'autres techniques de traçabilité (encres spéciales, hologrammes, etc.) afin d'améliorer la fiabilité de la solution et éviter la falsification du code. Cependant, puisque ceci risque d'augmenter le coût de la solution finale, des sociétés développent des solutions innovantes fournissant un niveau d'authentification supplémentaire. Eonix génère ainsi le QR code avec une clé cryptographique qui utilise la structure du papier pour assurer que le QR code n'est pas une copie et est bien celui assigné au document initial. Cette solution d'authentification s'applique aux documents officiels, diplômes, produits de luxe, médicaments, vins et spiritueux, etc. Advanced Track & Trace dispose de plusieurs brevets⁵ permettant également d'augmenter le niveau de sécurité, par exemple, en générant un QR code sur base d'éléments caractéristiques du document ou de l'image à authentifier.

Le code-barre peut être utilisé dans le cadre du traçage du COVID-19, comme celui reçu après avoir correctement rempli le "Public Health Passenger locator Form" et qui doit être montré aux autorités.

De nombreuses sociétés utilisent des codes-barres comme élément central ou complémentaire de leur solution de traçabilité telles que Multitel, Phidata, Westi, Prooftag.



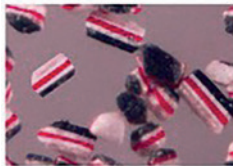
⁵ Brevets WO2017072470A1, WO2010034897A1

1.1.3. MICRO-TAGGANTS

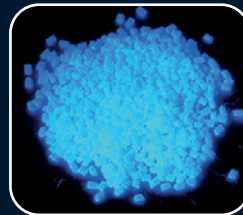
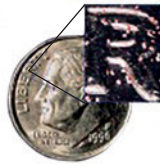
L'usage de micro-tagants consiste en l'incorporation de microparticules dans la matière à des fins de traçabilité. La taille de ces particules (de 0,02 mm à 1,2 mm) confère à cette technologie de traçabilité une excellente manière de combattre la contrefaçon puisque non visible à l'oeil nu.

Microtrace développe des micro-tagants comprenant plusieurs couches de couleurs correspondant à un code unique (jusqu'à 37 millions de combinaison) et pouvant être complétées par d'autres matériaux ayant des propriétés fluorescentes ou magnétiques. Initialement utilisée pour détecter les faux papiers, cette technologie est maintenant intégrée dans des plastiques, matériaux en vrac, produits pétroliers, peintures, parfums, shampoings, cuirs et textiles, étiquettes et

dans des explosifs (détectable post-détonation). Les micro-tagants sont habituellement disponibles sous forme d'encre invisible ou de poudres et peuvent être incorporés à faible coût lors de processus de production en série. La vérification de l'authenticité est non destructive et se réalise rapidement grâce à des microscopes portatifs, lampes UV, stylo lasers ou détecteurs magnétiques en fonction du type de micro-tagants.



Microtrace Microtaggants



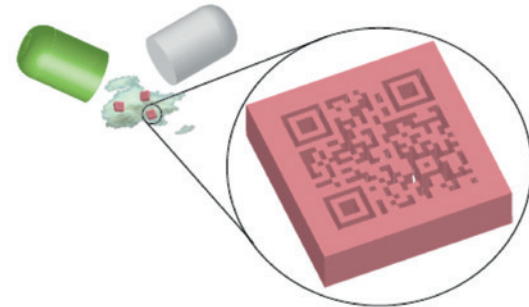
TagSpheres (Arjo Solutions)

Sources :
 • www.microtracesolutions.com
 • www.arjo-solutions.com

D'autres fournisseurs incluent, entre autres, VIAVI, 3S (Secutag) et NanoMatrix (MatriX-Mark). Arjo Solutions (dont certains brevets sont référencés sous Arjowiggins⁶) commercialise le taggant Tagspheres intégrable à toute matière et révélabile optiquement par un lecteur dédié. ARmark avait développé un micro-taggant mesurant entre 0,05 mm et 0,2 mm pouvant contenir 16 lignes de texte et être pulvérisé sur des légumes afin de remonter jusqu'au producteur dans le cas de contamination alimentaire, cependant, la société ne semble plus être active.

QR-CODED MICROTAGGANT

Microtaggants in a drug capsule for authentication. All drug data in 2D QR code : Ingredients, manufacture information, expiration date, distributors, etc.



Une publication⁷ conceptualise comment inscrire un QR code sur des micro-taggants insérés dans la gélule d'un médicament afin de l'authentifier et qui comporte des informations liées aux ingrédients, au fabricant, à la date d'expiration, aux distributeurs, etc.

⁶ Brevet WO2018073320A1

⁷ <https://www.rsc.org/images/loc/2012/pdf/T.9.198.pdf>

1.1.4. CRYPTOGLYPH

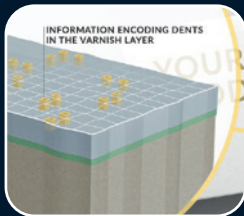
L'utilisation de cryptoglyph permet de déposer sur un produit ou son emballage un marquage invisible et constitué d'une multitude de micro-points imprimés avec une encre ou un verni. Les micro-points peuvent être codés et renfermés des informations sur le fabricant, la date de fabrication, etc.

Alpvision dispose de plusieurs brevets⁸ et met à profit cette technologie pour combattre la contrefaçon et l'applique aux documents officiels et billets de banque, aux emballages en carton ou blisters ainsi qu'à différents produits moulés tels que des pièces mécaniques, des bouteilles ou des bouchons pour les secteurs pharmaceutiques, du tabac, des huiles moteurs, etc.

Il est également possible d'utiliser le procédé sur des capsules en aluminium pour vins et spiritueux ou sur des lingots de métaux précieux. Kodak dispose d'une solution permettant de déposer une poudre avec un motif aléatoire enregistré dans une base de données et reconnu grâce à un lecteur dédié.

L'usage de lecteurs dédiés nécessaires à de nombreuses solutions de traçabilité peut être perçu comme un obstacle mais ceci permet de limiter le nombre de contrôles réalisables et augmente ainsi l'efficacité de la lutte contre la contrefaçon.

⁸ Brevets WO2017080975A1, US2012243797A1, etc.



Alpvision

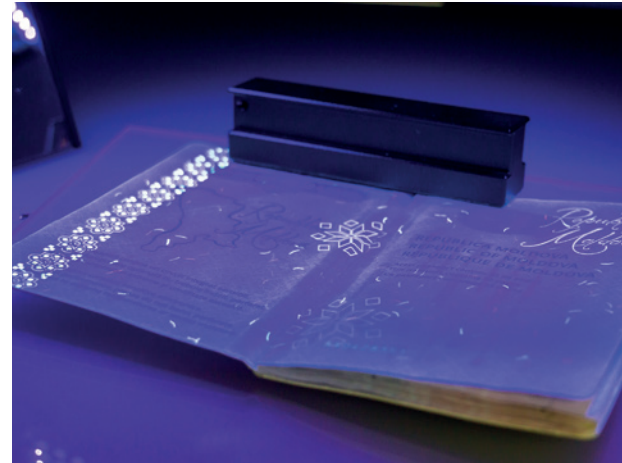


Alpvision

Source :
• www.alpvision.com

1.1.5. ENCRE SPÉCIALE

Il existe plusieurs types d'encre permettant de lutter contre la contrefaçon et la falsification telles que l'encre UV, infrarouge, magnétisable, fugitive ou OVI (à variabilité optique). Celles-ci sont utilisées sur les documents d'identité, des étiquettes ou des chèques et leur combinaison permet de renforcer le niveau de sécurité des billets de banque par exemple. Parmi les fournisseurs on trouvera Semlex, Sico Screen Inks, Sun Chemical, Domino Digital Printing, Kodak, Sicpa, Arjo Solutions, Gleitsmann Security Inks, Flint Group, Cronite, Letong Chemical, Troy, Source Technologies. Les encres infrarouges et OVI sont relativement onéreuses.



Encre fluorescente



Encre à couleur variable



Encre magnétique

Source :
• www.troygroup.com

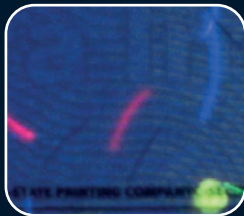
1.1.6. PAPIER ET EFFETS D'IMPRESSION

Aux encres spéciales seront souvent ajoutés l'usage de certains papiers et d'effets d'impression pour renforcer davantage le niveau de sécurité et rendre l'imprimé difficilement scannable et reproductible comme dans le cas des passeports ou des timbres poste. Ceci comprend le papier avec filigranes ombrés, fibres de sécurité et incisions, les images latentes, les micro-impressions, les effets de transvision ou l'usage de systèmes de guilloché changeant en permanence l'épaisseur du trait.

Le FiberTag de Prooftag est une technologie d'authentification utilisant une dispersion aléatoire et unique de fibres visibles dans le papier dont la mesure donne une identification unique. Les Vignerons Indépendants de France utilisent cette solution combinée aux étiquettes Fiber Tracker d'Avery Dennison.



Le PRADO (Registre public en ligne des documents authentiques d'identité et de voyage), issu de la coopération des Etats membres de l'UE, décrit en détail les éléments de sécurité tels que les encres, les effets d'impression et autres techniques utilisés dans les documents d'identité mais qui peuvent être utilisés pour d'autres secteurs et applications.



Fibres de sécurité



Micro-impression



Incision de sécurité

Source :
• www.any.hu

1.1.7. MARQUAGE DIRECT

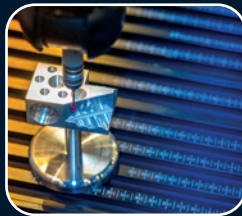
Différentes technologies de marquage direct dans un but d'identification voire d'authentification pourront, dans certains cas, être préférées à d'autres options telles que les étiquettes, par exemple. Plusieurs critères seront pris en compte lors du choix (normes à respecter, rugosité, résistance aux contraintes thermiques, fragilité du matériau à marquer, flexibilité du processus, possibilité d'automatiser le processus de marquage, durée de vie, etc.). Les marquages laser ou à jet d'encre continu sont plus onéreux que les marquages par micro-percussion ou par gravure électrochimique mais offrent une plus grande flexibilité et facilité d'intégration.

		Aluminium	Cuivre	Titane	Fer	Acier	Magnésium	Céramique	Verre	Matière synthétique
Lazer	Lazer CO ₂								•	•
	Lazer à semi-conducteur	•	•	•	•	•	•	•		•
Jet d'encre continu		•	•	•	•	•	•	•	•	•
Micropercussion		•	•		•	•				•
Gravure electrochimique		•	•	•	•	•	•			

Source : Videojet Technologies



Marquage laser



Micro-percussion



Marquage laser

Source :
• www.devicemed.fr

Un nombre croissant de dispositifs médicaux (outils chirurgicaux, cathéters, implants, etc.) ont besoin d'être marqués afin de répondre au renforcement des réglementations en matière d'identification. L'objectif final est d'améliorer la sécurité du patient, de simplifier le rappel de produits et d'éviter les contrefaçons. Le marquage laser permet de répondre à la plupart des exigences (précision, flexibilité, répétabilité, permanence, lisibilité), sur quasiment tous les matériaux (inox, titane, chrome, cobalt, plastique, céramique), et sans affecter la surface du produit. Le système HELP (Holistic Enhanced Laser Process) de l'Allemand Foba permet de réduire les erreurs de marquage pouvant être très coûteuses sur certains dispositifs. Le marquage laser permet de déposer un code-barre de moins de 2 mm et est également utilisé pour les composants électroniques. Le vol de plusieurs tonnes d'huîtres du producteur Gillardeau a été mis au jour grâce au marquage laser des coquilles.



L'impression jet d'encre continu, dont les consommables (solvants et encres) représentent un coût important, peut être utilisée sur des pièces en mouvement et est idéale pour imprimer des codes DataMatrix. Cette technologie sera utilisée pour marquer des pièces du secteur automobile et aéronautique mais également pour marquer les emballages dans le secteur agroalimentaire (numéro de lot, dates, codes de conformité législative ou relatives aux allergènes, etc.).

La micro-percussion est couramment utilisée dans l'aéronautique et dans l'automobile. Il s'agit du marquage d'une empreinte dans la surface qui n'endommage pas le produit marqué et ne nuit pas à son intégrité. L'application sur certains produits fins et fragiles ne conviendra pas.

Le processus de marquage par gravure chimique présente l'avantage d'être facile à utiliser, peu coûteux et de procurer une marque de haute qualité mais ne peut cependant être utilisé que pour marquer des matériaux métalliques conducteurs et nécessite des moules préformés pour chaque code.

Les fournisseurs de marquage industriel incluent, entre autres, Etilux, Technifor, Weber Marking Systems, Videojet Technologies, TIMIS, etc.

1.1.8. HOLOGRAMMES

Les hologrammes sont utilisés pour prévenir de la contrefaçon (cartes bancaires, passeports, cartes d'identité, visas, billets de banques, certificat d'authenticité, timbres d'accise, billets de spectacle, vignettes de véhicules, batteries, etc.) et sécuriser des accès (badges holographiques). Ils ne peuvent pas être scannés, photographiés ou photocopiés. Leur création fait appel à des technologies complexes rendant la falsification onéreuse. Les hologrammes s'appliquent facilement et de façon industrielle sur des supports très variés. La lecture d'un hologramme peut se faire rapidement à l'œil nu ou avec l'aide d'un lecteur spécifique dans le cas où des éléments de sécurité supplémentaires sont ajoutés (codes uniques, micro textes, etc.). Les fournisseurs incluent, entre autres,

Surys, Semlex, Group Joos, Leonhard Kurz, SBE Direct, Advast Suisse, Arjo Solutions, Lasersec Technologies, etc. Il existe de nombreux types d'hologrammes de sécurité et de complexité variable avec un coût allant de quelques cents à plusieurs euros. La technologie holographique peut être combinée à la sérialisation telle que proposée par Prooftag (Variogram) qui intègre un logo personnalisé statique et une référence variable (numéro sérialisé, code aléatoire, code-barre 2D, etc.) associés à un certificat hébergé dans le cloud. Advanced Track & Trace dispose d'un brevet⁹ visant à ajouter une marque anti-copie à la matrice holographique utilisée pour la fabrication d'hologrammes.

⁹ Brevet WO2015132162A1



Electronique



Vins & spiritueux



Documents officiels

Source :
• www.trustconcept.com

1.1.9. CODES À BULLES

Les codes à bulles sont visibles, non reproductibles et permettent d'authentifier des bouteilles de vins, montres haut de gamme, produits cosmétiques, documents douaniers, procès-verbaux, équipements industriels, huiles moteurs, etc. La solution Prooftag, brevetée et développée par le centre de recherche Novatec, emprisonne des bulles positionnées aléatoirement dans un élément en plastique qui traduisent un code stocker dans une base de données consultable, par exemple, via un QR code. Le prix de ces codes à bulles varie de 1 à 50 centimes d'euros en fonction des volumes et spécifications. De nombreux brevets sont déposés par Novatec pour cette technologie et le dernier publié en avril 2020¹⁰ vise à diminuer le coût de la technologie pour

satisfaire le besoin d'authentification de produits ayant un prix de vente modeste tel que les livres. Hangzhou Wopu IOT Technology (Chine) a publié plusieurs brevets¹¹ liés à ce type d'innovation concernant la forme des bulles, par exemple.

¹⁰ Brevet WO2020064407A1

¹¹ Brevets CN109118944A, WO2016201774A1, etc.



Codes à bulles Prooftag



Codes à bulles Prooftag

Sources :
 • www.prooftag.net
 • www.leflaive.fr

1.1.10. ADN

Il s'agit de marqueurs sous forme de gel, graisse ou spray permettant de tracer des solides ou liquides, biens de valeur, vêtements, objets d'art ou de collection et des criminels. L'analyse en laboratoire est ensuite nécessaire pour réaliser le contrôle. SelectaDNA produit un ADN synthétique en combinant de façon unique les bases 'ACGT' et dont le code est enregistré dans une base de données. D'autres fournisseurs incluent DNA Technologies ainsi que Haelixa qui permet un traçage depuis le producteur de coton ou la mine de diamants.

Une solution disposant d'un codage proche de l'ADN est également utilisée depuis 20 ans en Grande-Bretagne pour tracer des voleurs et a été installée dans des bijouteries d'Auchan et Géant Casino et des centres commerciaux à Marseille et près de Paris. La solution est composée à 95%

d'eau, de fluorescéine, de terres rares (un code différent par proportion) et d'un fixateur. Selon la société SmartWater, le produit reste détectable entre 6 et 8 semaines sur la peau, 6 mois sur les capillaires, en permanence sur les vêtements car incrusté dans les fibres et 5 ans pour un objet resté à l'extérieur tel qu'une arme abandonnée.

Des recherches¹² ont été réalisées à l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich concernant la mise au point de particules contenant un segment d'ADN synthétique. En ajoutant ces particules, à raison seulement d'un millionième de gramme par litre, il est possible de tracer des huiles d'olive ainsi que des huiles cosmétiques ou des carburants. Le prélèvement et l'analyse d'un millilitre d'huile permet d'identifier le producteur, et donc de détecter les contrefaçons. Le coût du marquage est estimé à 0,02 centime par litre de produit à protéger.

¹² <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/nn4063853>



Vêtements



Voleur



Huile d'olive

Sources :
 • goexplorer.org
 • www.selectadna.fr

1.1.11. BIOMÉTRIE DE LA MATIÈRE

Cette technique consiste à utiliser les légères et multiples imperfections de la surface de la matière afin de produire un code unique résultant en une empreinte digitale utilisable le long de la chaîne d'approvisionnement. Ceci ne nécessite à priori pas l'ajout d'éléments de sécurité supplémentaire puisque le produit est sa propre sécurité.

La technologie LSA (Laser Surface Authentication) développée par Ingenia Technology¹³ (intégré dans NewScope Group) permet d'extraire l'empreinte de papiers, cartons, cartes de crédit, boîtes de parfum et de médicaments, plastiques, céramiques et métaux.

L'inconvénient pourrait être de devoir scanner l'objet à différents moments de la production à la consommation. Cependant, Adfirmia (développé par Arjo Solutions) propose une solution smartphone ne nécessitant pas de lecteurs spécifiques et permettant aux distributeurs, revendeurs, autorités et consommateurs de s'assurer qu'un produit n'est pas une contrefaçon. La fiabilité du système repose sur un algorithme breveté¹⁴ permettant la conversion des aléas visibles, d'une boîte de médicaments par exemple, en une signature digitale. L'incorporation en ligne de production pharmaceutique est facilitée grâce au partenariat avec Cognex (systèmes de vision industrielle) et Germark (machines de sérialisation).

¹³ Brevets GB2462029A, WO2011058343A1, etc.

¹⁴ Brevets WO2018042127A1, PL1971960T3

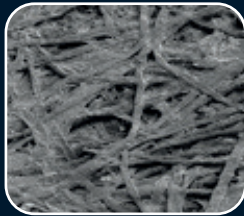
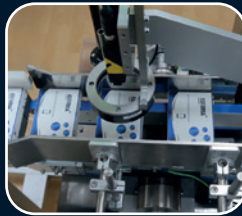


Image papier
(Ingenia Technology)



Boîtes de médicaments



Boîtes de médicaments

Sources :

- www.wccomd.org
- www.arjo-solutions.com
- www.arjo-solutions.com

Le projet Vegeta (projet d'innovation collaboratif cofinancé par la Wallonie) porté par Eonix en collaboration avec l'UCLouvain, Multitel et Quimesis vise à extraire les défauts du papier, traiter le signal et le transformer en QR code, tel un sceau infalsifiable, afin d'authentifier des documents officiels (casier judiciaire, contrat, etc.), produits issus de l'e-commerce, etc.

Labrenta, spécialisée dans les bouchons pour vins et spiritueux, dispose d'un brevet¹⁵ permettant de tracer un bouchon de liège pour vins fins ou destinés à une longue maturation. La solution ajoute l'image de la surface externe du bouchon à la carte d'identification, habituellement composée du poids et de la densité de liège et des données d'extraction (forêt d'origine et date de fabrication).

¹⁵ Brevet WO2014139660A1

¹⁶ Brevet FR2968798A1



Bouchon

EOS innovation dépose en moyenne deux brevets par an dans le bouchage et le packaging de luxe, dont un¹⁶ qui concerne l'authentification de bouchons via l'identification d'éléments remarquables sur leur surface et l'inscription de ceux-ci sur le bouchon en utilisant une technique de marquage direct telle que laser ou à jet d'encre.

1.1.12. SPECTROSCOPIE VIBRATIONNELLE

La spectroscopie vibrationnelle est une méthode non destructive et non intrusive permettant d'obtenir des informations sur les caractéristiques chimiques et physiques d'un matériau solide ou liquide. Ceci peut s'appliquer dans plusieurs domaines : composition de produits agricoles, alimentaires ou pharmaceutiques, environnement (analyse de polluants), identification de pigments de tableaux, contrôle de la qualité de matériaux industriels, etc.

Il existe trois grandes techniques de spectroscopie vibrationnelle appelées infrarouge moyen (MIR), infrarouge proche (NIR) et Raman qui reposent sur la vibration des molécules d'un échantillon afin d'y récolter des informations sur les liaisons chimiques.

Les chercheurs du laboratoire de Chimie Analytique du Département de Pharmacie de l'Université de Liège, spécialistes dans ce domaine de recherche, collaborent régulièrement avec des entreprises pharmaceutiques pour contrôler leurs matières premières, produits finis et procédés. Cette technologie ne prend que 5 à 10 secondes pour analyser un médicament et ne nécessite pas de préparer l'échantillon. Le projet Vibra4Fake vise à certifier les matières premières utilisées dans l'industrie pharmaceutique et à vérifier la conformité du produit fini en analysant les spectres réels et théoriques. L'innovation réside dans un algorithme qui permet de rejeter plus rapidement les matières premières ne répondant pas aux critères.

Les appareils de spectroscopie de marques Thermofisher, Metrohm, Bruker, Kaiser, Tornado ou Indatech coûtent entre 60.000 et 200.000€.



Spectromètres portables testés au CRA-W



Mesure en temps réel (graisse, protéine, sucre, eau, etc.)



Contrôle de matières premières

Sources :

- www.cra.wallonie.be
- www.israel21c.org
- www.bravo-bruker.com

Le CRA-W (Centre wallon de Recherches agronomiques) dispose d'une expertise de plus de 30 ans en spectroscopie vibrationnelle pour contrôler les fraudes sur les matières premières et assurer la traçabilité et l'authentification de produits (fromages, beurre ou fèves de cacao, chocolat, jus de fruits, sirops de limonade, huiles de friture, aliments pour animaux, colza, céréales, etc.). Le centre possède une large base de données permettant par exemple de calibrer les instruments.

La spectroscopie vibrationnelle peut être appliquée à différents endroits de la chaîne d'approvisionnement agroalimentaire et les analyses réalisées grâce à des instruments portables (parfois pilotés via smartphone) et dont le coût est plus faible que les appareils classiques de laboratoire. Ceci permet par exemple de facilement analyser la composition de feuilles situées sur un arbre. Les mesures peuvent être géolocalisées.

La startup Consumer Physics (Israël) commercialise un spectromètre portable (brevets détenus par "Verifood"¹⁷) pour consommateurs et professionnels, nommé SCiO, opéré par smartphone et connecté au Cloud. La détermination de la composition (graisse, protéine, sucre, eau, etc.) par spectrométrie NIR permet d'en déduire la teneur en calorie, la fraîcheur ou la qualité d'un aliment. Des kits pour développeurs et chercheurs sont

également disponibles (dont un sous forme de tasse permettant d'analyser des liquides) et avec des prix allant de 100\$ à 2.000\$ pour les dispositifs et de 1.500\$ à 3.000\$/an pour les licences. La startup développe l'intégration de leur technologie au sein d'une balance ou d'un four de cuisine¹⁸.



Sources : <https://shop.consumerphysics.com/>

¹⁷ Brevet WO2016125164, US2018184972A1

¹⁸ Brevet US2018172510A1

1.1.13. MEMS

Les MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) sont des systèmes électromécaniques dont la taille varie généralement de quelques microns à un millimètre. Ces dispositifs sont coûteux à développer et à tester. Il existe plusieurs types de MEMS tels que les accéléromètres, les gyroscopes, les capteurs de pression ou les capteurs magnétiques.

Ils permettent le développement de système de navigation inertielle (INS) calculant de manière autonome la position, l'orientation et la vitesse d'un objet sans faire appel à des références externes.

Ce type de dispositif miniature permet de réaliser le suivi de personnes dans des environnements où le GPS

ou d'autres technologies ne conviennent pas (intérieur, canyon urbain, tunnels, etc.), en plaçant un système dans la chaussure d'une personne, par exemple¹⁹.

Safran développe les capteurs "Colibrys" basés sur cette technologie et destinés aux applications de transport terrestre, aérien et maritime. Les mesures inertielles sont utilisées pour augmenter la précision et la fiabilité des systèmes de radionavigation ou les GPS.

Les MEMS permettent également le développement de solutions avancées²⁰ de positionnement et de guidage en entrepôt de véhicules autonomes ou de chariots autonomes ne nécessitant pas de filoguidage, laserguidage ou optoguidage. Ceci est très utile dans un contexte d'industrie 4.0, où l'espace devient dynamique et partagé entre véhicules autonomes,

¹⁹ <https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=6290>
²⁰ <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925202004>



Capteur Colibrys (Safran)



Véhicule autonome

Sources :
 • www.colibrys.com
 • www.mydigitalstartup.net

équipements, travailleurs, voire zones de stockage temporaires. L'amélioration de l'autonomie des véhicules autonomes favorise aussi leurs déploiements à plus grande échelle ou sur des sites industriels ayant d'autres caractéristiques puisqu'ils peuvent s'adapter à leur environnement sans intervention humaine.

Cainiao (Alibaba Group) et RoboSense ont développé en 2018 un véhicule logistique autonome incorporant un LiDAR basé sur la technologie de miroir MEMS. Mitsubishi Electric a annoncé en mars 2020 la mise au point d'un tel LiDAR MEMS. La startup Blickfeld²¹ (Allemagne) commercialise aussi ce type de LiDAR MEMS depuis 2019, qu'elle utilise pour la navigation autonome, pour compter des personnes ou pour suivre des objets à différents moments de la supply chain.

La spin-off wallonne e-peas développe des microsystèmes permettant de déployer des solutions de capteurs sans-fil consommant le moins d'énergie possible.

Enfin, les MEMS peuvent être couplés à des éléments biologiques pour former les biocapteurs (cfr. section suivante).



²¹ Brevet WO2019115263A1

1.1.14. BIOCAPTEURS

Un biocapteur est un dispositif intégré capable de fournir des informations spécifiques quantitatives grâce à un élément de reconnaissance d'origine biologique (par exemple, une enzyme, un anticorps ou un acide nucléique) en contact direct avec un capteur (transducteur électrique ou optique). Les éléments biologiques vont interagir avec leur environnement pour générer un signal analogique (émission de photons, modification de pH, de masse ou de température, etc.). Le rôle du transducteur est alors de convertir le signal biologique en signal numérique analysable. Les biocapteurs sont un sous-ensemble des MEMS.

Historiquement appliquée au secteur de la santé (suivi de maladies chroniques telles que le diabète, l'insuffisance

cardiaque, etc.), cette technologie permet la traçabilité dans d'autres secteurs tels que l'environnement (surveillance de polluants dans l'air, l'eau ou les sols) et l'agroalimentaire (détection de *Salmonella*²², de *Enterococcus faecalis*²³, de *Bacillus cereus*²⁴ par exemple, ainsi que d'antibiotiques ou allergènes, suivi de la vinification et de la fermentation de bières ou yaourts, contrôle de procédés de transformation, authentification de l'origine des aliments, etc.). On trouve également des applications dans la détection d'explosifs ou de drogues.

Les biocapteurs peuvent s'appliquer à des matrices alimentaires complexes et disposent d'une grande sensibilité. Ils permettent aussi de répondre à la réglementation européenne fixant la teneur maximale pour certains contaminants²⁵ (nitrate, métaux, dioxines, etc.) dans les denrées alimentaires.

¹⁹ <https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=6290>
²⁰ <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925202004>



Fraunhofer EMFT



Emballages intelligents



Drogues et explosifs

Sources :
 • www.emft.fraunhofer.de
 • www.ripesense.co.nz
 • www.ms-technologies.com

L'usage de dispositifs biocapteurs portables permet de réaliser des analyses tout au long de la supply chain (production, stockage, transport et consommation), en temps-réel et sur site et donc plus rapidement que les techniques de détection de contamination traditionnelles effectuées en laboratoire (chromatographie, spectrométrie de masse, etc.) nécessitant de grands échantillons et du personnel hautement qualifié. Cependant, de nombreux biocapteurs sont encore en phase de développement et leur commercialisation reste à ce jour limitée.

Actuellement, l'université de Gand collabore dans le projet Interreg "Terafood" (2017-2020) afin de développer un capteur permettant d'inspecter en temps réel la fraîcheur du produit alimentaire emballé (viandes, poissons, fruits, légumes, etc.) et ainsi, de prévenir la détérioration des aliments dans l'industrie agroalimentaire. Un brevet est déposé. Basée sur la technologie des ondes térahertz (THz), la solution ne nécessite pas l'ouverture de l'emballage plastique et peut également y être intégré pour former un emballage "intelligent".

L'amélioration de la stabilité des récepteurs biologiques ou la production de récepteurs artificiels (tels que des nanozymes²⁶ ou des aptamères²⁷) représentent des pistes R&D qui favoriseraient la mise sur le marché d'un plus grand nombre de solutions. De plus, la fusion de plusieurs type de biocapteurs (tels que le couplage d'une "langue électronique" à un "nez électronique") permettra d'augmenter les possibilités d'identification.

Le congrès annuel BioTrace organisé par l'Université de Montpellier traite de l'usage des nano-biotechnologies au service de la traçabilité (médical, agronomique, alimentaire, etc...).



Oenologie et viticulture

Source : www.fst.vt.edu



Détection du lactose

Source : www.directsens.com

22 Brevet WO2020130791A1

23 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6891683/>

24 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956566307000310>

25 <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/chemical-contaminants>

26 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165993619303474>

27 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6164425/>

1.1.15. ENREGISTREURS DE DONNÉES (DATA LOGGERS)

Des enregistreurs de données (data loggers) peuvent accompagner la marchandise pour en monitorer les conditions de transport lues à posteriori. Il est ainsi possible de mesurer les chocs ou les vibrations mais également les fluctuations de température, humidité, pression et lumière. Les prix varient de 50€ à 600€. Les fournisseurs sont MSR Electronics (CH), Escort Data Logging Systems (CH), Exttech Instruments (US), Emerson (US), Caen RFID (IT), Lascar electronics (UK), Testo (BE), LogTag Recorders (NZ), Trotec (DE), etc.

L'inoSpector est un capteur de la taille d'une carte de crédit qui enregistre la température des contenants de produits alimentaires ou pharmaceutiques et peut-être lu

localement avec un smartphone (NFC). Il peut effectuer jusqu'à 12.000 enregistrements sur des intervalles de prise de température allant de 1 seconde à 24 heures et avec une précision de 0,5°C.



Chocs et température (USB)



Température (RFID)



Température et humidité

Sources :
 • www.fst.vt.edu
 • www.directsens.com

1.1.16. INDICATEURS À USAGE UNIQUE

Des indicateurs peuvent être posés sur les colis fragiles ou sensibles aux conditions de transport. Ils permettent la vérification à posteriori et sont à usage unique. Ils peuvent informer du dépassement d'un seuil tel qu'une rupture du froid mais ne peuvent pas rendre compte de l'évolution des conditions durant le transport ou l'entreposage.

L'avantage principal est leur simplicité d'utilisation et leur coût (autour de 1 à 2 €). Les fournisseurs sont Etilux (BE), ShockWatch (AU), IOG Products (US), Brady (US), 3M (US), Clariant (US), Thermopatch (NL), etc. Certains indicateurs disposent d'un code-barre et numéro de série unique voire d'un tag RFID passif. Il existe aussi des indicateurs d'humidité (avec carte remplaçable) pouvant être fixés sur la paroi d'un conteneur, lisible de l'extérieur pour éviter de l'ouvrir.



Sources :
 • www.shockwatch.com.au
 • www.zoneindustrie.com
 • impactograph.com
 • www.telatemp.com
 • www.jamesdawson.com



Température (max/min)



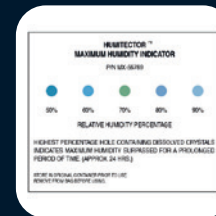
Inclinaison



Chocs



Chocs



Humidité



Humidité
(conteneur)

1.1.17. RFID ET NFC

Le tag RFID (Radio Frequency Identification) utilise des signaux de fréquence radio pour transmettre des informations à un lecteur fixe ou mobile. Composé d'une antenne et d'une puce électronique, il peut être collé ou incorporé dans un produit voire implanté dans un animal. Le tag peut être conditionné sous forme de carte, de pastille, d'étiquette ou de capsule en verre.

Il peut fonctionner en lecture seule (identifiant inscriptible une seule fois) ou en lecture/écriture (avec une zone mémoire réinscriptible). L'échange d'information peut se faire sur plusieurs bandes de fréquences (BF, HF, UHF ou SHF/UWB) en fonction de l'application souhaitée (vitesse de transmission, présence de liquide ou de métal, sensibilité aux interférences, etc.).

Il existe des tags passifs (sans batterie, il reçoit son énergie via le signal envoyé par le lecteur), semi-passifs (communiquant aussi grâce à l'énergie du lecteur mais avec une petite batterie permettant le couplage avec un capteur de température ou de chocs, par exemple), actifs (alimenté par une batterie interne, permettant une plus grande distance de fonctionnement, jusqu'à plusieurs kilomètres).

La durée de vie des tags passifs est presque illimitée alors que celle de ceux avec batterie peut varier de 3 à 10 ans. Les coûts sont entre 0,1 et 0,3 € pour un tag passif et vont de 15 à 80€ pour un tag actif. Le coût des lecteurs fixes et mobiles varie de 500 à 5000€, voire davantage en fonction de la complexité du système et du niveau d'automatisation.

La connaissance de la dernière position de lecture permet de localiser un tag RFID et de retracer des événements (comme dans le cas d'un code-barre), cependant le suivi



RFID



Produits chimiques



Éleveurs

Sources :
 • www.trovan.com
 • idele.fr

ne sera pas en temps réel. De plus, ceci nécessitera le déploiement de plusieurs portiques pour augmenter la couverture. Néanmoins, la géolocalisation en temps réel d'un tag RFID est rendue possible en ayant recours à 3 bornes (cfr. 3.1.21.).

On trouve des applications dans un grand nombre de secteurs (grande distribution, pharmaceutique, luxe, textile, industrie, automobile, aviation, etc.) pour optimiser les processus de production, suivre les opérations de manutention en entrepôt, localiser une remorque sur un parking ou un conteneur sur quai, gérer les inventaires, fournir une visibilité au niveau du produit, lutter contre le vol, la contrefaçon et les marchés parallèles, contrôler des accès, etc.

La technologie NFC (Near Field Communication) est dérivée de la technologie RFID et utilisée dans les cartes sans contact (paiement, titres de transport, etc.) et les téléphones compatibles. Les tags NFC échangent des données sur une distance très courte (quelques centimètres). Il y a un très grand nombre de fournisseurs de solutions RFID et NFC tels que Etilux, Turck, Primtec, Trovan, HID Global, etc.

Le code-barre est une solution alternative d'identification mais présente certains inconvénients par rapport au RFID, à considérer en fonction des applications : orientation face au lecteur et sans obstruction, présence de graisse, de peinture ou de poussière, risque d'effacement du code, condensation ou gouttes d'eau. De plus, la technologie RFID offre la possibilité de lire plusieurs tags en même temps et à grande vitesse (on peut avoir recours au procédé d'anti-collision pour éviter les erreurs²⁸).

28 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919305939>



Vins & spiritueux



Automobile



Gestion omnicanal

Sources :
 • selinko.com
 • label.averydennison.com
 • www.resourcelabel.com

1.1.18. INFRAROUGE

L'utilisation d'émetteurs et récepteurs infrarouge permet d'identifier et géolocaliser des équipements et personnes en intérieur tels que dans un hôpital. Il s'agit d'une technologie simple, automatique et adaptée pour réaliser une géolocalisation précise au niveau d'une pièce (quel équipement dans quelle pièce) puisque les rayonnements ne traversent pas les murs (évitant ainsi les faux-positifs inhérents à d'autres solutions de géolocalisation).

Le déploiement consiste en l'installation d'un émetteur infrarouge au plafond (chambres, salle d'attente, accueil, etc.) qui envoie son identifiant aux récepteurs positionnés sur les équipements, patients et personnels hospitaliers.

L'interaction est ensuite renvoyée au système central par WiFi, par exemple. On trouve parmi les fournisseurs Centrak²⁹ ou Midmark RTLS (US) qui fournissent également le logiciel de gestion des équipements et de visualisation.

Le prix des tags individuels est faible, cependant, le système nécessite le déploiement d'un réseau de boîtiers au plafond. Ce sera donc mieux adapté à des constructions neuves et profitable pour suivre des équipements de valeurs et dont la gestion de l'inventaire en temps réel (et l'historique) est nécessaire mais complexe, telle que dans un hôpital de grande taille. Le suivi de patients en intérieur devient automatiquement possible par ce système mais ne sera pas la motivation unique dans la mesure où d'autres solutions de suivi de personnes seraient moins onéreuses en termes d'infrastructure.

29 Brevets US10593187B2, US10609526B2



Emetteur



Tag pour équipement



Tag pour patient (31 jours)

Sources :
 • www.hfrmagazine.com
 • www.midmark.com
 • centrak.com

1.1.19. AUTRES CAPTEURS DE DÉTECTION DE PROXIMITÉ

L'utilisation de capteurs magnétiques, ultrasoniques, infrarouges et radar permet la détection en temps réel de véhicules positionnés sur une place de parking. Communitings, Parkki, Nedap, Bosch, etc. fournissent ces solutions de "parking intelligents". Ceci peut être utilisé pour contrôler les stationnements réservés aux livraisons, par exemple.

Border System a mis à profit la technologie UWB (Ultra Wide Band) pour assurer la distanciation sociale de 1,5 m entre travailleurs dans la construction, la logistique et l'entreposage, sans nécessité de les géolocaliser. Le bracelet informe le travailleur lorsque la distance n'est plus respectée. Rombit commercialise également ce

type de bracelet (990€ pour 10 bracelets). L'iPhone 11 est compatible UWB.

Des bornes de détection Bluetooth peuvent être placées au bord de la route afin de relever le passage des véhicules en détectant les connexions Bluetooth (kits mains-libres par exemple) et en notant les adresses MAC. Ceci permet de connaître les temps de parcours entre deux bornes et d'obtenir des statistiques sur les origines-destinations. Lacroix-City (FR) commercialise le boîtier BlueVia très basse consommation. Orange Traffic (US) est un autre exemple.

Amazon dispose d'un brevet³⁰ pour détecter la présence en entrepôt d'un employé en temps réel et suivre le mouvement de sa main. Le système utilise des capteurs de proximité ultrasons et avertit l'employé s'il s'apprête à manipuler le mauvais colis.

30 Brevets US10593187B2, US10609526B2



Parking intelligents



Bracelet distanciation sociale



Suivi du trafic

Sources :
 • www.communitings.com
 • www.border-system.be
 • www.orangetraffic.com

1.1.20. VISION INDUSTRIELLE

La vision industrielle (2D, 3D, thermique ou rayon X) a de multiples applications tout au long de la supply chain et joue un rôle clé dans l'automatisation de processus.

Il est possible de réaliser un suivi de la production en vérifiant la conformité d'un produit (analyse de forme, manque de matière, couleurs, qualité d'impression de dates ou codes-barres, etc.) et remonter la chaîne de production le cas échéant.

Les caméras facilitent le tri et le suivi de colis réceptionnés, expédiés ou retournés. La reconnaissance optique lit automatiquement des codes-barres, des adresses, des numéros de série, des plaques d'immatriculation. Ces techniques permettent de localiser des produits ainsi que du matériel de

production, des conteneurs et autres véhicules de transport. Certaines caméras mesurent le volume d'une palette et en estiment le poids. Des chariots élévateurs peuvent être équipés d'une caméra (connectée au WMS) pour déterminer la position où les palettes sont déposées et enlevées en entrepôt.

Parmi les fournisseurs de solutions, on trouve Zetes (BE), Visio Ing Consult (BE), Intermodalics (BE), Vitronic (DE), Rovitech (BE), Euresys (BE), etc.

Les caméras peuvent être utilisées pour gérer le stationnement de véhicules sur un parking public, en entreprise ou sur un site industriel. Une caméra suffit pour suivre jusqu'à 200 places, ce qui peut être plus intéressant que des capteurs individuels au sol.



Suivi de colis



Douane



Maladies infectieuses

Sources :
 • www.vitronic.com
 • www.heuresistech.com
 • intellope.com

Les douanes utilisent des systèmes de vision par rayon X pour lutter contre l'importation de stupéfiants dissimulés dans le flux logistique de marchandises légales, d'alcool ou cigarettes non déclarés ou de contrefaçon, d'argent liquide issu de la contrebande, etc. Les rayons gamma peuvent aussi être utilisés. Il existe des dispositifs mobiles, fixes ainsi que des portiques pour camions ou wagons de marchandises. A noter que l'organisation mondiale des douanes a mis en évidence³¹ plusieurs applications technologiques émergentes pour augmenter l'efficacité des contrôles de chargements telles que la scanographie par rayonnement neutronique, la tomographie par rayons cosmiques, l'analyse de vapeurs et la tomodensitométrie.

Les caméras thermiques permettent d'identifier les personnes présentant une température anormalement élevée dans des gares, aéroports et autres lieux publics et ainsi prévenir la transmission de maladies infectieuses telles que les Coronavirus, le SARS ou l'Ebola.

Metheore (spin-off de ULiège) développe une solution de vision industrielle pour l'industrie minière qui reconnaît la morphologie de pierres et de rochers. Ce suivi permet de détecter les problèmes en amont et d'adapter les processus le cas échéant.



³¹ Directives relatives à l'acquisition et au déploiement de matériel de scanographie/d'imagerie

1.1.21. LOCALISATION EN TEMPS RÉEL PAR ONDES RADIOS

A. GÉNÉRALITÉ ET GÉOLOCALISATION TERRESTRE

La localisation en temps réel (RTLS : Real Time Location System) à partir d'ondes radios peut se faire par différentes méthodes telles que :

- › Triangulation : Mesure de l'angle (AOA : Angle of arrival)
- › Trilatération : Mesure de la puissance (RSSI : Received Signal Strength Indicator)
- › Multilatération : Mesure du temps (TDOA : Time Difference Of Arrival)
- › Identification par cellule

Pour obtenir une géolocalisation "outdoor", on peut avoir recours aux réseaux satellites (GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, BeiDou et NavIC), mobiles (GPRS, 3G, 4G, 5G) voire IoT (LoRa, Sigfox).

Au niveau satellitaire, le GPS fournit une précision de l'ordre de 3 à 20 mètres et Galileo peut descendre en-dessous du mètre. Le signal transmis par les satellites est assez faible, et ne traverse pas les bâtiments ni le métal. Une dégradation de la précision peut avoir lieu en cas de météo humide, présence de bâtiments ou de montagnes ou d'éruptions solaires. Un autre inconvénient est la forte consommation énergétique. La position GPS peut être directement communiquée, au chauffeur par

exemple, ou transférée par différentes technologies de transmission de données telles que les réseaux mobiles ou IoT (cfr. 3.2.). Le GPS G120 de Digital Matter peut communiquer sur les réseaux 2G ou 4G LTE-M NB-IoT et est compatible avec le module Iridium Edge. Parmi les applications classiques, on trouve le guidage d'un point A à un point B, le suivi de flottes de véhicules ou d'équipements, le suivi de la progression d'une livraison, etc.

Les réseaux mobiles peuvent aussi être utilisés pour acquérir une donnée de position en temps réel par l'intermédiaire des antennes relais. La précision (sans GPS) dépend de la densité des antennes et variera d'une centaine de mètres (zone urbaine) à 10 km (zone rurale) pour le GPRS, 3G ou 4G, soit nettement inférieure à la géolocalisation par réseau satellitaire. Les qualités intrinsèques du réseau 5G (bande passante, latence, etc.) et à priori une plus grande densité d'antennes fourniront une plus grande précision de géolocalisation sans GPS. La 5G devrait aussi améliorer les performances de l'A-GPS (cfr. 3.1.18.2 ci-dessous). Il est attendu que la 5G permette d'atteindre une précision en-dessous du mètre, d'où l'intérêt pour des applications de véhicules autonomes, par exemple.

Bien qu'habituellement utilisées pour la transmission de données générées par des objets connectés, il est également possible de déterminer une position en extérieur en utilisant les bornes des réseaux IoT.

La géolocalisation sans GPS en LoRa est plus précise (de 20 à 200 mètres en fonction du nombre d'antennes) que celle de Sigfox (de 10 à moins de 1 kilomètre).

Lorsque l'accès à ces réseaux n'est pas disponible (en intérieur, dans un aéroport, un parking, un entrepôt, un centre commercial ou un hôpital, par exemple), la géolocalisation en temps réel pourra se faire par des réseaux sans fil tels que Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee et UWB (Ultra Wide Band) ou grâce à la technologie RFID.

L'avantage du Wi-Fi est la possibilité d'exploiter plusieurs points d'accès de réseaux existants (Wi-Fi Round Trip Time ou Wi-Fi RTT). Ceci permet de cartographier en temps réel les flux de personnes circulant sur un site couvert à partir de connexions émises par leurs smartphones ou d'assurer la géolocalisation de dispositifs track & trace. Ce procédé est utilisé par SigFox (Atlas Wi-Fi) pour assurer la continuité du suivi indoor/outdoor de marchandises. L'application Wi-FiRttScan de Google, destinée aux développeurs, permet de se localiser en intérieur avec une précision d'1 à 2 mètres (la position n'étant accessible qu'à l'appareil localisé et non aux bornes Wi-Fi). Lors d'un déploiement en entreprise, il faut être vigilant à ne pas perturber l'installation Wi-Fi existante et il est généralement nécessaire d'avoir recours à des bornes spécifiques ainsi qu'à un software dédié. Les tags Wi-Fi coûtent entre 30 et 100€ et sont très consommateur d'énergie.

La géolocalisation par Ultra Wide Band (UWB) fournit une très haute précision de 10 à 30 cm, une latence d'acquisition de la position très faible (jusqu'à 100 fois par seconde) et la possibilité de mesurer la hauteur avec précision. Border System (BE), Rombit (BE), Pozyx (BE), Ubisense (UK), IIDRE (FR), Decawave (IR), Sewio Networks (CZ), UWINLOC (FR) ou BeSpoon (FR) déploient de telles solutions de géolocalisation en temps réel. Il suffit de délimiter une zone dans laquelle les produits doivent être suivis, en les équipant d'un tag possédant un numéro de série unique. Ceci permet de suivre des pièces, du matériel roulant ou des marchandises mais également des personnes pour éviter qu'elles accèdent à certaines zones (visiteurs). Un tag coûte entre 20 et 40€ et un point d'accès environ 200€.



La précision fournie par une géolocalisation Bluetooth est de 1 à 5 m (dépend du nombre de bornes). Des tags peuvent être fixés sur des équipements ou des personnes pour les suivre en temps réel. Il est également possible de faciliter les inventaires et de prévenir les vols, bien que d'autres solutions soient plus appropriées. Polestar.eu est spécialisé dans les solutions Bluetooth avec notamment des solutions combinant la navigation en intérieur et l'assistance aux voyageurs telles qu'en aéroport (Aéroports de Paris) ou en gare (SNCF). Un tag coûte entre 15 et 50€ et une borne de l'ordre de 100€.

La technologie RFID a été abordée à la section 3.1.17. La géolocalisation par 3 bornes est également possible mais le principal inconvénient est le besoin de déployer une infrastructure dédiée et le prix des lecteurs. Des sociétés offrent des solutions combinant l'ensemble de ces possibilités de géolocalisation en temps réel pour l'intérieur telles que Ubudu (FR), Zozio (FR) ou InfSoft

(DE). Les fournisseurs de solutions permettant un suivi en intérieur et extérieur incluent, entre autres, Actility (Abeeway), Engie M2M (shr-loc, SensaTag, etc.), Proximus, Ubidata.

Des solutions autonomes telles que Abeeway ou Shr-loc combinent plusieurs technologies (Bluetooth, Wi-Fi, GPS, LPWAN) avec la particularité de pouvoir fonctionner en cascade. Actility travaille à la miniaturisation du tracker Abeeway afin d'obtenir un système sur puce ("system on a chip") facilitant l'intégration par d'autres fabricants de solutions. A noter qu'il est possible de géolocaliser un utilisateur connecté à Internet en suivant son adresse IP. Cependant, la localisation de l'ordinateur ou du téléphone est approximative et généralement au niveau d'une ville.



Abeeway
(IP68, certifié ATEX)



SensaTag



Capteur Sensolus

Sources :

- www.saelig.com
- partners.sigfox.com
- www.sensolus.com

Le tableau ci-dessous récapitule les principales technologies de localisation en temps réel par ondes radios. Des informations supplémentaires sont fournies à la section se rapportant à la transmission de données (cfr. 1.2. p55).

	Application	Précision (m)	Portée (m)	Pénétration des bâtiments
RFID	intérieur (extérieur)	1 - 10	1 - 100	moyen
Bluetooth	intérieur (extérieur)	1 - 5	15 - 100	bon
UWB	intérieur (extérieur)	0,1 - 0,3	70 - 200	moyen
Wifi	intérieur / extérieur	2 - 15	50 - 150	bon
LPWAN (IoT)	intérieur / extérieur	10 - 1.000	1.000 - 40.000	bon
Cellulaire	extérieur	200 - 10.000	1.500 - 30.000	moyen
GNSS (GPS)	extérieur	1 - 20 (0,01 corrigée)	globale	mauvais

B. AMÉLIORATION DE LA PRÉCISION ET CORRECTION GNSS

La précision du GPS/GNSS peut être améliorée en utilisant différentes techniques.

Un dispositif équipé de l'A-GPS (Assisted GPS) peut utiliser une connexion GPRS, 3G/4G, Wi-Fi ou LoRa afin d'accéder aux données orbitales stockées par les opérateurs mobiles. Ceci améliore le temps d'acquisition et la précision. Le coût est habituellement celui d'une connexion "data".

L'utilisation de puces bi-fréquence permet de recevoir deux signaux d'un satellite à 2 fréquences différentes (on parle de multi-fréquence sur 3 fréquences, voire plus) réduisant les problèmes liés aux "multi-trajets" tels que dans les villes (réflexion sur un obstacle). Il y a un nombre croissant de smartphones³² équipés de ce type de système.

³² <https://www.usegalileo.eu/EN/inner.html#data=smartphone>

Les systèmes de navigation inertielle utilisent l'information de plusieurs capteurs (tel qu'un MEMS cfr. 3.1.13.) pour calculer la position actuelle même lorsque le positionnement par GPS est difficile ou impossible.

La technologie RTK (Real-Time Kinematic) requiert une base de référence (où l'erreur GNSS est calculée) et un récepteur situé à l'endroit dont on souhaite connaître la position. La distance entre la base et le récepteur doit être inférieure à 10-20 km. Plus cette distance sera faible, plus la position fournie sera précise. Cela permet d'obtenir une excellente précision de l'ordre du centimètre.

Les systèmes RTK sont, par exemple, utilisés lors du guidage automatique de machine agricole (évitant par exemple l'épandage d'engrais deux fois au même endroit). Un récepteur peut coûter 4.000€. Le réseau WALCORS dispose de 23 stations³³ réparties sur la Wallonie.

³³ <https://gnss.wallonie.be/walcors/stations/stations-supplementaires.html>



Base RTK Sart-Tilman



Drone RTK avec base mobile



Autoguidage RTK

Sources :
• gnss.wallonie.be
• www.dji.com

L'accès au réseau WALCORS est un service offert gratuitement par le Service Public de Wallonie pour les utilisations de type «positionnement». Seuls les frais de communication (Internet mobile) sont alors à charge de l'utilisateur, via son opérateur téléphonique. Les utilisations de type «autoguidage» sont possibles via les sociétés DrivenBy et MoveRTK (autour de 600€/an/récepteur). Il est également possible de déployer sa propre balise de référence RTK. Parmi les fournisseurs de solution, on trouve CGEOS (BE), Allterra Belux (BE), Trimble, Septentrio, Leica Geosystems, Magellan Navigation, etc.

La technique de positionnement PPP (Precise Point Positioning) fournit une précision de 3 à 10 cm, après une lente initialisation de 20 à 40 minutes mais, nécessite uniquement un seul récepteur GNSS. Les fournisseurs de services PPP sont Hexagon/VERIPOS/TerraStar, Trimble/OmniSTAR, NavCom/StarFire et Fugro/StarFix. Ils opèrent un réseau de stations de références terrestres qui collecte des données des différents GNSS. Les corrections sont ensuite calculées à partir de ces données et transférées, via des satellites géostationnaires (ou par Internet), aux récepteurs GNSS des utilisateurs payant pour le service de correction. StarFire fournit un service partout dans le monde sur terre ou sur mer entre la latitude 72N et 72S avec une précision de 5 cm.

Des recherches combinant ces différentes techniques visent à diminuer les coûts tout en augmentant la précision et la vitesse d'initialisation et ainsi permettre davantage d'applications (véhicules autonomes, drones, etc.).

Il existe d'autres techniques de correction GNSS telles que la solution hybride RTK-PPP (nécessitant une base de référence à moins de 150 km du récepteur), le GNSS différentiel (nécessitant également une base) et le SBAS (similaire que le PPP, avec une précision de 2 mètres, régional mais gratuit).

La correction GNSS est un marché à part entière en pleine expansion. Certains fournisseurs de récepteurs GNSS forcent à utiliser un type de service de correction ("vendor lock-in"), alors que d'autres ont des solutions plus ouvertes.

Le projet SaMoLooP (Satellite Monitoring for Logistics Optimisation), terminé en mars 2020 et mené par Ovinto (BE) en partenariat avec l'ESA, visait à tester un service de logistique ferroviaire en utilisant des communications satellitaires et des positions GNSS précises.

OSCARS (BE) dispose d'une expertise en géolocalisation GNSS et technologies permettant d'augmenter la certitude de la position. D'autres fournisseurs de technologies de localisation haute précision identifiés sont GeoFlex (FR) et Rokubun (SP).

C. GÉOLOCALISATION FLUVIALE ET MARITIME

Le radar (Radio Detection and Ranging) est utilisé pour détecter la présence de navires et en déterminer la position (la distance est obtenue grâce au temps aller/retour du signal et la direction grâce à la position angulaire de l'antenne où le signal de retour a été capté) ainsi que la vitesse (avec le décalage de fréquence du signal de retour généré selon l'effet Doppler). Ces radars ont des caractéristiques propres (les navires ont des formes variables, sont balancés sur 3 axes, peuvent être masqués par la houle, etc.).

La portée maximale du radar est déterminée par la puissance de l'émetteur et la sensibilité du récepteur. Celle-ci sera aussi impactée par les conditions atmosphériques et par la courbure de la terre (un radar

fixé à 4 m au dessus de l'eau aura une portée maximale de 8 km). La détection sera difficile sur des navires peu réfléchissants (les bateaux furtifs ont des surfaces constituées de plusieurs angles différents et sont enduits d'une peinture spéciale qui absorbe les signaux).

Les navires fluviaux sont aussi équipés de radars. De plus, des radars de rive peuvent être utilisés pour les sections fluviales difficiles ou encombrées afin de fournir aux centrales de trafic une situation en temps réel plus précise.

Les navires maritimes et fluviaux ont la possibilité de communiquer leur position obtenue par GPS et leur identité grâce au système AIS (Automatic Identification System) qui est un système automatisé d'échange de messages électroniques par ondes radio VHF entre navires et avec les stations terrestres. Tous ne doivent pas en être équipés³⁴.

³⁴ <http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Navigation/Pages/AIS.aspx>



Radar



AIS



Récepteur GNSS

Sources :

- www.furuno.com
- www.mediawinkel.eu
- insidgnss.com

Il existe des AIS récepteurs uniquement, qui permettent seulement de positionner les navires équipés, et les AIS transpondeurs (émetteurs et récepteurs) qui permettent de positionner les navires aux alentours et d'émettre les coordonnées de son propre navire, donc d'être vu. L'AIS est complémentaire au radar puisqu'il permet de visualiser les navires qui sont hors de portée du radar. Des systèmes AIS sont aussi installés sur des bouées ou des phares afin de les identifier plus rapidement.

L'augmentation de la précision de la géolocalisation par GPS est nécessaire au déploiement de la navigation autonome maritime ou fluviale (où le passage des écluses se fait au mètre près). Il s'agit alors d'utiliser les solutions présentées à la section précédente (RTK, PPP, Multi-GNSS, navigation inertielle) également appliquées au secteur fluvial et maritime.

Les fournisseurs de systèmes radars, GPS et AIS sont Furuno, Navico, Novatel, VERIPOS, etc. Il est possible de consulter la position de navires via des sites qui exploitent les données AIS tels que MarineTraffic, VesselFinder, ShipFinder, Canaleye, FleetMon et offrant des versions gratuites mais aussi payantes jusqu'à 600€/mois.

Les signaux AIS ont une portée horizontale de l'ordre de 75 km. En mer, ils servent donc à communiquer la position près de la côte ou entre navires. Il est alors nécessaire

d'avoir recours au système SAT-AIS (Space-based AIS) permettant de transmettre la position de navires équipés du système AIS. Le déploiement de SAT-AIS s'inscrit dans le cadre du programme ARTES (Advanced Research in Telecommunications Systems) de l'ESA. Les services sont fournis par des sociétés telles que CLS (filiale du CNES) ou LuxSpace (groupe OHB) et incluent la validation de l'intégrité de la position mais aussi des solutions de suivi de navires, de zones océaniques stratégiques, de pêche illégale, etc.

Les navires fluviaux bénéficient en Europe de services RIS (River Information Services) qui facilitent la gestion du transport fluvial, y compris à l'interface avec d'autres modes de transport. Ceci permet le développement de solutions de traçabilité, de géolocalisation des éléments sur la voie d'eau, d'organisation et de suivi des voyages, de calcul de l'heure d'arrivée, de gestion du trafic, de suivi de marchandises dangereuses, de prévention d'accidents, de perception des redevances de voies navigables et taxes portuaires, etc. Les solutions RIS utilisent notamment le système AIS intérieur.

Enfin, les réseaux terrestres mobiles ou IoT peuvent aussi être mis à profit pour la navigation sur les eaux intérieures.

35 <https://aireon.com/services/globalbeacon/>

D. GÉOLOCALISATION AÉRIENNE

En contrôle aérien, un radar primaire surveille le ciel (notamment pour suivre les cibles potentiellement non-coopératives) et un radar secondaire reçoit des informations supplémentaires du transpondeur de l'avion telles que l'altitude et l'identité. Les radars primaires fournissent une position approximative. Les radars secondaires peuvent situer de manière spatiale un avion. Les radars ont une portée de l'ordre de 300 km et restent actuellement la première solution de contrôle aérien.

Les avions obtiennent leur position par un système GPS/GNSS. Le secteur aérien bénéficie aussi des solutions d'amélioration de la précision et correction GNSS présentées précédemment. Ceci est nécessaire lorsque le signal GNSS est perdu ou en phase d'approche. Ils peuvent ensuite transmettre leur position GNSS périodiquement au sol (ou à d'autres avions dans la zone) grâce au système ADS-B (Automatic dependent surveillance-broadcast). Ce système est capable de remplacer les radars secondaires. Le contrôle aérien par ADS-B va se développer davantage, cependant, la portée est aussi limitée (de l'ordre de 350 km) et ne convient pas au-dessus de la mer. L'ADS-B est utilisé par les sites tels que Flightradar24 ou Flightaware.

Il existe aussi le système ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System) qui permet aux ordinateurs de bord de transmettre des informations aux ordinateurs au sol. Les messages peuvent être transmis par radio ou par satellite. Un des objectifs est notamment de faciliter le suivi et la planification de la maintenance des avions.

Un nouveau service satellitaire (Space-based ADS-B) opéré par Aireon utilise la constellation Iridium Next pour permettre le suivi d'avions au-dessus de l'océan et de zones qui n'étaient pas couvertes. Eurocontrol est devenu client d'Aireon en 2020.

Aireon et Flightaware ont noué un partenariat afin de développer une solution³⁶ fournissant une position au moins par minute et avec une couverture mondiale, y compris au-dessus des zones les plus reculées. Ceci répond notamment à la nouvelle réglementation GADSS (Global Aeronautical Distress & Safety System).

L'ensemble des solutions augmentant la visibilité et la précision de positionnement en temps réel vont permettre aux contrôleurs de progressivement réduire les distances de sécurité entre avions et donc, de réduire les temps d'attentes et d'optimiser les flux. Ceci augmentera également la rapidité d'intervention lors d'accidents d'avions.

³⁶ <https://aireon.com/services/globalbeacon/>

1.1.22. OBSERVATIONS SATELLITES

Le programme Copernicus offre des services d'information basés sur les données d'observation de la Terre ainsi que des données in-situ. Les données sont fournies gratuitement³⁷. Les données in-situ sont issues de stations terrestres, maritimes ou dans les airs, collectant et transmettant des données issues de multiples capteurs. Les services Copernicus se basent sur l'extraction d'intelligence des données collectées et ce dans plusieurs domaines dont l'agriculture (estimation de la production, suivi des feux de forêt, monitoring de la végétation et des cultures, surveillance de la sécheresse, suivi de l'état des pistes et routes). OSCARS dispose d'une expertise en imagerie satellitaire.



³⁷ <https://www.copernicus.eu/en/access-data>

1.1.23. DOCUMENTATION DE TRANSPORT

Certains documents de transport répondent à des exigences réglementaires ou douanières et d'autres permettent d'objectiver les relations entre prestataires (facture, bon de commande, note de livraison, CMR, certificat ADR, Bill of Lading, certificat d'origine, etc.). Leur digitalisation n'est pas traitée dans cette étude mais il est nécessaire d'en souligner son importance puisque c'est un élément essentiel au développement de solutions de traçabilité. Le travail à réaliser est technologique mais également réglementaire au niveau national, européen et international.





1.2. TRANSMISSION DE DONNÉES

Dans certains cas, les données générées par les solutions de traçabilité doivent ensuite être acheminées jusqu'à l'utilisateur, stockées ou traitées.

Une première comparaison a été fournie précédemment (cfr. 1.21.). Cette section-ci fournit des informations complémentaires au sujet des transmissions LPWAN, cellulaires et satellitaires.

1.2.1. LPWAN

Les réseaux LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) sont spécifiquement dédiés aux échanges dans le domaine de l'internet des objets. IoT Analytics prévoit plus de 20 milliards d'objets connectés déployés dans le monde d'ici 2025, dont 2 milliards connectés via LPWAN.

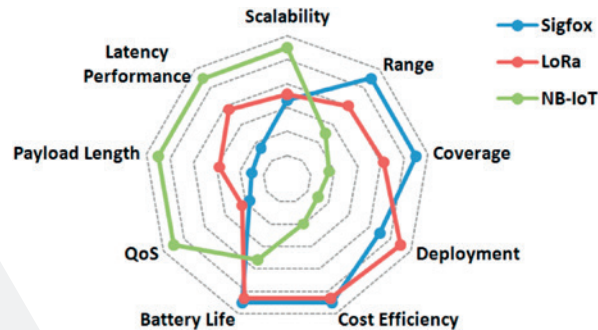
Le marché est principalement consolidé autour de quatre technologies : SigFox et LoRa qui sont non-cellulaires et, NB-IoT (Narrow Band Internet of Things) et LTE-M (Long Term Evolution-M) qui sont cellulaires. Les technologies IoT NB-IoT et LTE-M sont déjà compatibles avec la technologie 5G.

Ces réseaux ont les caractéristiques suivantes :

- › La portée des données est grande ;
- › Leur consommation d'énergie est faible (300 fois moindre qu'une puce GSM) ;
- › Le débit d'information est faible ;
- › Ils peuvent fonctionner sur piles pendant une longue durée (jusqu'à 10 ans) ;
- › Les chipsets ont un très faible coût de fabrication (quelques euros) ;
- › Le signal peut pénétrer les bâtiments et atteindre les sous-sols (NB-IoT assure une pénétration plus importante à l'intérieur des bâtiments ou en sous-sol grâce à sa bande étroite de 180 kHz), cependant, le déploiement d'un réseau privé additionnel peut être nécessaire.

TABLEAU COMPARATIF

	Sigfox	LoRa	NB-IoT / LTE-M
Application	intérieur / extérieur	intérieur / extérieur	intérieur / extérieur
Précision du positionnement (m)	10 - 1.000	20 - 200	30 - 50
Portée (m)	10.000 - 40.000	5.000 - 15.000	1.500 - 10.000
Standard	propriétaire	ouvert	ouvert
Taille des données	12 octets	51 - 243 octets	1.600 octets
Débit	100 - 600 b/s	0.3 - 50 kb/s	20 - 250 kb/s
Opérateur	Engie M2M	Proximus	Orange
Roaming	oui	non	non



Source : A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment³⁷

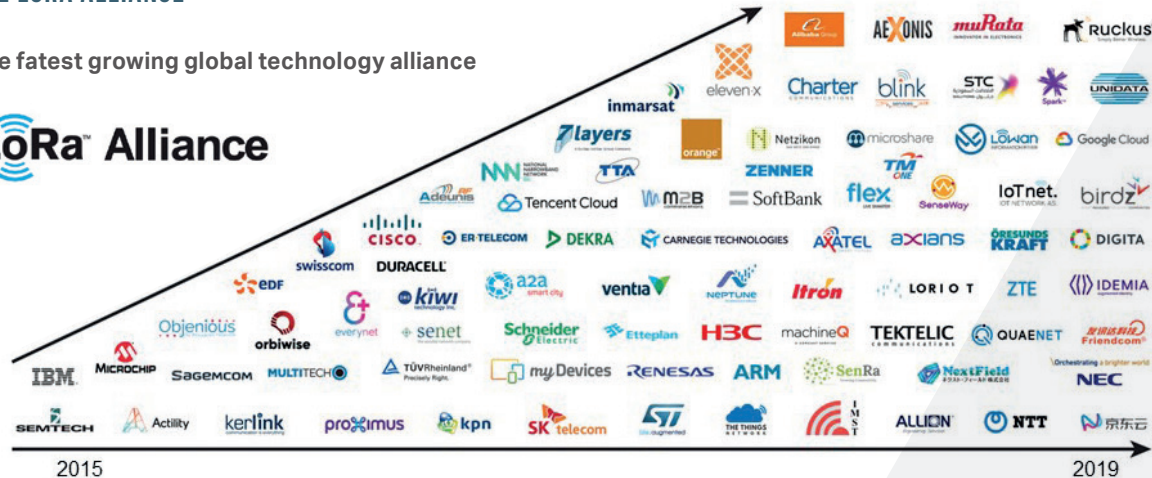
37 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517302953>

Les couvertures nationales et internationales restent limitées dans plusieurs zones (souvent différentes entre théoriques et réelles), rendant certaines applications mobiles difficiles mais, sont continuellement améliorées par les opérateurs.

Outre les opérateurs, plusieurs fournisseurs permettent le déploiement d'infrastructures (publics et/ou privées) de transmission de données.

THE LORA ALLIANCE

The fastest growing global technology alliance



Source : <https://www.advantech.com.es/resources/news/6334ea45-098e-4081-8ad2-f8cbfe16c6e0>

1.2.2. CELLULAIRE

Tableau comparant les débits cellulaires :

	Fréquence	Débit	Applications
GPRS	0,9 - 1,8 GHz	20 - 170 kbps	Téléphonie et messages courts
3G	0,9 - 2,1 GHz	0,15 - 2 Mbps	Vidéo-conférence
4G	0,8 - 2,6 GHz	10 - 150 Mbps	Applications à haut-débit
5G	3,5 - 26 Ghz	1 Gbps	Vidéo haute résolution et contrôle de véhicules ou robots

Les technologies de transmission cellulaires GPRS ou 3G sont suffisantes pour la majorité des applications de traçabilité. Cependant, la 5G est intéressante pour les solutions IoT parce que son déploiement sera beaucoup plus suivi, régulier et rapide compte tenu de l'impact grand public (ce qui n'est pas le cas pour les technologies LPWAN). De plus, au-delà des avantages tels que rapidité, faible latence et disponibilité, la technologie 5G présente l'avantage d'être "cloud-native" (tout comme la technologie 4G) permettant le déploiement de réseaux 5G privés sans intervention d'un opérateur mobile et donc moins cher qu'un réseau privé 3G.



1.2.3. SATELLITE

Iridium Edge est un module satellite clé en main pour application IoT/M2M opérant sur le réseau Iridium, adapté pour les applications de traçabilité dans les régions reculées. Le coût du module est de 500€. Les données peuvent être envoyées via le service Iridium Short Burst Data commercialisé en Belgique par Marlink et SITA.aero (45 € d'activation et 600€/an pour 30k octets par mois).

Les projections prévoient 30 millions d'objets "IoT satellite" au monde d'ici 2025. Kinéis (FR) opérera une constellation de 25 nanosatellites en orbite d'ici 2022 pour fournir une connectivité IoT. Hiber (NL), Astrocast (CH), Fleet Space (AU), Kepler Space (CA) sont d'autres startups positionnées sur le segment des satellites pour applications IoT. Actility collabore avec Hiber au déploiement d'infrastructures réseaux



Iridium Edge

Source :
• www.iridium.com

satellites LPWAN. Lacuna Space (UK) développe avec Semtech Corporation (propriétaire de la propriété intellectuelle LoRa) des récepteurs satellitaires très sensibles permettant de recevoir et décoder des signaux directement des capteurs IoT sans passer par un gateway, réduisant le coût et la complexité des systèmes.



1.2.4. SOLUTIONS TÉLÉMATIQUES

La télématique a pour objet la transmission longue distance de l'information informatisée et est utilisée dans les véhicules.

Les appareils permettent de transmettre en temps réel des données (surveillance de capteurs filaires ou sans fil, CAN, diagnostique, style de conduite, accès au temps de conduite, etc.) et de communiquer avec le conducteur par messagerie. Les données remontées à l'entreprise permettent de mieux interagir avec le personnel et de contrôler sa flotte. Par exemple, une mauvaise pression des pneus d'un camion aura un impact sur la consommation qui peut devenir conséquent pour toute une flotte.

Les fournisseurs incluent Trimble, Transics, Vehco, Eliot, Astrata, Idem Telematics, Truck Online, Scania Fleet Management ou Renault Trucks.

Les réseaux utilisés pour transmettre l'information sont habituellement cellulaires. Les boîtiers sont aussi équipés de Bluetooth, voire de wifi. Tous reçoivent le signal GPS.

Sources :
 • truckonline.pro
 • www.trimbletl.com
 • news.trimbletl.com
 • www.transics.com



Truck Online



Trimble



Transics



Connectic

Connectic commercialise des balises qui se branchent directement à la batterie du véhicule et transmettent en 2G des données d'activité (position, vitesse, accélération, etc.). Ceci permet des applications d'eco-driving (cfr. longévité de la flotte), d'assurance, etc. Ces balises sont aussi compatibles bluetooth afin de récolter des informations supplémentaires sur des équipements avoisinant ou des personnes (contrôle de prestations). Une application web dédiée visualise les données.

Le système intégré SAM (Safety & More), nom commercial d'AG insurance du système ConnectMy.car de Proximus et Touring, collecte en temps réel et transmet les données de véhicules qui incluent la localisation, des informations techniques sur le véhicule (comme l'état du moteur) et des informations sur la conduite du véhicule (comme les accélérations

ou freinages soudains). Ces données sont traitées par AG insurance et partagées avec ses partenaires Proximus et Touring par l'intermédiaire d'une plateforme sécurisée. Le système SAM permet d'atteindre notamment les finalités suivantes : établissement de statistiques afin d'améliorer les offres commerciales d'AG Insurance, coordonner les interventions techniques en cas d'assistance routière, informer le conducteur sur son style de conduite au travers d'une application smartphone.



ConnectMy.car

Source :
• www.iridium.com



1.3. BASE DE DONNÉES

Les données transmises peuvent être stockées sur un serveur centralisé, local ou dans le Cloud, mais également décentralisées comme une blockchain.

1.3.1. CLOUD

La télématique a pour objet la transmission longue. Les fournisseurs de solutions Cloud sont Microsoft, Amazon, SAP, IBM, Oracle, Google, Orange Business Services, Alibaba, etc. Ceci permet d'y stocker les données ainsi que des applications. L'avantage est de pouvoir facilement adapter l'infrastructure en fonction des besoins (ex : saisonnalité, augmentation/réduction du nombre de clients) et de bénéficier de services additionnels allant de la sécurité à des algorithmes pointus de machine learning (ex : Microsoft Azure Machine Learning) ou de reconnaissance d'images (ex : Amazon Rekognition). Il s'agit d'infrastructures IT à la demande.

Plus spécifiquement, il existe des infrastructures Cloud dédiées à la supply chain telles que Oracle Cloud SCM ou SAP SCM qui sont destinées à suivre chaque étape de la supply chain. Une gestion centralisée et coordonnée dans le Cloud permet de remonter la supply chain et,

par exemple, d'identifier exactement où, quand et comment le problème a eu lieu lorsqu'un consommateur n'est pas satisfait d'un produit. Il sera précieux pour un producteur de pouvoir rétrospectivement analyser les données issues : de ses fournisseurs, de capteurs installés sur sa chaîne de production, de bons de commandes, de ses transporteurs et distributeurs jusqu'au consommateur insatisfait et ainsi que de l'éventuel retour du produit.

Le Cloud est utilisé par des TMS (transport management systems) tels que Urbantz, Dropon, Xeolis (It-Optics), Cloud Logistics ou Kuebix. Les WMS (warehouse management systems) utilisent progressivement les infrastructures Cloud mais le besoin se fait moins ressentir dans le cas où il s'agit d'une gestion locale et interne.

Depuis janvier 2020, Iridium CloudConnect offre une solution Cloud satellitaire en partenariat avec Amazon Web Services (AWS).

1.3.2. DÉCENTRALISÉE

Sia.tech ou Storj.io sont des solutions de stockage décentralisé sécurisé par la technologie blockchain.

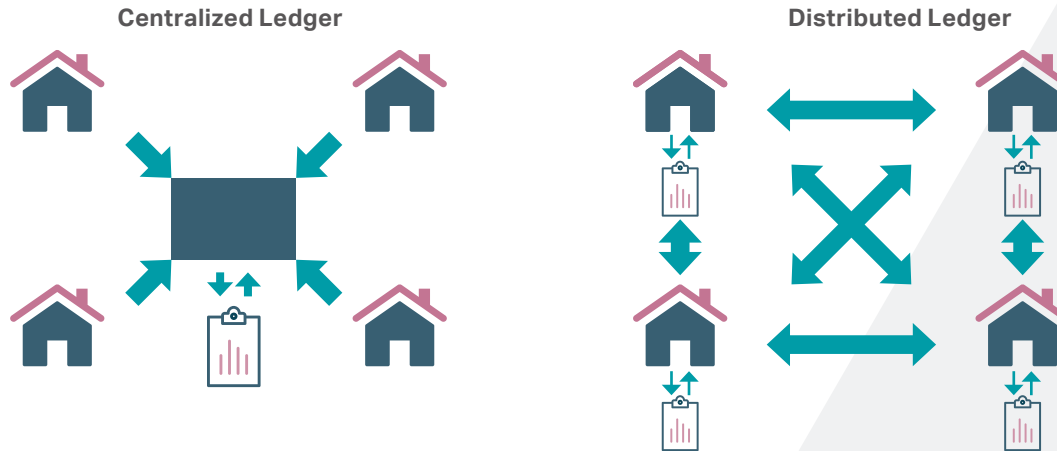
Contrairement aux bases de données traditionnelles, la technologie blockchain permet de construire des bases de données :

- › **Décentralisées** : différents exemplaires des données existent simultanément sur différents ordinateurs

communément appelés « nœuds » du réseau. Il n'y a aucun intermédiaire.

- › **Infalsifiables** : chaque modification apportée à la base de données doit être approuvée et vérifiée par une communauté de pairs. Il est possible à chaque instant, de retracer l'historique de l'ensemble des modifications apportées à la base de données depuis sa création.
- › **Sécurisées** : par un système de cryptographie dite « asymétrique ».

Comparaison entre bases de données centralisées et décentralisées³⁸



³⁸ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804520301302>

Il existe des blockchains publiques, ouvertes à tous (telles que Bitcoin et Ethereum), des blockchains privées (principalement utilisées par des entreprises), dont l'accès et l'utilisation sont limités à des acteurs autorisés à participer au réseau et, des blockchains de consortium.

La blockchain peut être utilisée pour :

- › Effectuer des transferts d'actifs ;
- › Assurer une meilleure traçabilité des actifs ;
- › Exécuter automatiquement des contrats tels que les Smart Contracts.

Hyperledger est une plateforme open source, centrée sur le développement d'un ensemble de frameworks, d'outils et de bibliothèques permettant de déployer des blockchains orientées entreprises. Ce projet a été lancé en décembre 2015 par la fondation Linux. Hyperledger est fortement utilisée pour le secteur de la logistique.

Ambrosus est une blockchain dédiée au secteur pharmaceutique, agroalimentaire, chimique et du luxe qui permet de connecter des solutions de capteurs (IoT, biocapteurs, etc.). Les données de traçabilité telles que de temps, température ou relative aux produits sont authentifiées. Les protocoles permettent aussi la mise en place de smart contracts entre les producteurs et leurs fournisseurs. Ambrosus³⁹ utilise la technologie Parity Ethereum.

OriginTrail, Everledger (connu pour la traçabilité des diamants et éviter le travail forcé) et VeChain sont d'autres solutions blockchain dédiées à la supply chain. iRide est (était) une solution de voitures avec chauffeur où la blockchain vise à normaliser le contrôle qualité, augmenter la sécurité des passagers et à simplifier les transactions via smart contracts. Ce type de technologie pourrait être utilisé pour suivre les relations et les transactions entre parties prenantes de voitures autonomes partagées⁴⁰.

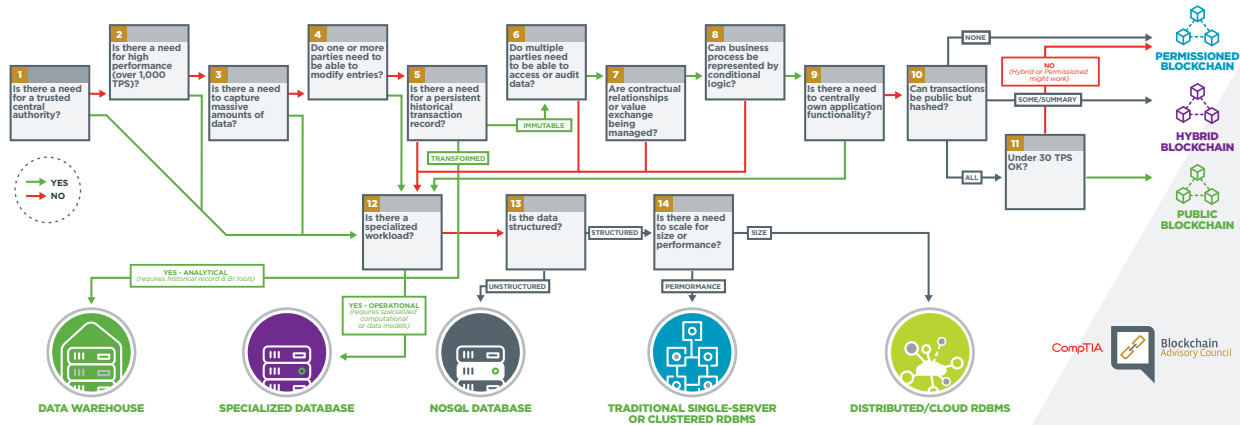
Les acteurs pouvant aider à l'analyse et à la mise en place d'une solution blockchain incluent IBM ainsi que Chainage Digital, Block0, etc.

³⁹ <https://ambrosus.com/assets/en/-White-Paper-V8-1.pdf>

⁴⁰ <https://www.researchgate.net/publication/336230006>

Le choix d'une technologie blockchain peut être orienté grâce à un arbre décisionnel⁴¹ :

WHEN IS BLOCKCHAIN OR ANOTHER DATABASE THE RIGHT CHOICE?*



*Intended as a guideline to which database may best suit the business purpose. IT professional will need to evaluate full business requirements to finalize determination.

⁴¹ <https://www.comptia.org/content/infographic/blockchain-decision-tree>

Tilkal (FR) propose au secteur agroalimentaire une traçabilité tout au long de la supply chain de lots, palettes ou camions frigorifiques lors des phases de production, réception, expédition ou destruction, en intégrant des données IoT, WMS, saisie manuelle, etc.

Un brevet⁴², publié en 2019, vise à connecter des informations obtenues d'un code-barre ou d'un tag RFID avec une blockchain en vue de vérifier l'authenticité ou la provenance d'objets physiques avant l'achat.

TrackMatriX de NanoMatriX lutte contre la contrefaçon en connectant IoT, QR code et tag NFC et blockchain. Les secteurs visés sont : luxe, pharmaceutique et cosmétique, vins & spiritueux et produits électroniques.

Avery Dennison et Everledger apportent l'authentification de la provenance avec la technologie blockchain dans le secteur du vin.

Le fabricant hollandais de tag RFID Smartrac (racheté par Avery Dennison en mars 2020) et la startup Citizens Reserve ont co-développé une blockchain et une plateforme digitale pour sécuriser la traçabilité des assets logistiques. Les tags Smartrac que l'on retrouve notamment sur les produits Adidas ou Alibaba pourront être référencés dans la blockchain. Ils deviennent alors des objets connectés uniques, dont les données ne

peuvent pas être altérées, modifiées ou perdues. Ils ont annoncé en mai 2020 l'utilisation de la solution pour authentifier les kits de testing COVID-19 ainsi que les équipements individuels de protection.

p-Chip⁴³ est une puce de la taille d'un grain de riz dont les données lues par un lecteur peuvent être intégrées dans une blockchain en vue de vérifier l'authenticité d'un produit le long de la chaîne d'approvisionnement. Le niveau de maturité commerciale n'est pas clair mais il semble que ce soit utilisé au sein de développements dans les secteurs pharmaceutiques et automobiles.

Comunicare est une solution d'accompagnement thérapeutique. Le suivi du patient assure un meilleur respect du traitement et une plus grande chance de survie. La solution utilise la technologie blockchain pour garantir le consentement des différents acteurs dans le partage des informations, via des smart contracts.

Au niveau européen, l'EBSI (European Blockchain Services Infrastructure) est un réseau de noeuds distribués qui sera utilisé pour fournir des services publics aux gouvernements et citoyens. Le projet H2020 eSSIF-lab vise à accélérer le déploiement et l'adoption de technologies SSI (Self-Sovereign Identities) à des fins d'identification digitale et de suivi de transactions électroniques (diplômes, TVA, signatures, etc.).

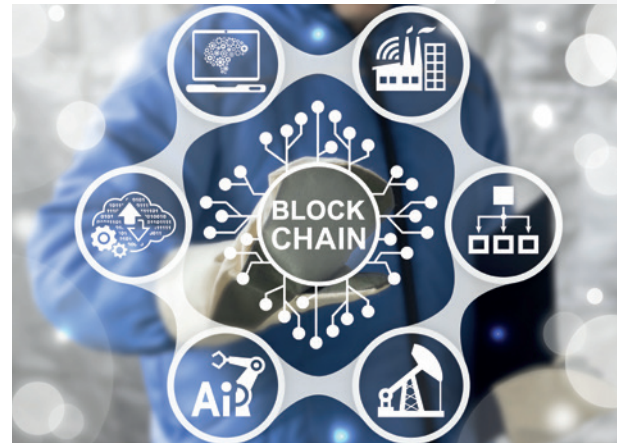
⁴² Brevet WO2019190872A1

⁴³ <https://www.p-chipcorp.com/>

La solution Track & Trust⁴⁴ développée par Datarella (DE), Weaver Labs (UK) et Orora Technologies (DE), et financée par l'ESA, vise à assurer une traçabilité le long de la chaîne d'approvisionnement lors d'opérations humanitaires afin de savoir à tout moment qui est en possession de la marchandise. Les données de traçabilité sont inscrites dans une blockchain et peuvent inclure la position, les contrats signés mais aussi des données de capteurs IoT. En termes d'infrastructures de télécommunication, le choix s'est porté sur un réseau LoRa dont un des noeuds envoie les données vers un satellite (Globalstar) qui

réalise alors l'inscription des transactions et données dans la blockchain. Une des difficultés fut la coexistence de plusieurs technologies de télécommunication qui fonctionnent habituellement en silos et ne savent pas où envoyer la donnée. Weaver Labs a donc mis en place une couche logicielle qui assure le routage intelligent des données à travers le réseau.

Plusieurs acteurs recherchent la mise à profit de la technologie blockchain dans leurs activités respectives tels que Eonix (avec l'UCLouvain), UpTrace (Etilux), etc.



⁴⁴ <https://business.esa.int/projects/track-trust>

1.3.3. TRAITEMENT

Les applications de traçabilité peuvent faire intervenir de grandes quantités de données d'origines différentes, rendant leur traitement complexe.

Les données peuvent également être utilisées par des algorithmes et des modèles pour en extraire davantage d'information.

L'intelligence artificielle (IA) est l'ensemble des théories et des techniques mises en œuvre en vue de réaliser des machines capables de simuler l'intelligence. Le machine learning (apprentissage automatique en Français) est une sous catégorie de l'intelligence artificielle. Le deep learning fait partie du machine learning. Le machine learning correspond à un niveau où l'IA est capable d'intégrer des informations par lui-même, d'apprendre et de progresser. Il n'est pas encore possible de mettre en pratique une IA qui pense par elle-même ("self aware").

Il y a des algorithmes de classification (naive bayes, decision tree, etc.) pour classer des entrées futures, de régression (linéaire, lasso, etc.) pour prévoir un résultat et, de partitionnement (k-moyennes, fuzzy, etc.) pour trouver des similitudes. Le langage de programmation Python est habituellement utilisé.

La vision par ordinateur (computer vision) permet à une machine d'analyser, traiter et comprendre des images prises par une caméra et peut être intégrée dans des solutions de vision industrielle (cfr. 3.1.20.).

Un réseau de neurones artificiels (neural network) est un système informatique s'inspirant du fonctionnement du cerveau humain pour apprendre et permettant la résolution de problèmes complexes. Leur application⁴⁵ en supply chain permet d'augmenter la visibilité sur des commandes à recevoir, par exemple.

Le choix des algorithmes peut dépendre de la précision souhaitée, de la vitesse d'apprentissage, de la taille de l'échantillon (qui doit être suffisamment grand), du nombre de paramètres, etc.

Les fournisseurs Cloud proposent un certain nombre de ces algorithmes (Amazon Rekognition, Google Cloud Vision, Microsoft Azure AI, Alibaba Cloud Machine Learning Platform, etc.).

Consafe Logistics fournit Astro WMS qui utilise les informations d'activités logistiques précédentes pour optimiser les opérations actuelles. L'entreposage est réalisé en fonction, d'une part, de la taille de chaque boîte pour minimiser les espaces perdus et, d'autre part, du suivi des historiques de commande (lots

⁴⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917305371>

populaires ou commandés de manière groupés) pour faciliter les activités de picking. L'intelligence artificielle optimise également les chemins, réduisant les distances parcourues de 20 à 30%.

Quimesis (BE) associé à Unmanned Life (UK), s'est spécialisée dans le développement d'une plateforme «AtaS» (Autonomy as a Service) et a développé un robot de tri autonome pour centres de tri. L'intelligence embarquée dans chaque robot permet l'orientation et la réalisation des tâches.

D'autres sociétés mettent à profit l'IA pour optimiser les flux en entrepôt, que ce soit par l'intermédiaire d'une solution software ou associée à une solution hardware (ex : le projet collaboratif WH 4.0 cofinancé par la Wallonie et coordonné par la société A.T.I.).

Google Maps utilise l'IA pour compenser les pertes de positions GPS (Visual Positioning Service⁴⁶ (VPS), consistant à combiner une vidéo prise par l'utilisateur de son environnement avec le plan Google Maps correspondant).

IFCO, leader dans la fourniture de RPCs (Reusable Plastic Containers) pour produits frais a développé, grâce à un algorithme de reconnaissance d'image, l'application MyIFCO qui reconnaît le nombre et le type d'unités à

retourner sur base d'une photo prise par l'utilisateur. Ceci fait gagner du temps, accélère le processus retour, diminue les erreurs de comptage et prouve les quantités retournées.

Aerospacelab conçoit, fabrique et opère depuis l'espace une constellation de satellites d'observation. La société utilise l'intelligence artificielle pour extraire de l'information des images et de données complémentaires non-géospatiales.

Le jumeau numérique (digital twin en Anglais) permet la modélisation d'un système complexe (ex : une supply chain multimodale, une ligne de production, la propulsion d'un avion) et de faire le lien entre capteurs IoT, logiciels opérationnels et modélisation numérique. Il s'agit d'un environnement virtuel qui tourne en parallèle du système réel et qui est continuellement mis à jour par celui-ci. Le jumeau numérique permet de remonter dans le temps et de diagnostiquer des problèmes suite à une rupture dans la supply chain mais surtout d'accélérer le temps afin de prévenir les perturbations futures et optimiser les processus. L'intelligence artificielle y joue un rôle important afin de manipuler la très grande quantité d'informations qui peuvent se trouver réparties à différents endroits (ERP, WMS, TMS, IoT, etc.).

⁴⁶ <https://ai.googleblog.com/2019/02/using-global-localization-to-improve.html>

AspenTech utilise cette technologie pour faire des solutions de planification et de maintenance en industrie chimique. Le projet de recherche DISpATch⁴⁷ (VUB, KULeuven, VIL) comporte un jumeau numérique permettant de tester des algorithmes de planification dynamique et des technologies de communication avec pour but de supporter le développement de la synchromodalité en Flandre.

Le jumeau numérique peut être également utilisé pour la gestion des mouvements des navires dans un port. Le programme des arrivées et des départs est modélisé chaque semaine, et le jumeau numérique, alimenté en permanence par la réalité des mouvements, peut modifier les affectations de quais et optimiser ainsi les opérations afin de réduire les temps d'attente.

DCbrain (FR) utilise la modélisation par jumeau numérique et l'intelligence artificielle pour proposer des solutions de suivi et d'optimisation au secteur de l'énergie et de la logistique. La startup Visible.Digital (FR) développe une "tour de contrôle" pour le secteur agroalimentaire (performances opérationnelles, sécurité des personnes et intégrité des produits), basée sur le principe de jumeau numérique, la blockchain et les solutions TMS, WMS et télématiques.

La manipulation et l'analyse de grandes quantités de données peuvent être facilitées par l'utilisation de capacité de calcul haute performance (HPC, High-Performance Computing). Les supercalculateurs sont conçus pour atteindre les plus hautes performances possibles dans le traitement d'informations et d'algorithmes en parallèle, en particulier en ce qui concerne la vitesse de calcul. Parmi les sociétés disposant d'une telle expertise on trouve Eura Nova ainsi que les principaux fournisseurs de solutions cloud (Alibaba Cloud, Amazon, Google, Microsoft, etc.). La Wallonie sera dotée d'un nouveau supercalculateur, successeur de Zenobe⁴⁸, au service de la recherche fondamentale et appliquée et hébergé au sein du centre A6K-E6K à Charleroi⁴⁹. Celui-ci pourra faire le lien avec les supercalculateurs du top mondial dont celui prochainement hébergé en Finlande pour lequel la Belgique, avec le soutien financier de la Wallonie, est partenaire au travers du consortium européen EuroHPC.

⁴⁷ <http://dispatch-project.be/about/>

⁴⁸ http://www.cenaero.be/Page_Generale.asp?DocID=15320&thebloc=34679

⁴⁹ <https://borsus.wallonie.be/home/presse--actualites/publications/le-gouvernement-wallon-degage-10-millions-pour-un-supercalculateur-situe-a-charleroi.publicationfull.html>



PARTIE 2

APPROCHE PAR LES APPLICATIONS



2.1. PROCESSUS DÉCISIONNEL

Plusieurs étapes successives sont nécessaires afin de déterminer la meilleure solution à implémenter.

La mise en place d'une solution de traçabilité peut être motivée par :

- › Une **pression réglementaire** telle que dans les secteurs agroalimentaire, pharmaceutique.
- › L'évolution vers **plus de compétitivité** par une démarche de digitalisation afin d'optimiser des ressources matérielles ou humaines, automatiser des processus, contrôler la qualité ou **améliorer la satisfaction client**.
- › La **protection de produits** contre la contrefaçon ou le vol.
- › L'évolution vers un **modèle d'affaires collaboratif** à travers la supply chain.

La compréhension du contexte permettra de déterminer s'il est préférable de **suivre un moyen de transport, un équipement, une marchandise ou une ressource humaine ou une personne dans le cas de la mobilité**.

Puisqu'il existe plusieurs solutions et approches de traçabilité, l'étape suivante consiste à **lister plusieurs solutions alternatives** en tenant compte qu'il s'agit de répondre à un **besoin d'identification ou d'authentification, de géolocalisation et/ou de suivi de paramètres spécifiques** (T°, chocs, etc.).

Il est recommandé d'identifier en amont les **différents acteurs internes ou externes à l'entreprise qui seront impactés** par la mise en place de ces alternatives de traçabilité. Leur rencontre permettra de prendre en compte suffisamment de critères nécessaires à l'étape suivante du processus décisionnel mais également d'identifier des freins éventuels et de garantir l'adoption de la solution par tous.



Au delà de la nature de l'objet ou de la personne à suivre et des types de données à collecter, les **critères devant être pondérés et pouvant impacter la sélection ou la création sur-mesure d'une solution de traçabilité** incluent :

Critères	Technologique	Humain
Rapport coût/bénéfice	x	
Besoin de formation		x
Complexité d'intégration	x	x
Interopérabilité	x	
Disponibilité de documents digitaux	x	x
Nombre d'acteurs	x	x
Transmissions de données (intérieur, extérieur, roaming, fréquence, volume)	x	
Autonomie	x	x
Environnements extrêmes	x	
Politique d'échange et de sécurisation de données	x	x



2.2. RÉGLEMENTATIONS, NORMES ET STANDARDS

Dans plusieurs secteurs, les réglementations sont à l'origine du besoin de mise en place d'une solution de traçabilité, ou le seront, compte tenu de leur évolution constante vers davantage de traçabilité. Certaines réglementations sont également à prendre en compte lors du développement ou du déploiement de solutions de traçabilité puisque celles-ci servent de cadre légal comme, par exemple, dans le cas de la protection des données et du respect de la vie privée.

De la même façon, des normes peuvent motiver la mise en place d'une solution de traçabilité telle que celle de la famille ISO, et des standards aident au développement de solutions interopérables telles que le standard GS1.

Voici certains exemples applicables à plusieurs secteurs :

- › **Règlement général sur la protection des données (GDPR).**
- › **GS1** : Normalisation des échanges tout au long de la chaîne de distribution du producteur au consommateur. L'EPCIS est le standard de la traçabilité par événement.
- › **Blockchain** : ISO/TR 23455:2019 (Overview of and interactions between smart contracts in blockchain and distributed ledger technology systems).

Et d'autres exemples spécifiques à certains secteurs :

› Agroalimentaire :

- › Directive européenne pour la sécurité alimentaire.
- › Traçabilité et l'étiquetage des organismes génétiquement modifiés et la traçabilité des produits destinés à l'alimentation humaine ou animale produits à partir d'organismes génétiquement modifiés.
- › ISO 22005 Traçabilité de la chaîne alimentaire.



› **Pharmaceutique :**

- › Directive européenne FMD (Falsified Medicines Directive).
- › Directive européenne instituant un code communautaire relatif aux médicaments à usage humain.

› **Médical :**

- › Directives Européennes sur les Dispositifs Médicaux.
- › FDA : UDI (Unique Device Identification). Identification de dispositif médicaux du fabricant au patient.

› **Tabac :**

- › Directive européenne TPD (Tobacco Products Directive).

› **Vins & spiritueux :**

- › Droits d'accises.

› **Textile :**

- › Règlement européen n° 1007/2011 relatif aux dénominations des fibres textiles et à l'étiquetage et au marquage correspondants des produits textiles au regard de leur composition en fibres.

› **Produits dangereux :**

- › Directive européenne relative au transport intérieur (par route, par chemin de fer ou par voie navigable) des marchandises dangereuses.
- › ADR, IATA, IMDG, ADN et RID.

› **Transport de passagers :**

- › Normes pour les éléments de sécurité et les éléments biométriques intégrés dans les passeports et les documents de voyage délivrés par les États membres.
- › Le PRADO⁵⁰ (Registre public en ligne des documents authentiques d'identité et de voyage) est un document issu de la coopération des États membres de l'UE et constamment mis à jour qui vise à décrire un grand nombre de technologies et de termes utilisés par tous et disponibles dans toutes les langues officielles de l'UE. Ce document a le bénéfice de couvrir de nombreuses techniques de traçabilité applicables au delà du transport de passagers.

⁵⁰ <https://www.consilium.europa.eu/prado/fr/prado-glossary/prado-glossary.pdf>

2.3. NOTE INTRODUCTIVE SUR LES APPLICATIONS DÉCRITES

Les pages suivantes décrivent plusieurs applications. Le lecteur pourra retrouver de nombreuses autres applications et références dans les sections précédentes décrivant les technologies.



2.4. TRAÇABILITÉ DE MOYENS DE TRANSPORT

Les opérateurs de large flotte de véhicules sont intéressés par récolter des données que ce soit pour optimiser la planification, contrôler les activités ou prévenir la maintenance. Le suivi de flottes de véhicules utilitaires peut se faire grâce à une solution télématique ou avec un dispositif équipé d'une antenne GPS et communiquant sa position par GPRS ou 3G. D'autres informations peuvent être remontées telles que le précontact, l'identification du chauffeur (en cas de présence d'un lecteur de badge), la vitesse, l'accélération, etc.

Une telle solution est proposée par Bizzdev (mWorker) et a été implémentée pour réaliser le suivi d'une flotte



de taxis avec l'objectif de mesurer le taux d'occupation (avec des capteurs sous les sièges) et de croiser cette information aux données de paiements (avec connexion au taximètre). Au delà des statistiques, les taxis sont équipés d'une imprimante permettant de fournir un ticket aux clients mais surtout de prouver le nom du chauffeur, le nombre d'heures de conduite, le nombre de clients et le tarif lors d'un contrôle policier réglementé en Flandre.

La gestion d'une flotte de wagons nécessite d'obtenir des informations sur la disponibilité, la distance cumulée avant la maintenance, l'écart de planning (ETA) ou d'itinéraire, et sur certains paramètres de fonctionnement. La capture de données peut se faire de manière directe sur chaque wagon (dispositif avec batterie équipé d'un GPS et d'une communication 2G, voire 4G pour une plus faible consommation) tels que les boîtiers autonomes proposés par Ubidata, ou de manière indirecte (positionnement relatif des wagons par rapport à la locomotive équipée d'un GPS) tel que implémenté par Siemens Mobility pour DB Cargo. Cette seconde option sera difficile à mettre en place lors de l'intervention de plusieurs propriétaires de wagons qui ne seraient pas tous équipés de la solution de traçabilité. Il faudra aussi tenir compte de la disponibilité des signaux (intérieur, extérieur, zones reculées) et du besoin de solidité. L'optimisation de la consommation d'énergie grâce au solaire (energy

harvesting) est controversée dans le secteur ferroviaire compte tenu de l'environnement souvent poussiéreux et du risque de projections et par le besoin inévitable de batteries pour stocker l'énergie récoltée dans des pays à faible ensoleillement. La géolocalisation sera couplée à des capteurs d'ouverture de portes, de température, d'humidité, de vibration des essieux, etc. Une fois transmises aux serveurs, les données de traçabilité sont consultables via une interface utilisateurs de manière individuelle (par wagon) ou agrégée et permettent la génération d'alertes. Dans les zones sans ou avec peu de connectivité, la transmission de données peut se faire par communications satellites au lieu de GPRS. Ce choix technologique est utilisé par Ovinto (BE) dans le cas du transport ferroviaire de liquides dangereux dont la solution (certifiée ATEX) permet de rapatrier les données de position des wagons ainsi que de température, pression, mouvement et niveau dans les cuves.

Certaines flottes de vélos en libre-service peuvent se retrouver dans n'importe quelle rue et l'utilisateur du service doit pouvoir les positionner. L'utilisation d'un GPS avec communication GPRS ou 3G nécessite une batterie plus importante et sera donc préférable pour les vélos électriques. Le gestionnaire a une vue en temps réel sur la flotte de véhicules et peut disposer de données à des fins d'optimisation opérationnelle ou pour collaborer avec d'autres services de mobilité partagée (MaaS). Des mouvements anormaux peuvent être détectés et le vol

prévenu. L'utilisateur peut déterminer l'emplacement du vélo le plus proche et le réserver. La flotte de vélos en libre-service INDIGO weel est équipée de capteurs IoT peu énergivores utilisant le réseau Sigfox afin de bénéficier d'une géolocalisation plus précise et en continue. Depuis que la flotte est équipée de capteurs connectés, l'amélioration du système de géolocalisation a permis de diviser par 4 les dégradations de vélos. Par ailleurs, la réparation et le remplacement des vélos est plus rapide que par le passé. Les vélos partagés Mobit disponibles dans plusieurs villes flamandes utilisent une application smartphone permettant de localiser les vélos et de suivre son utilisation ainsi que la facturation. Cette solution IoT est développée en partenariat avec Proximus.



2.5. TRAÇABILITÉ D'ÉQUIPEMENTS

Le suivi d'un outil, tel qu'une perceuse industrielle, est nécessaire lorsqu'il est partagé ou utilisé sur plusieurs chantiers à des fins d'inventaire. Ceci permet également de lutter contre la rétention d'information (un travailleur préférant garder l'outil) ou de prévenir la perte ou le vol. L'historique des données permet d'analyser l'utilisation des outils. Il est possible d'obtenir la localisation d'un équipement ou d'un outil en équipant celui-ci d'un module spécifique de géolocalisation. La localisation se fera grâce à la communication avec des antennes dédiées, intérieures ou extérieures (LPWAN public/privé, Wi-Fi, UWB).

Le coût/bénéfice doit être considéré en fonction du type et du nombre d'outils. Un site industriel sur plusieurs hectares, avec des milliers d'employés et de locaux rend difficile la gestion des petits équipements et outils.

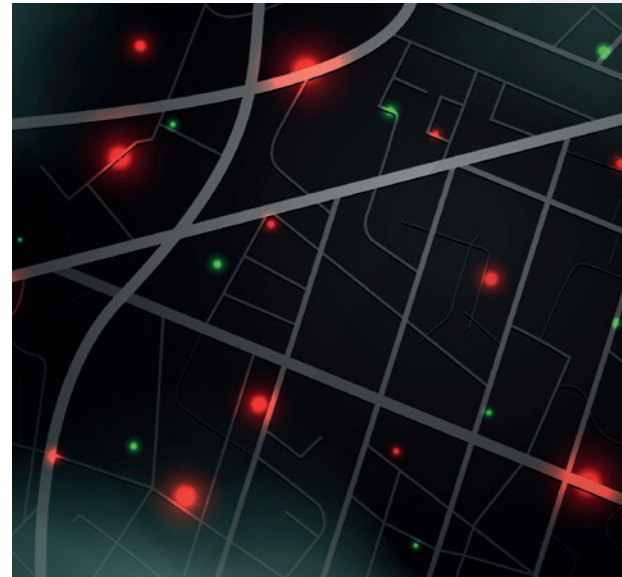
Westi est une solution d'intralogistique utilisable sur smartphone industriel tel que Zebra. Chaque objet dispose d'un code-barre. La personne qui réalise un emprunt scanne le code, validant ainsi la sortie de l'équipement du magasin. Une fois son travail terminé, la personne peut déposer l'équipement à des endroits prédéfinis en scannant une nouvelle fois le code. Cette solution permet de facilement inventorier des milliers d'objets qui sont géolocalisés de manière passive (le

temps réel n'étant pas nécessaire). Le processus de création d'un objet se fait en 15 secondes directement via l'application (description et photo) qui envoie l'information à un serveur central. Les codes-barres (pré-imprimés et disposant d'une identité unique) sont distribués au préalable à l'ensemble du personnel concerné qui peut les coller lors du processus de création. Les impressions peuvent être sous traitées ou réalisées sur site avec une imprimante dédiée. La solution ne nécessite pas de formation particulière.

Le suivi d'un appareil frigorifique pour vaccins peut se faire en combinant des capteurs IoT à un dispositif qui remonte les données de position et de fonctionnement. Tel est le cas du projet Mapiu qui utilise une plateforme universelle capable d'accueillir tous types de capteurs et de communiquer avec tous types de réseaux (GPRS, 4G, 5G, LoRa, Sigfox, etc.). Une des valeurs ajoutées de la solution est la gestion de la multitude d'interfaces et de protocoles. Ceci permet de situer les frigos dans un bâtiment ainsi que dans des bus médicaux, de suivre leur température et d'envoyer des alertes en cas de dépassement de seuil. La plateforme offre un API permettant au gestionnaire d'équipements d'intégrer les données dans un outil de gestion global. La géolocalisation est utilisée pour désactiver des alertes lorsque les frigos fixes partent en maintenance.

Le suivi de conteneurs ou de bennes permet de faciliter l'inventaire, mesurer le taux d'utilisation ou prévenir les vols, par exemple, et peut se réaliser de différentes façons. Il est possible de coupler les conteneurs, équipés de puces "RFID active" (de la taille d'un demi smartphone), à un dispositif, tel que mWorker, situé et alimenté dans le camion et relié à une antenne RFID. Cependant, certaines applications vont privilégier des solutions totalement autonomes sans alimentation. SUEZ souhaitait faire face à l'impossibilité de distinguer si une benne de déchets était utilisée ou non, conduisant à l'achat de plus d'unité que nécessaire. Le groupe s'est alors tourné vers Sensolus/Connectic pour équiper plus de 10.000 conteneurs de balises autonomes collectant des données de position, de mouvement et d'inclinaison, ensuite transmises via le réseau Sigfox et accessibles via une interface web ou une API. Ceci a permis de réduire le nombre de conteneurs en circulation mais aussi de lutter contre les dépôts sauvages de déchets et les marchés parallèles. Ces balises disposent d'une géolocalisation en cascade, c'est à dire, utilisant différentes technologies (bluetooth, GPS ou Sigfox) en fonction des disponibilités. Ce type de balise satisfait à l'application puisque suffisamment robuste en termes d'étanchéité (IP69K et IK10) et de résistance à la température (jusqu'à 80°C). Un autre cas relativement similaire est celui d'Ardo, entreprise du secteur agroalimentaire commercialisant des légumes surgelés, qui envoie et laisse des conteneurs chez les agriculteurs et les récupère

lorsque le conteneur est plein. L'entreprise a équipé ses conteneurs de la solution ENGIE M2M (VTag Combi et Luzidia) afin de pouvoir suivre de quel agriculteur provenaient les légumes, le statut du parc en temps réel, prévenir les vols, éviter les ruptures de stock de conteneurs et optimiser le nombre utilisé.



2.6. TRAÇABILITÉ DE MARCHANDISES

Une meilleure collaboration entre acteurs rend la supply chain plus efficace et permet de créer de nouveaux modèles d'affaires. Cependant, le groupage de marchandises ou leur transport multimodal, par exemple, nécessite d'avoir plus de visibilité sur les différents flux de marchandises et d'automatiser un certain nombre d'opérations.

Le Coursier Wallon, spécialisé dans les livraisons à vélo et le stockage déporté en ville, souhaitait développer son activité commerciale en se rattachant à des chaînes de transport plus longues et en collaborant davantage. La société coordonne le projet collaboratif City Line cofinancé par la Wallonie, qui a pour objectif de fluidifier la transmission d'informations nécessaires à la collaboration entre différents opérateurs, faire communiquer les différents TMS et éviter les multiples réencodages occasionnés lors des ruptures de charge. L

Les externalités du transport (ex : pollution, accidents, etc.) peuvent être réduites grâce au transport multimodal, combinant le transport de marchandises routier à davantage de transport ferroviaire et/ou fluvial. Ce "modal shift" réduit également les coûts lorsqu'il est bien organisé ainsi que le temps passé dans les embouteillages. Le transport fluvial est traditionnellement efficace pour l'acheminement de vrac mais peut-être intéressant pour le transport de marchandises palettisées que ce soit à destination de l'export ou vers des zones urbaines,

à condition de disposer d'une meilleure visibilité sur ces marchandises. Le projet Interreg **Smart Track 4 Waterway (ST4W)**, coordonné par Multitel, développe une solution de tracking hiérarchique pour transport multimodal fournissant une visibilité « end-to-end » des camions, barges et unités logistiques (palettes, big bags, conteneurs...), de manière standardisée et interopérable. Les données, initialement fragmentées (GPS, AIS et codes-barres), sont collectées, interconnectées puis mises à disposition des opérateurs via une interface web et une application smartphone. L'implémentation des standards GS1 garantit un partage sécurisé de l'information (statuts logistiques, alertes, ETA, preuve de livraison, etc.) et contrôlé par son propriétaire (visibilité mais pas transparence). Une meilleure traçabilité des marchandises permet ainsi leur groupage et de réaliser des livraisons multi-fournisseurs, multi-opérateurs et multi-clients, notamment intéressantes pour les PME.

La traçabilité alimentaire est au coeur des préoccupations de tous les acteurs de la supply chain. Les solutions attendues par le marché doivent permettre de remonter l'origine des produits à travers les différentes étapes, à titre informatif pour le consommateur final et, surtout, pour une question de contrôle qualité ou le cas échéant d'identification de l'origine d'une contamination pour les professionnels et autorités. Les informations nécessaires

au traçage de produits alimentaires issus de l'élevage, par exemple, sont les lieux de naissance, d'élevage ou de transformation, les modes de production, les conditions de transport et les certificats d'audit alimentaire.

Carrefour a pris l'initiative de mettre en place une solution de traçabilité basée sur la technologie blockchain pour sa "Filière Qualité", en collaboration avec Vinçotte. Le consommateur dispose d'une application smartphone lui permettant de scanner un QR code et de découvrir le parcours d'une vingtaine de produits alimentaires. Pour **Carrefour**, l'implémentation de la solution blockchain a résulté en une augmentation de 10% de la qualité des données et, si le cas se présente, en une identification rapide de l'origine de la contamination permettant de réduire les temps d'immobilisation de stock. Le développement pragmatique suivant a contribué au succès de la solution toujours en place actuellement (alors que de nombreuses solutions blockchain sont en phase de recherche, de test ou gardées confidentielles) : l'analyse de la chaîne de valeur a permis d'identifier 2 ou 3 acteurs disposant de suffisamment de données en amont et en aval. Ces données ont d'abord été centralisées sur un serveur puis seulement après rentrées dans une blockchain. La mise en place de la composante blockchain de la solution fut réalisée en 1 semaine.

Fluidifier les activités logistiques depuis la production jusqu'à la livraison peut être complexe compte tenu de la multitude des sources d'informations à considérer, des flux de marchandises et de personnes à gérer et d'autres paramètres venant d'acteurs externes en amont ou en aval. L'optimisation de la production, de la gestion des stocks, des commandes, des livraisons et des ressources humaines nécessite de pouvoir connecter tout type de données complexes et des systèmes fonctionnant traditionnellement en silo afin d'en ressortir de l'information utile. Tel est l'objectif de la solution d'hypervision développée par Oscars.

Cette solution, initiée dans le **projet collaboratif d'innovation (Wallonie et LiW) ePick2.0**, est basée sur Oracle Stream analytics et géospatial ainsi que des algorithmes de machine learning qui analysent la localisation des stocks et des trajets en entrepôt. L'outil développé met à disposition des employés un dashboard visualisant l'état des stocks restants et leur emplacement et génère des alertes concernant les actions à prendre en synchronisation avec l'arrivée des transporteurs aux quais de chargement. Des ajustements de planning sont possibles grâce à l'intégration des retards éventuels et des changements de dernière minute, fournissant des ETA (estimated time of arrival) à jour aux employés de l'entrepôt, au transporteur et au client final.

2.7. TRAÇABILITÉ DE RESSOURCES HUMAINES

Les sites tels que les chantiers de construction, les mines, les carrières, les chemins de fer ou les installations pétrochimiques comportent des risques pour le personnel (explosions, émanations toxiques, chutes, collisions, etc.). La combinaison de bornes et de modules (sous forme de badges, bracelets ou tags) peuvent géolocaliser les travailleurs en intérieur et extérieur (Bluetooth, RFID, UWB, LPWAN public/privé).

Border System fournit une solution basée sur l'UWB, composée de bornes pouvant être disposées sur un chantier, sur un pont roulant, etc. afin de délimiter des zones, ainsi que des bracelets de protection individuelle. Ces dispositifs émettent une alarme visuelle et sonore en cas de danger et offrent une précision jusqu'à 10 cm et une localisation en moins de 20ms en intérieur comme en extérieur. Une unité centrale portable permet de rapidement configurer et déployer l'ensemble.

Plusieurs technologies permettent de répondre au même besoin. Les badges personnels Actility, certifiés ATEX, fonctionnent à l'intérieur et à l'extérieur, selon la configuration d'un réseau privé LoRa. Ils sont légers, compacts, IP64, équipés d'un bouton SOS et émettent une alarme jusqu'à 70dB (ex : en cas d'évacuation).

Leur batterie, rechargeable sur USB, permet un fonctionnement pendant 90 jours à raison de 40 à 60 messages par jour en fonction du modèle. Ces badges peuvent être combinés à des trackers, d'un autre modèle, positionnés sur des véhicules en mouvement par exemple afin d'assurer la distance de sécurité nécessaire entre le personnel et les machines mobiles, comme sur un chantier de construction.

BESIX utilise la solution WakeCap sur certains de ses chantiers pour garantir la sécurité des ouvriers et réaliser le suivi des activités sur site. La solution combine des tags IoT placés sur les casques de protection individuelle à des bornes fixes créant un réseau local sans fil évolutif avec l'agrandissement des zones en construction. L'anonymat des travailleurs est garanti en positionnant ceux-ci par la mesure de puissance en réception du signal. Les dispositifs sont certifiés ATEX, IP67, CE, RoHS, et EN62479.

Ces diverses solutions sont également utilisées pour garantir la distanciation sociale requise sur les lieux de travail dans le contexte de pandémie de Coronavirus.

2.8. TRAÇABILITÉ DE PERSONNES (HORS RESSOURCES HUMAINES)

Des solutions de traçabilité à destination des personnes existent également. Des randonneurs en montagne ou des surfeurs en mer peuvent fréquemment se retrouver dans des zones non couvertes par les communications GSM. Des solutions de télécommunication satellite existent mais encore faut-il les adapter aux personnes privées.

LifeLine offre une solution portable (de la taille d'une montre) contenant un émetteur satellite fonctionnant dans les zones reculées et permettant de lancer une alerte.

En ville, des solutions de parkings intelligents permettent de combattre l'usage illégal de cartes de stationnement pour personnes handicapées par des personnes non handicapées et donc d'assurer la disponibilité des places réservées aux personnes à mobilité réduite en ayant réellement besoin.

Le suivi des personnes trouve d'autres applications telles que pour les patients suivant un traitement médical important ou chronique ou pour l'authentification de documents personnels officiels, par exemple.



PARTIE 3

TENDANCES ET MARGES D'INNOVATION



Cette section du rapport met en évidence et élabore certaines pistes de réflexion (dont la plupart des éléments sont abordés dans les sections précédentes).

TENDANCES

SECTEUR AGROALIMENTAIRE

La consommation de produits alimentaires contaminés restera un sujet de préoccupation aux conséquences graves (maladies ou décès⁵¹) et les réglementations continueront à se renforcer. Des solutions devront être développées ou adaptées pour assurer le respect de la chaîne du froid, alors que des nouveaux modèles d'affaires émergent et que les chaînes d'approvisionnement se fragmentent avec un nombre croissant de ruptures de charge (ex : e-commerce alimentaire frais, livraisons urbaines, concept de "physical internet").

Les circuits courts représentent une alternative aux importations et permettent de consommer "local" mais nécessitent des solutions de traçabilité adaptées.

Au-delà de l'acquisition de paramètres tout au long de la supply chain, il est nécessaire d'améliorer la collaboration avec les fournisseurs et de mettre les informations de traçabilité alimentaire à disposition du consommateur, c'est-à-dire de développer et assurer davantage de transparence entre acteurs⁵². Les solutions cloud, blockchain, QR code, etc. s'inscrivent dans cette tendance.



51 <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>

52 <https://www.euractiv.fr/section/all/news/contaminated-meat-scandal-exposes-germanys-food-safety-flaws/>

SECTEUR DU TEXTILE

La demande des citoyens pour la consommation de produits responsables d'un point de vue environnemental (impact CO₂, déforestation, quantités d'eau) et sociétal (exploitation de la main d'oeuvre, dérèglement des productions agricoles) mais aussi sanitaire (allergies) pourrait favoriser le développement et l'utilisation de solutions de traçabilité pour le secteur du textile⁵³ permettant, comme pour le secteur agroalimentaire, de mieux maîtriser les relations avec les fournisseurs et les informations échangées à travers l'ensemble de la supply chain jusqu'au consommateur.

SECTEUR DU TABAC ET DES SPIRITUEUX

Plusieurs réglementations sont venues renforcer le besoin de traçabilité dans les secteurs pharmaceutiques (ex : Falsified Medicines Directive), alimentaires ou du tabac (ex : Tobacco Products Directive) ces dernières années. D'autres devraient encore entrer en vigueur dans les secteurs du tabac (cigarettes électroniques, cigares) et de l'alcool fort afin de combattre la contrefaçon, et ainsi éviter la consommation de substances (davantage) nocives et empêcher la circulation de produits sur des marchés clandestins échappant aux accises.

CONTREFAÇON

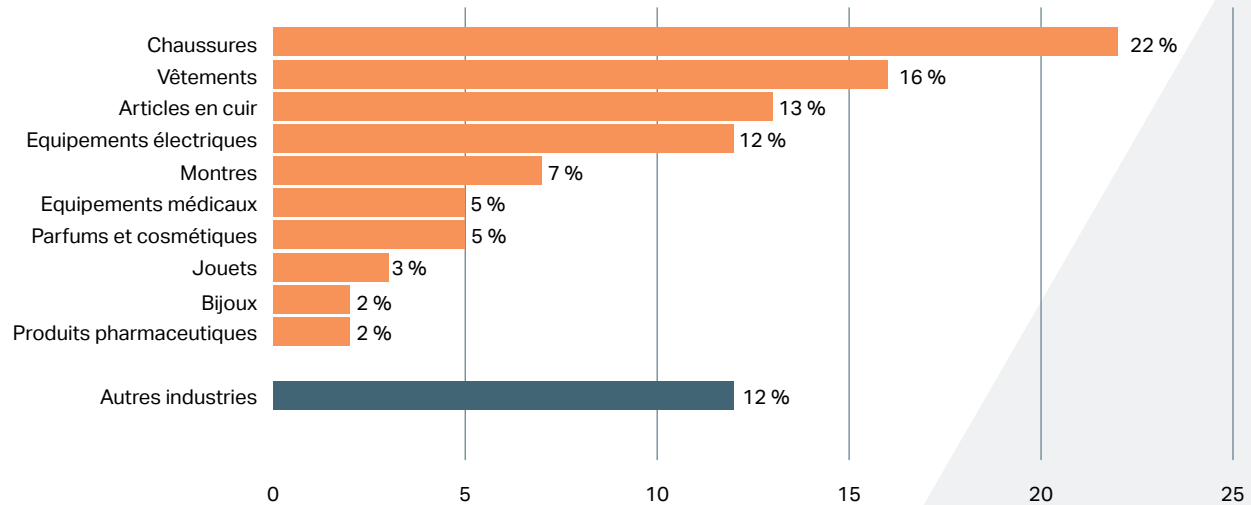
Combattre la contrefaçon nécessitera continuellement de nouvelles innovations et technologies puisque les contrefacteurs s'adaptent en permanence compte tenu des montants en jeu (en 2016, 3,3% des échanges mondiaux et 6,8% des importations européennes⁵⁴). Les graphiques suivant illustrent les produits les plus sujets à la contrefaçon, d'abord de manière générale puis plus spécifiquement pour les produits pharmaceutiques. L'article révèle également que les envois de petits colis par la poste ou par des services de messagerie express sont de plus en plus privilégiés pour acheminer les biens contrefaits (69% des saisies douanières entre 2014 et 2016), rendant les contrôles difficiles.

⁵³ <https://fr.fashionnetwork.com/news/A-quand-une-tracabilite-dans-le-secteur-du-textile-1130025.html>

⁵⁴ <https://www.oecd.org/fr/presse/le-commerce-de-produits-de-contrefacon-represente-desormais-33--des-echanges-mondiaux-et-ne-cesse-de-prendre-de-l-ampleur.htm>

CHAUSSURES ET VÊTEMENTS DOMINENT LE COMMERCE DE CONTREFAÇONS

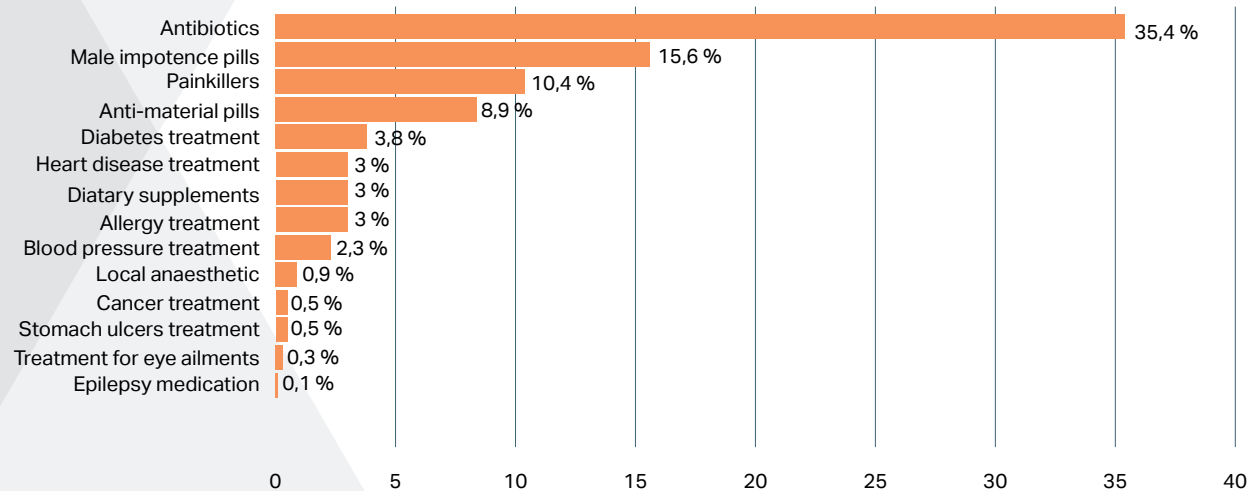
Industries les plus touchées par la contrefaçon et le piratage.
Pourcentage de la valeur totale des saisies 2016.



Source: Trends in Trade Counterfeit and Pirated Goods

LES PRODUITS PHARMACEUTIQUES LES PLUS CONTREFAITS

Share of the global value of seizures of fake pharmaceuticals



Source: Covid-19 crisis underscores need to address trade in fake pharmaceuticals⁵⁵

⁵⁵ <http://www.oecd.org/trade/morenews/covid-19-crisis-underscores-need-to-address-trade-in-fake-pharmaceuticals-say-oecd-and-euipo.htm>

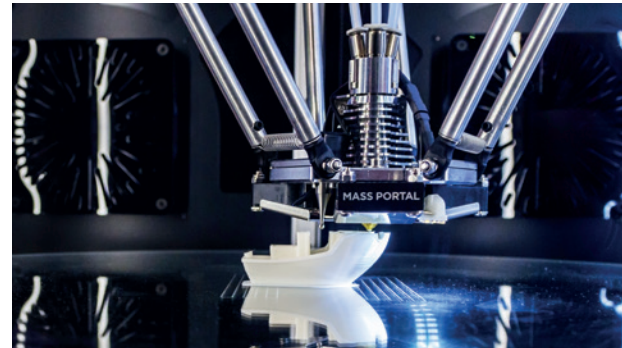
COLLABORATION ET DÉCLOISONNEMENT

Des modèles d'affaires plus collaboratifs permettent de rationaliser les chaînes d'approvisionnement en mutualisant les capacités de production, de stockage et de transport existantes (cfr. 4.6. Traçabilité de marchandises). Ceci nécessite des solutions de traçabilité qui automatisent le suivi et qui sont davantage intégrées dans les outils existants (ERP, WMS, etc., cloud de préférence pour permettre les échanges), permettant aux partenaires de continuer à être autonomes tout en collaborant sur une même supply chain. Une plus grande collaboration entre acteurs entraîne une fragmentation et un risque de perte d'informations entre étapes pouvant induire des dysfonctionnements. La difficulté relative à l'échange d'informations à travers des supply chains imbriquées ou coexistantes augmente avec le nombre d'acteurs et avec la combinaison des modes de transport (ex : air, maritime, route, rail, fluvial, urbain). La gestion, l'interprétation et le traitement de données fonctionnant et communiquant en silos, ainsi que le partage d'informations avec d'autres plateformes et applications métiers différentes, fait l'objet de plusieurs projets et expertises. Le développement et l'utilisation de solutions technologiques interopérables et standardisées (ex : GS1) vont aussi permettre d'accompagner l'harmonisation des réglementations entre pays et entre modes de transport.



IMPRESSION 3D

Les technologies relatives à l'impression 3D sont en développement depuis plus de 30 ans et un nombre croissant d'applications arrivent à maturité dans plusieurs secteurs tels que médical, automobile, aérospatial ou même de la mode. Des plans⁵⁶ sont disponibles pour imprimer sa propre arme à feu et la mettre illégalement en circulation. Il existe plusieurs techniques d'impression 3D et qualités de machines à destination des professionnels ou des amateurs. 3D Hubs, un des leaders du marché, prévoit dans son rapport⁵⁷ une accélération de l'adoption de la technologie à partir de 2020. Celle-ci jouera donc un rôle de plus en plus important dans les supply chains mais la question de l'authentification, de la contrefaçon et du contrôle de la propriété intellectuelle se pose. Il est alors nécessaire d'intégrer, adapter ou développer des solutions de traçabilité (ex : QR code dans les couches d'impression). Par exemple, le système d'identification PrinTracker⁵⁸ permet de détecter les empreintes laissées par les machines lors des impressions 3D.



56 <https://www.theverge.com/2020/3/30/21199519/defense-distributed-defcad-3d-printed-gun-library-launch-vetting>

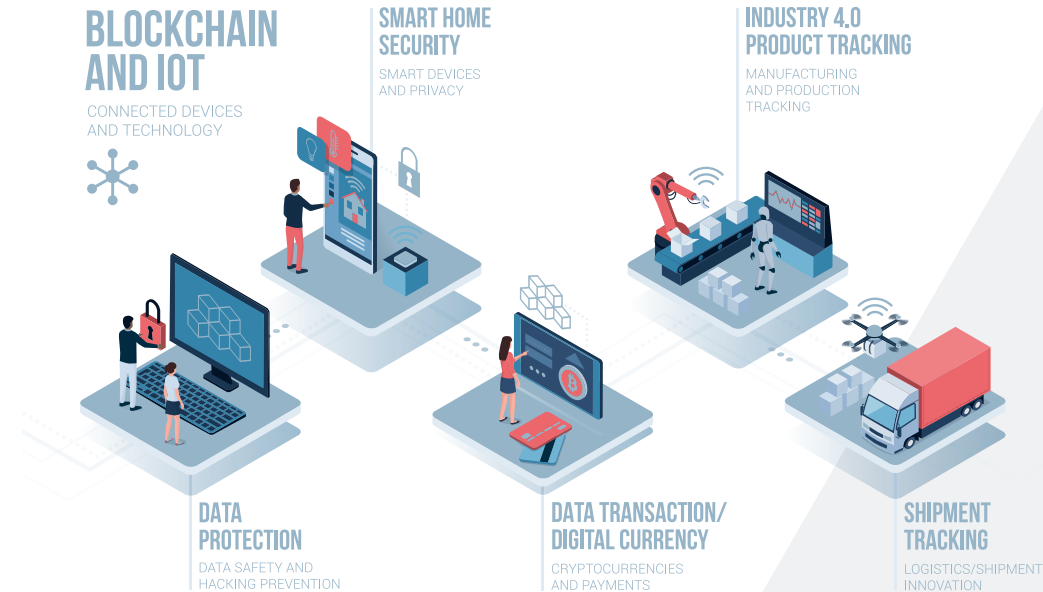
57 <https://www.3dhubs.com/blog/3d-printing-trends-2020/>

58 <https://www.3dnatives.com/en/printracker-system-identify-3d-printers-from-created-3d-part-131120184/>

BLOCKCHAIN

La tendance aujourd'hui pour les entreprises est de passer d'un stockage de données centralisé local vers le cloud. Un stockage blockchain n'est pas encore répandu commercialement et relève davantage de recherches, tests et d'une progressive prise de positionnement

stratégique à moyen terme. Les applications à privilégier sont, par exemple, sur le secteur alimentaire ou pour la création de smart contracts.



Actuellement, plusieurs blockchain sont mises en place au sein de consortium⁵⁹ de sociétés privées rendant difficile le passage d'une blockchain à une autre. Parmi les pistes d'amélioration supportant le déploiement de cette technologie à envisager, on peut citer le besoin de standardisation, d'interopérabilité et de gouvernance.

AUTRES TENDANCES

Plusieurs autres tendances et marges d'innovation ont été identifiées dans les sections précédentes de cette étude. On peut notamment citer :

- › Satellite IoT.
- › Biocapteurs : multidisciplinarité (biologie, physique, chimie, traitement du signal, etc.), fusion de senseurs.
- › Emballages intelligents.
- › Douanes : scanographie par rayonnement neutronique, tomographie par rayons cosmiques, analyse de vapeurs et tomodensitométrie.
- › Capteurs permettant d'optimiser les différentes lignes, de quantifier l'impact de leur mise à l'arrêt individuelle et de fournir des statistiques. L'objectif étant de réduire les coûts.
- › Précision GNSS : hybrid PPP-RTK.
- › Bien que des solutions existent, la géolocalisation en temps réel (RTLS) n'est pas encore fortement adoptée en Belgique et dans le monde. Les solutions privilégiées actuellement sont avec des checkpoints (ex : RFID, code-barre). L'adoption de RTLS ira certainement de paire avec une diminution des coûts et dépend de la valeur des biens transportés.
- › Au niveau des capteurs, une tendance observée est l'hybridation de technologies permettant à des trackers de fonctionner en cascade (ex : Bluetooth, RFID, LPWAN, etc.), en fonction de la disponibilité des réseaux, du besoin d'économiser de l'énergie ou de fonctionner à la fois indoor et outdoor afin de suivre un colis de bout en bout par exemple.
- › Miniaturisation de capteurs (ex : MEMS).
- › Un besoin (enabler), qui peut se traduire en opportunité, est la digitalisation des documents alors que de nombreux acteurs favorisent encore actuellement le papier.
- › L'arrivée de la 5G ne révolutionnera pas les applications pour lesquelles le GPRS ou la 3G suffisent aujourd'hui mais permettra d'offrir une meilleure couverture aux objets connectés utilisés dans des applications de traçabilité (cfr. 3.2.2.). La 5G sera aussi nécessaire pour l'exploitation et le suivi de voitures ou camions autonomes.

⁵⁹ http://www.okanduru.com/Blockchain_Roaming_in_the_Maritime_Industry.pdf

- › Tendances en ville nécessitant des solutions track & trace adaptées : les véhicules autonomes pour la logistique urbaine et le dernier-kilomètre, les casiers à colis (parcel locker), les centres de consolidation urbains (UCCs), les magasins "cashier-free"⁶⁰, etc.
- › Plusieurs solutions dédiées au warehouse management existent (véhicules logistiques autonomes, WMS cloud connecté sur l'extérieur, systèmes de vision industrielle, etc.) mais sont plus ou moins adoptées. Toutes sont relatives à la traçabilité intralogistique. Une analyse plus approfondie permettrait d'identifier les freins et de mettre en évidence les marges d'innovation par catégories d'acteurs.

Le cycle de Gartner suivant met en évidence d'autres tendances :

- › Jumeau numérique (cfr. section 3.3.3. de cette étude).
- › Intelligence artificielle, machine learning, deep learning, etc. (cfr. section 3.3.3. également) pour, par exemple, développer des solutions prédictives (ex : ETA en tenant compte de toutes les perturbations i.e. accidents, grèves, travaux, intempéries, lignes de production à l'arrêt, etc.).

- › Capteurs jetables et biodégradables.

Le développement de capteurs « disposable IoT » a été souligné par ENGIE M2M comme étant une tendance pour le secteur mais sans perspective claire. L'objectif serait d'avoir des capteurs coûtant quelques euros et pouvant être jetés en bout de supply chain. Les capteurs biodégradables ont un intérêt pour des applications alimentaires ou médicales⁶¹.



⁶⁰ <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/amazon-offers-its-cashier-free-technology-to-other-retailers/>

⁶¹ <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=815>

PARTIE 4

CONSULTATION DU MARCHÉ



CONSULTATION DU MARCHÉ

LES ENQUÊTES QUALITATIVES

Deux types d'enquêtes qualitatives ont été menées auprès d'entreprises wallonnes : des entretiens individuels et un sondage en ligne.

ENTRETIENS INDIVIDUELS

Les entretiens individuels se sont déroulés en 2020, soit physiquement ou par téléphone. 23 acteurs wallons ont été interrogés : des fournisseurs de technologies ou de solutions de Track & Trace, des centres de recherche et des utilisateurs. Côté utilisateurs, les secteurs suivants étaient représentés par au moins un acteur : énergie, e-commerce, agroalimentaire, commerce de gros, construction, transport et logistique.

Ces entretiens ont contribué à la construction de cette brochure.

SONDAGE EN LIGNE

Le sondage en ligne a été effectué en novembre 2020 auprès de 65 acteurs wallons. Son objectif était double :

- › identifier des fournisseurs wallons de technologies ou de solutions de Track & Trace ;
- › appréhender les besoins des utilisateurs de celles-ci.

45 fournisseurs (y compris des centres de recherche) ont répondu ainsi que 20 entreprises souhaitant mettre en place des solutions de traçabilité pour leurs véhicules, équipements, marchandises ou personnes, ou le faisant déjà.

Côté utilisateurs, les secteurs suivants étaient représentés par au moins un acteur : pharmaceutique, agroalimentaire, commerce de gros, commerce de détail, fabrication industrielle, chimie, construction, transport et logistique, technologies de l'hydrogène et enfin déchets.

Ce sondage a contribué à la construction de cette brochure, mais aussi à caractériser les fournisseurs sondés au regard des technologies abordées.

Les acteurs ayant donné leur accord sont cités dans le feuillet accordéon « cartographie des fournisseurs ».

