

# Améliorer l'efficacité dans l'industrie de la congélation cryogénique en utilisant l'Internet industriel des objets et l'industrie 4.0

Ce document est publié pour encourager  
le partage et le transfert de données techniques.

## Sommaire

La congélation et la réfrigération des aliments est un secteur compétitif. Pour réussir, une entreprise doit maintenir ses coûts d'exploitation à un niveau bas et fonctionner aussi efficacement que possible. Cependant, l'industrie est confrontée à de multiples défis tels que la pénurie de main-d'œuvre qualifiée et la fiabilité des équipements, qui ont un impact sur l'efficacité et le résultat net. Cet article examine comment l'Internet industriel des objets et l'Industrie 4.0 peuvent être exploités pour stimuler la performance dans l'utilisation de la cryogénie pour la congélation et le refroidissement des produits alimentaires.



## Introduction

L'internet des objets (IdO) est un réseau de dispositifs connectés, partageant des données entre eux et avec le cloud. Ces dispositifs sont équipés de capteurs et de logiciels leur permettent de recueillir des données, de les traiter et de prendre des décisions en fonction des résultats obtenus. Les appareils - les "choses" - peuvent aller d'articles ménagers tels que des grille-pains, des thermostats et des réfrigérateurs à des équipements industriels valant plusieurs millions de dollars. L'internet industriel des objets (IIoT) utilise principalement les paradigmes de l'IdO dans un environnement industriel pour construire des usines intelligentes, optimiser les lignes de production et permettre une fabrication personnalisée, en utilisant des appareils connectés qui conduisent à une main-d'œuvre intelligente<sup>1</sup>.

L'IIoT et l'industrie 4.0 sont des concepts liés, mais ne peuvent pas être utilisés de manière interchangeable. La technologie IIoT fait référence aux capteurs, à la communication et aux appareils intelligents, tandis que le terme Industrie 4.0, ou la quatrième révolution industrielle ou simplement I4.0, englobe l'ensemble du changement numérique de l'industrie.

Il peut être utile de considérer ces concepts dans un format hiérarchique. L'IdO industriel est l'une des nombreuses technologies émergentes de l'industrie 4.0 qui seront de plus en plus adoptées par les fabricants. À titre de référence, alors que la première révolution industrielle était dominée par des matériaux de base tels que le fer et l'acier et des combustibles tels que le charbon et la vapeur, la quatrième révolution

industrielle est pilotée par une masse importante de données, le cloud, l'intelligence artificielle, l'IdO industriel et plusieurs autres technologies<sup>2</sup>.

Dans les sections suivantes, ce document aborde la mise en œuvre des technologies IIoT et l'industrie 4.0, les défis rencontrés lors de la mise en œuvre et les applications de ces technologies pour améliorer l'efficacité dans l'industrie de la réfrigération et de la congélation cryogéniques.

# Mise en œuvre des solutions de l'IdO industriel

La première étape de la mise en œuvre d'une application IIoT consiste à créer un cadre IIoT ou une pile technologique. Les applications peuvent être construites en s'appuyant sur ce cadre une fois qu'il a été développé. Le cadre doit être flexible, sécurisé et évolutif pour répondre aux diverses exigences techniques et commerciales des différents types d'applications. Diverses architectures IdO ont été proposées au fil des années. Par exemple, l'Union internationale des télécommunications propose une architecture à cinq couches qui se compose de couches de détection, d'accès, de mise en réseau, d'intergiciel et d'application<sup>3</sup>. Jia et al.<sup>4</sup>, Domingo<sup>5</sup>, et Atzori et al.<sup>6</sup> recommandent une architecture à trois couches composée d'une couche de perception, d'une couche de réseau et d'une couche de service. Liu et al.<sup>7</sup> ont conçu une infrastructure d'application IdO comprenant une couche physique, une couche transport, une couche intergiciel et une couche applicative. Dans le présent document, nous examinerons l'architecture à trois couches largement acceptée.

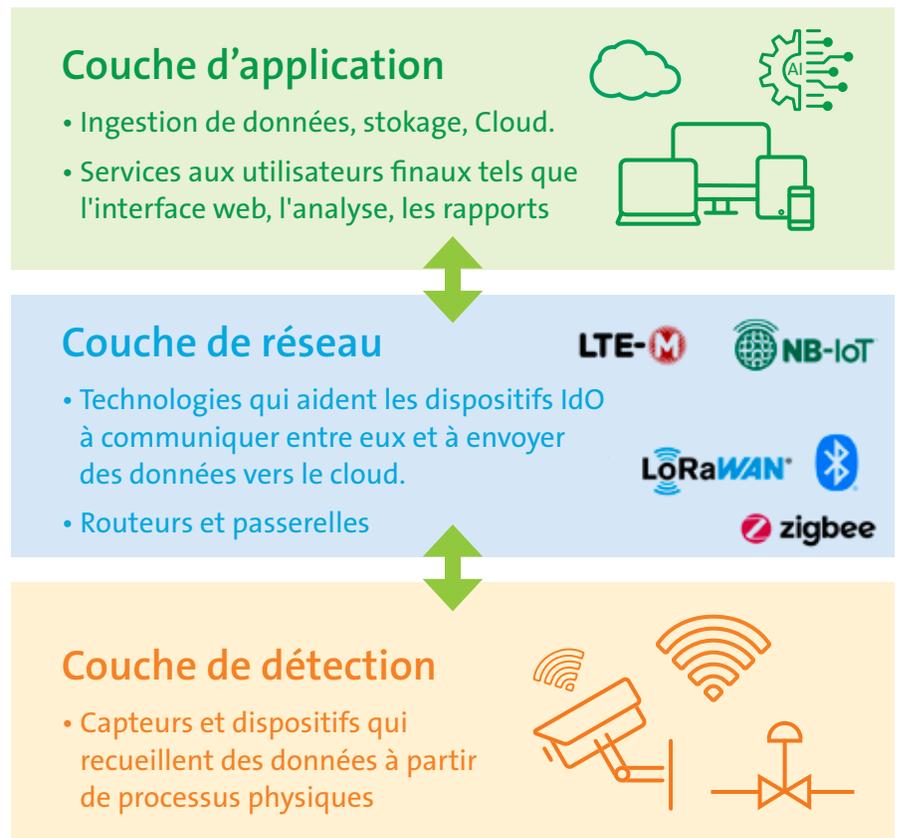
## L'architecture de l'IdO à trois couches

### Couche application

La couche d'application est la dernière couche de l'architecture de l'IdO. Elle est chargée d'ingérer et de traiter les données entrantes et de les écrire dans un emplacement de stockage tel qu'une base de données. La couche d'application fournit divers services aux utilisateurs finaux en fonction de leur rôle tels que l'authentification, l'accès aux données collectées, l'analyse, la création des rapports, les alertes, l'administration et la gestion des appareils, etc.

### Couche réseau

La couche réseau ou couche de transmission est la deuxième couche d'une architecture IoT, chargée de fournir une communication sécurisée et fiable entre les appareils et la couche d'application (la couche finale de l'architecture IoT). Divers protocoles câblés tels que Modbus, Profibus, PROFINET, etc. et des protocoles sans fil tels que Zigbee, Bluetooth, LoRa et Sigfox sont utilisés pour communiquer entre les appareils. La connectivité à la couche d'application peut être assurée par diverses technologies cellulaires comme la 4G, la LTE, la 5G, ou la LTE-M ou la Nb-IoT optimisée pour l'IoT. L'IoT par satellite devient de plus en plus une option viable pour les endroits où les réseaux cellulaires ne sont pas disponibles.



### Couche de détection

La couche de détection, également appelée couche de perception, est la première couche d'une architecture IdO. C'est de là que partent et aboutissent toutes les données. Cette couche traduit les données du monde physique en format numérique à l'aide de divers capteurs tels que la température, la pression, les signaux visuels et acoustiques, etc. Les capteurs sont généralement connectés à des cartes de contrôle qui fournissent des capacités de traitement des données, de configuration et de communication. Les cartes de contrôle peuvent être achetées dans le commerce, par exemple Arduino, ESP32, Raspberry Pi, ou elles peuvent être fabriquées sur mesure pour répondre à des besoins spécifiques. La carte de contrôle connectée à un capteur/actionneur est appelée nœud IoT ou dispositif. Les dispositifs IoT peuvent communiquer entre eux ou avec une passerelle centrale pour faciliter la transmission des données recueillies à la couche réseau.



## Défis liés à la mise en œuvre des solutions de l'IdO industriel

### Sécurité et confidentialité

L'un des plus grands défis de la mise en œuvre d'une solution IIoT est la sécurité et la confidentialité des données. Les systèmes IIoT stockent généralement des données relatives aux équipements/processus. Des mesures de sécurité appropriées doivent être mises en œuvre à chaque étape de l'architecture de l'IdO pour assurer la sécurité de ces données. Les dispositifs utilisés pour recueillir les données au niveau de la couche de détection sont généralement des dispositifs à faible consommation et à ressources limitées qui ne peuvent pas prendre en charge des algorithmes de sécurité complexes. Ces appareils sont susceptibles d'être altérés physiquement, manipulés et soumis à des attaques liées au réseau. Il convient de protéger les appareils en limitant l'accès physique non autorisé et en sécurisant l'accès numérique au dispositif à l'aide de bonnes politiques dans l'utilisation des mots de passe. Les données transmises par les appareils doivent être chiffrées à l'aide d'algorithmes cryptographiques légers adaptés aux appareils IIoT, tels que AES, DES, PRESENT, TE, etc.<sup>8</sup>

La couche de transport ou la couche de transmission responsable de l'envoi des données de l'appareil vers le cloud est exposée à des risques d'attaques de type "man-in-the-middle" (MITM), par déni de service (DoS) et de vol de

données. Il est fortement conseillé d'utiliser des techniques de cryptage telles que la sécurité de couche transport (TLS) pour sécuriser vos communications de protocole de niveau de transmission. Il convient d'utiliser des versions actualisées de TLS ne présentant aucune vulnérabilité connue pour sécuriser les communications au niveau de la couche de transport.

La couche application peut contenir des données personnelles identifiables (DPI) ainsi que des données de traitement. Des mécanismes d'authentification tels que l'authentification unique doivent être utilisés pour garantir la sécurité et la confidentialité des données. Des techniques de contrôle d'accès telles que le contrôle d'accès obligatoire/basé sur les rôles, etc. devraient être appliquées pour garantir la sécurité et la confidentialité des données. Les droits d'accès administratifs aux applications/données doivent être revus régulièrement. Les correctifs de sécurité OS, l'antivirus et les correctifs logiciels doivent être régulièrement installés sur votre infrastructure.

### Évolutivité

Lors de la mise en œuvre d'une solution **de l'IdO industriel**, il est très facile de prendre des décisions qui privilégient la vitesse de développement par rapport à l'évolutivité, mais ces décisions peuvent s'avérer coûteuses à long terme. Il est très important de concevoir votre application de



manière à ce qu'elle puisse facilement évoluer pour répondre aux exigences croissantes de l'entreprise. Des fonctions et des outils doivent être développés pour automatiser des tâches telles que les nouvelles installations, la gestion des appareils, le contrôle d'accès, etc.

### Fiabilité

La fiabilité d'un système IIoT est un sujet souvent négligé. Les utilisateurs s'attendent à avoir accès à leurs données à tout moment. Pour garantir la fiabilité de votre système, des solutions de haute disponibilité doivent être mises en œuvre pour les serveurs, les bases de données et toute autre infrastructure. La plateforme en tant que service (PaaS) devrait être utilisée le cas échéant, car elle est par nature hautement disponible. Toute votre infrastructure doit être sauvegardée régulièrement à plusieurs endroits. Des plans de reprise après sinistre et de continuité des activités doivent être mis en place.

# Applications dans l'industrie de la réfrigération et de la congélation cryogéniques

## Surveillance en temps réel, alertes et rapports

Presque tous les paramètres d'un équipement ou d'un processus cryogénique peuvent être surveillés en temps réel à l'aide de capteurs appropriés. Lorsque ces capteurs sont connectés à une plateforme IdO, les paramètres peuvent être surveillés à distance depuis n'importe où dans le monde à l'aide d'une interface web ou d'une application mobile. L'interface web/mobile peut être utilisée pour suivre l'évolution des données en temps réel ou historiques de l'équipement à l'aide de graphiques. Le gestionnaire du site peut utiliser ces informations pour s'assurer que son équipement et ses processus fonctionnent efficacement. Lorsque tous les équipements d'un site sont sous surveillance, les goulets d'étranglement dans la production peuvent être facilement identifiés et corrigés. Le niveau du réservoir peut également être contrôlé à l'aide d'un capteur approprié afin de garantir que le cryogène est toujours disponible pour faire fonctionner votre équipement de congélation.

Une fois les données stockées dans la base de données, diverses alertes peuvent être configurées pour surveiller les paramètres fonctionnant au-delà ou en dessous des limites recommandées, les modifications non autorisées/non intentionnelles des points de réglage de l'équipement, etc. Les alertes peuvent également être utilisées pour assurer la sécurité de l'équipement. Par exemple, les équipements cryogéniques sont susceptibles de tomber en panne

lorsqu'ils fonctionnent en permanence en dehors de leur plage de température recommandée de fonctionnement, lorsqu'ils opèrent avec un échappement bloqué, lorsqu'ils fonctionnent avec des courroies obstruées, etc.<sup>9</sup> Les alertes peuvent être affichées localement et envoyées par courrier électronique ou par texte.

Les données relatives à l'équipement stockées dans une base de données peuvent être analysées et récapitulées sous la forme d'un rapport. Le rapport peut contenir des informations importantes relatives au fonctionnement de votre équipement, telles que les heures de fonctionnement, les points de consigne, les alarmes générées, les recettes utilisées, le respect des procédures de démarrage et d'arrêt, etc. Les gestionnaires du site peuvent utiliser ces rapports pour identifier les problèmes potentiels et améliorer l'efficacité du fonctionnement. Pour les applications de congélation par lots, avec la bonne configuration, l'efficacité peut être rapportée en surveillant la quantité de produit congelé et la quantité de cryogène utilisée. Des rapports peuvent également être générés pour répondre aux exigences réglementaires telles que le traitement et le stockage des aliments aux températures et durées requises.

## Maintenance préventive

Un équipement défectueux ou en panne peut entraîner l'arrêt de la production. Traditionnellement, les activités de maintenance sont effectuées à intervalles réguliers ou au fur et à mesure des besoins. La maintenance préventive adopte une approche proactive et vise à résoudre les problèmes potentiels avant qu'ils

ne se transforment en problèmes. Les paramètres clés des pièces critiques peuvent être surveillés et analysés pour détecter les problèmes potentiels. Par exemple, les équipements cryogéniques utilisent généralement des moteurs électriques de différentes capacités. Pour réduire le nombre de pannes inattendues, plusieurs approches prédictives peuvent être adoptées à partir des données recueillies sur les moteurs. Des interprétations mécaniques peuvent être utilisées, telles que l'analyse de la signature vibratoire, l'analyse de la signature acoustique et la signature des oscillations de vitesse. L'analyse de la signature électrique peut être effectuée comme l'analyse de la signature du courant électrique du moteur (MCSA), l'approche vectorielle élargie de Park (EPVA) et l'analyse de la signature de la puissance instantanée (IPSA) [10]. L'analyse des signatures mécaniques et électriques n'est pas limitée aux moteurs, elle peut être utilisée pour prédire la défaillance d'une variété de pièces telles que les courroies, les lames de ventilateur, les déclencheurs, les roulements, les joints, etc. Des modèles mathématiques ou d'apprentissage automatique standard peuvent être utilisés pour analyser les données et rechercher des anomalies susceptibles de prédire la défaillance d'une pièce ou d'un système.

L'analyse des données pour la maintenance préventive est généralement effectuée dans le cloud, car les appareils IoT qui recueillent les données des équipements sont



généralement des appareils à faible puissance et à ressources limitées qui ne peuvent pas prendre en charge une analyse complexe des données. Les résultats de l'analyse des données peuvent être affichés sur une interface web ou mobile, ou renvoyés au dispositif pour la prise de décision.

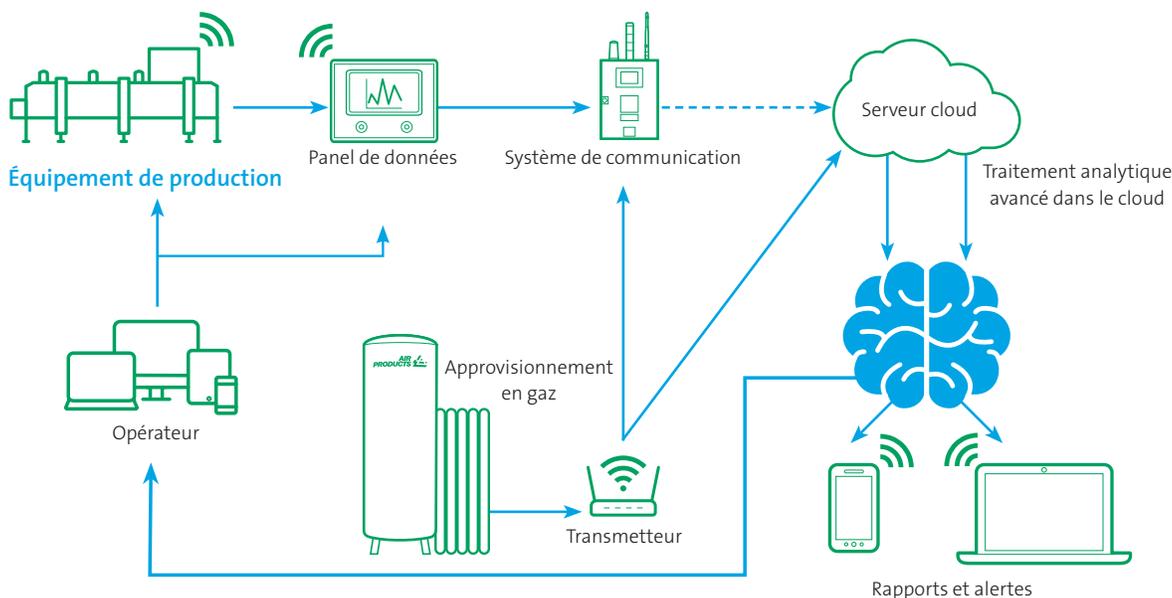
### Utiliser le jumelage numérique et l'apprentissage automatique pour favoriser l'efficacité

En intégrant une série de méthodologies IIoT, le jumeau numérique peut être considéré comme le summum de l'industrie 4.0<sup>11</sup>. Le jumeau numérique (DT) désigne la copie ou le modèle virtuel de toute entité ou processus physique, par exemple un équipement de congélation cryogénique. Le jumeau numérique et l'appareil ou le processus physique sont interconnectés via l'échange de données en temps réel pour maintenir le jumeau numérique en phase avec son équivalent dans le monde réel. Conceptuellement, un DT imite l'état de son jumeau physique en temps réel et vice versa<sup>12</sup>. Les applications du DT dans l'industrie de la congélation cryogénique comprennent l'optimisation, la prise de décision, l'accès à distance, etc. Les types de jumeaux numériques qui peuvent être mis en œuvre vont du plus simple (modèle numérique) sans échange de données, à l'ombre numérique avec échange de données unidirectionnel, et au jumeau numérique complet avec échange de données bidirectionnel<sup>13</sup>. Un jumeau numérique peut afficher les paramètres clés d'un équipement ou d'un processus, tels que son efficacité de fonctionnement et les alarmes ou avertissements éventuels. Il peut analyser les conditions de fonctionnement actuelles d'un équipement cryogénique et formuler des recommandations basées sur les meilleures pratiques en temps réel afin de garantir que l'équipement fonctionne aussi efficacement que possible. Ces recommandations peuvent être affichées sur un tableau de bord en ligne ou une application mobile, ou les résultats peuvent être renvoyés à l'équipement pour être affichés localement afin que les opérateurs puissent agir en conséquence.

La grande quantité de données recueillies lors du fonctionnement quotidien de l'équipement peut être analysée à l'aide de modèles d'apprentissage au-

tomatique (ML) afin de mieux comprendre votre processus de congélation cryogénique. L'apprentissage automatique est un sous-ensemble de l'intelligence artificielle (IA), qui utilise des algorithmes qui acquièrent des connaissances à partir des données pour faire des prédictions<sup>14</sup>. En saisissant les données de production et les paramètres clés du processus pour le produit à congeler, comme le type de produit congelé, la température avant la congélation du produit, le poids, la température après la congélation du produit, etc., un modèle d'apprentissage automatique peut faire des recommandations sur la manière de résoudre des problèmes comme l'amélioration du rendement, l'efficacité de la congélation, etc. Les conditions de fonctionnement varient en fonction de l'application de congélation cryogénique ; les modèles doivent être entraînés à l'aide d'ensembles de données appropriés pour s'assurer que le modèle fonctionne dans des conditions de fonctionnement étendues ; les modèles d'auto-apprentissage qui s'améliorent et s'adaptent au fil du temps doivent être utilisés dans la mesure du possible.

#### La plateforme de la technologie intelligente, Freshline.



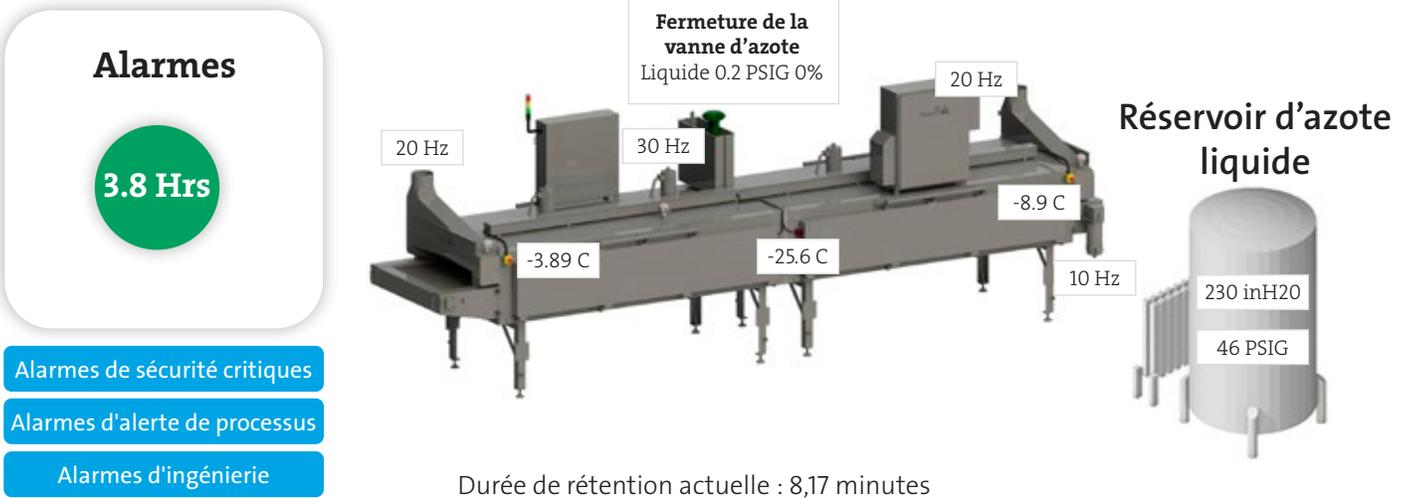
## Technologie intelligente Smart d'Air Products

Air Products a développé sa suite de technologies IIoT et Industrie 4.0 exclusives, collectivement appelées Air Products Smart Technology. Presque tous les équipements industriels peuvent être adaptés à l'IdO grâce à la technologie intelligente Smart, d'Air Products. Dans l'industrie de la congélation cryogénique, la surveillance en temps réel des équipements peut être activée avec un minimum d'effort en utilisant des dispositifs IdO exclusifs et les données peuvent être visualisées à l'aide de l'interface web [apsmartview.com](https://apsmartview.com). En plus de la surveillance en temps réel des données, Air Products propose des alertes textuelles et électroniques, ainsi que des rapports personnalisés pour aider à améliorer l'efficacité de la production.

Les tableaux de bord en ligne affichent les données clés de l'équipement et tous les avertissements/alarmes actifs dans un format facile à comprendre. Les tableaux de bord améliorent également la qualité de l'assistance technique en aidant un expert d'Air Products à résoudre les problèmes en accédant à distance aux données actuelles et historiques de l'équipement et du processus. Grâce à la caméra brevetée de détection des aliments, les congélateurs Air Products peuvent s'adapter aux différents niveaux de chargement de la bande en passant de manière autonome d'un mode de fonctionnement à l'autre, ce qui permet d'utiliser efficacement chaque goutte de cryogène.

**La technologie intelligente Smart d'Air Products vous permet d'accéder en direct au tableau de bord de votre modèle de congélateur. Accédez facilement aux données de votre congélateur en temps réel. Toutes les données sont stockées en toute sécurité sur notre serveur basé sur le cloud.**

Congélateur IQ Freshline® – Mode actuel : au repos/manuel



Solutions de technologie intelligentes personnalisées aussi disponibles pour d'autres types de congélateurs (MP, IQ, IQF), des mélanges, et plus encore.

## Conclusion

Ce document traite de la mise en œuvre de l'IIoT, des technologies de l'industrie 4.0, et des défis associés à la mise en œuvre de ces technologies. Le document aborde ensuite les diverses applications et avantages de ces technologies, comme la surveillance des données en temps réel, la maintenance prédictive, l'utilisation de la ML pour faire des recommandations sur la façon d'exploiter votre équipement, et comment ces applications peuvent être utilisées pour s'assurer que vos équipements/processus cryogéniques fonctionnent aussi efficacement que possible pour aider à améliorer les marges d'exploitation.

La Technologie intelligente Smart d'Air Products propose une large gamme de solutions IIoT et Industrie 4.0 pour vous aider à surveiller, analyser et améliorer l'efficacité du processus de congélation cryogénique. Pour plus d'informations, vous pouvez visiter le site web [Freshline Smart Technology](https://freshline-smart-technology.com) ou contacter un expert Air Products en utilisant le lien [Contactez-nous](#).

## Références

1. V. Vijayaraghavan and J. R. Leevinson, "Internet of Things Applications and use cases in the era of industry 4.0," in Computer communications and networks, 2019, pp. 279–298. doi: 10.1007/978-3-030-24892-5\_12.
2. G. Immerman, "Industry 4.0 vs. Industrial IoT: What's the Difference?," MachineMetrics, Nov. 23, 2022. <https://www.machinemetrics.com/blog/industry-4-0-internet-of-things-what-s-the-difference>
3. L. Da Xu, W. He, and S. Li, "Internet of Things in Industries: A survey," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 10, no. 4, pp. 2233–2243, Nov. 2014, doi: 10.1109/tii.2014.2300753.
4. X. Jia, Q. Feng, T. Fan and Q. Lei, "RFID technology and its applications in Internet of Things (IoT)," 2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), Yichang, China, 2012, pp. 1282-1285, doi: 10.1109/CECNet.2012.6201508.
5. M. C. Domingo, "An overview of the Internet of Things for people with disabilities," Journal of Network and Computer Applications, vol. 35, no. 2, pp. 584–596, Mar. 2012, doi: 10.1016/j.jnca.2011.10.015.
6. L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," Computer Networks, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, Oct. 2010, doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
7. C. H. Liu, B. Yang, and T. Liu, "Efficient naming, addressing and profile services in Internet-of-Things sensory environments," Ad Hoc Networks, vol. 18, pp. 85–101, Jul. 2014, doi: 10.1016/j.adhoc.2013.02.008.
8. A. A. Ari et al., "Enabling privacy and security in Cloud of Things: Architecture, applications, security & privacy challenges," Applied Computing and Informatics, vol. 20, no. 1/2, pp. 119–141, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.aci.2019.11.005.
9. H. Dadhaneeya, P. K. Nema, and V. K. Arora, "Internet of Things in food processing and its potential in Industry 4.0 era: A review," Trends in Food Science & Technology, vol. 139, p. 104109, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.tifs.2023.07.006.
10. A. A. Manjare and B. G. Patil, "A Review: Condition Based Techniques and Predictive Maintenance for Motor," 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS), Coimbatore, India, pp. 807-813, 2021, doi: 10.1109/ICAIS50930.2021.9395903.
11. Martin Lawrence, and Reed J. Hendershot, "Harnessing Industry 4.0 to optimize performance in the aluminum industry," Light Metal Age, June 2020 pp.10-14.
12. M. Singh, E. Fuenmayor, E. P. Hinchy, Y. Qiao, N. Murray, and D. M. Devine, "Digital Twin: Origin to Future," Applied System Innovation, 2020. <https://doi.org/10.3390/asi4020036>
13. P. Verboven, T. Defraeye, A. K. Datta, and B. Nicolai, "Digital twins of food process operations: the next step for food process models?," Current Opinion in Food Science, vol. 35, pp. 79–87, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.cofs.2020.03.002.
14. M. Crabtree, "What is Machine Learning? Definition, Types, Tools & More," Jul. 19, 2023. <https://www.datacamp.com/blog/what-is-machine-learning>



Pour plus d'informations,  
veuillez nous contacter à  
l'adresse suivante

**Air Products Canada Ltd.**  
2233 Argentinia Rd, Suite 203  
Mississauga, ON L5N 2X7

[airproducts.ca](https://airproducts.ca)



GÉNÉRONS UN AVENIR PLUS DURABLE