

# Le travail au sein de l'industrie 4.0 : réalités, défis et perspectives en santé et sécurité au travail

Présentation de

**Denys Denis**, ergonome – Ph.D. [denis.denys@irsst.qc.ca](mailto:denis.denys@irsst.qc.ca)



12 octobre 2018



## Intentions à la base de cette présentation



-  Vous familiariser avec le concept de l'Industrie 4.0
-  Anticiper les conséquences pouvant en découler en termes de SST : prédictions ou projections
-  Donner des exemples concrets de la manière dont l'IRSST se préoccupe de cette problématique



## Plan de la présentation



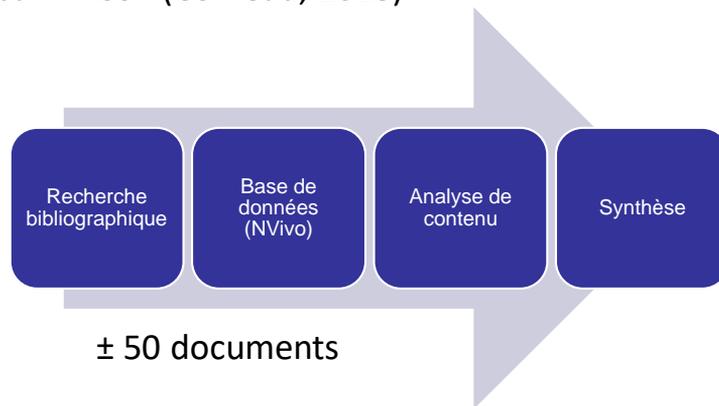
- 📶 Qu'est-ce que l'Industrie 4.0 ? Un portrait
- 📶 Est-elle présente au Québec ? Des tendances
- 📶 À quoi peut-on s'attendre comme impacts en SST ? Des projections
- 📶 Que fait l'IRSST pour traiter de ces questions ?



## Précisions méthodologiques



- 📶 Résultats présentés issus d'un état de la question sur l'Industrie 4.0 dans le secteur industriel produit par l'IRSST (Comeau, 2018).





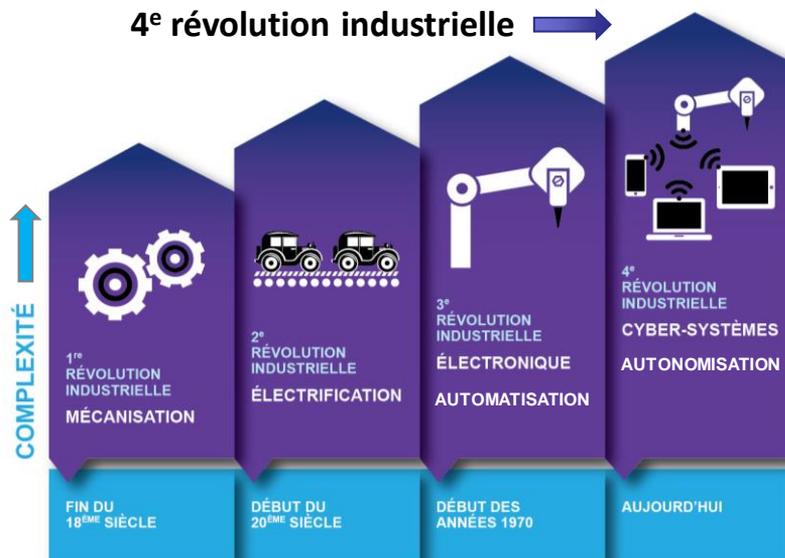
## Précisions méthodologiques



Technologies	Nombre d'articles / rapports (n=18)
Internet des objets	15 (83%)
Système cyber-physique	12 (67%)
Capteur	11 (61%)
Mégadonnées	11 (61%)
Infonuagique	10 (56%)
Machine autonome	8 (44%)
Intelligence artificielle	7 (39%)



## Qu'est-ce que l'Industrie 4.0 ?



Source: <http://www.jamec.ca/blogue/industrie-revolution-industrielle/>



## Qu'est-ce que l'Industrie 4.0 ?



### Transition vers la 4<sup>e</sup> révolution industrielle

*Transforme notre façon de travailler, de nous informer et de communiquer*



## Qu'est-ce que l'Industrie 4.0 ?



### Nomenclature : origine allemande (2011)

- Termes nombreux et imprécis :
  - ✓ « usine intelligente », « smart industry », « usine du futur », « digital factory », « smart manufacturing », « 4<sup>e</sup> révolution industrielle », etc.
- Pas de définition unanime ou consensuelle
- Vocabulaire (mots clés) au cœur de l'Industrie 4.0 :
  - ✓ Système autonome : « automatisation intelligente », « digitalisation », « logicialisation », « numérisation », etc.



## Industrie 4.0 : illustration



Un entrepôt automatisé  
et connecté



Source: <https://www.youtube.com/watch?v=JXkMevbja4>



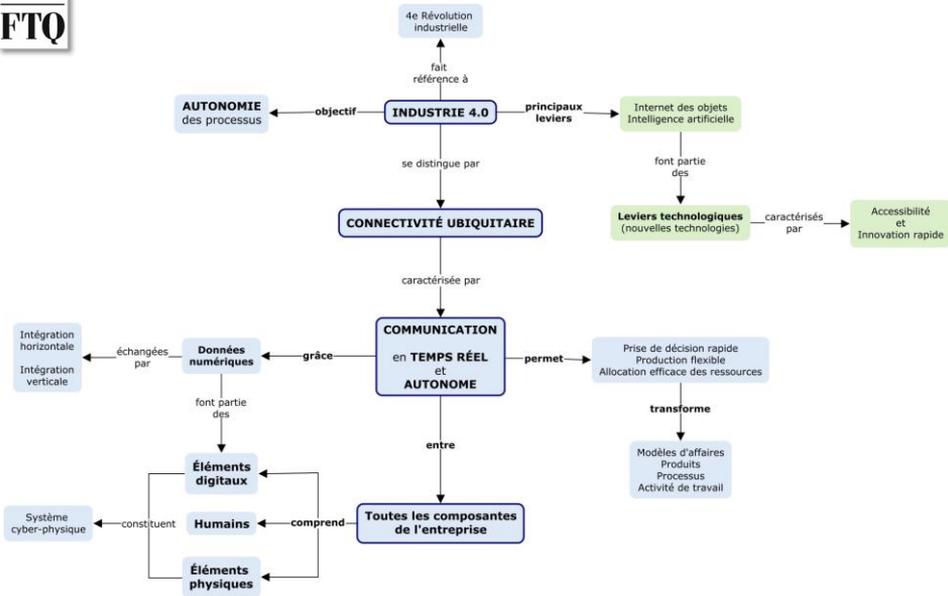
## Qu'est-ce que l'Industrie 4.0 ?



L'Industrie 4.0 utilise l'internet des objets dans la production. Certains parlent d'un concept marketing appliqué aux systèmes cyber-physiques. Ces systèmes permettent de développer une gamme de services liés à l'exploitation des données que génèrent la technologie (machines, équipements, etc.). Ces données peuvent être vendues, au même titre que la technologie qui les produisent, permettant ainsi de développer de nouveaux modèles d'affaires. C'est l'usage de la technologie qui prime, et non plus juste la technologie en elle-même.



# Industrie 4.0 : carte conceptuelle

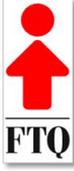


# Qu'est-ce que l'Industrie 4.0 ?



- 📶 Omniprésence de la technologie « connectée » et [de plus en plus] « autonome »

INPUT CAPTEURS



## Exemples de capteurs de mvvt.



ACCÉLÉROMÈTRE



CAPTEUR DE FLEXION



CAPTEUR DE PETITES VIBRATIONS



DETECTEUR D'OBSTACLE



CAPTEUR PIÉZOÉLECTRIQUE



CAPTEUR DE MOUVEMENT PIR



CAPTEUR TILT



CAPTEUR IR "SUIVEUR DE LIGNE"



CAPTEUR ULTRASON



CAPTEUR D'ANGLE



CELLULE DE CHARGE



CAPTEUR EFFET HALL



Source: <http://www.lafabriquediy.com/tutoriel/liste-des-capteurs-229/>



## Technologie connectée et autonome



INFONUAGIQUE

INTERNET DES OBJETS



DONNÉES  
TRANSMISES



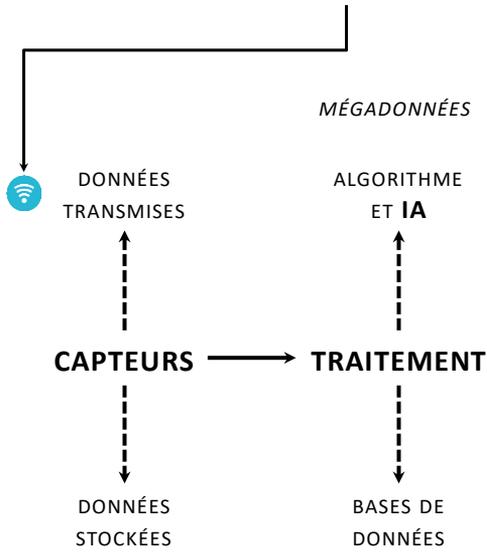
**CAPTEURS**



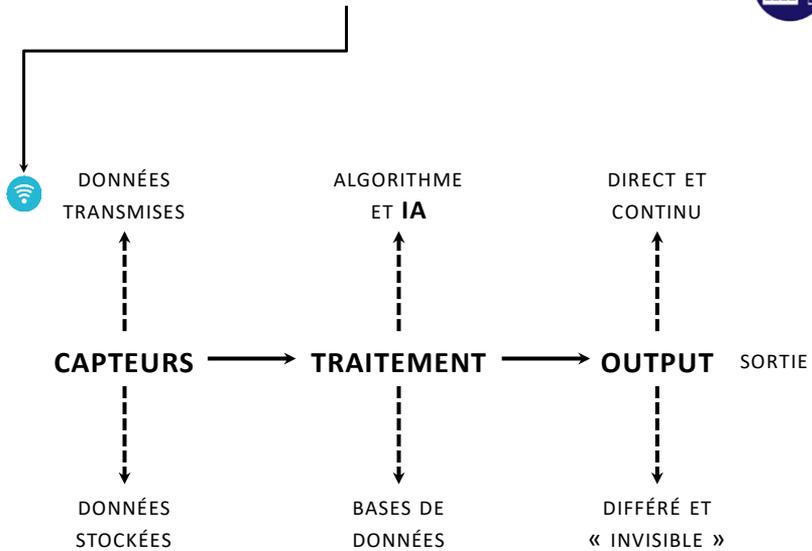
DONNÉES  
STOCKÉES



## Technologie connectée et autonome

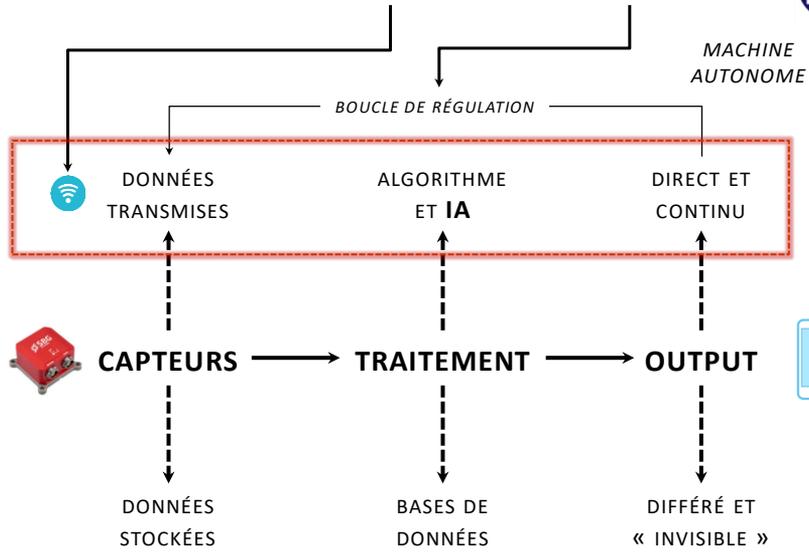


## Technologie connectée et autonome





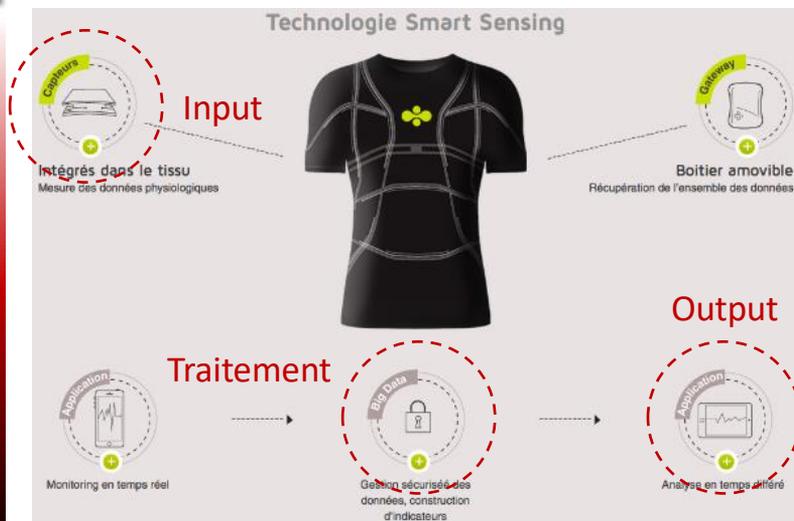
## Technologie connectée et autonome



## Industrie 4.0 : des exemples



### Un *vêtement intelligent* : T-shirt connecté



Source: <https://www.actinnovation.com/innovation-mot-cle/wearable-technology>



## Industrie 4.0 : des exemples (2)



### Un *exosquelette*



Augmente les capacités motrices (force, endurance)



Source: INRS, France



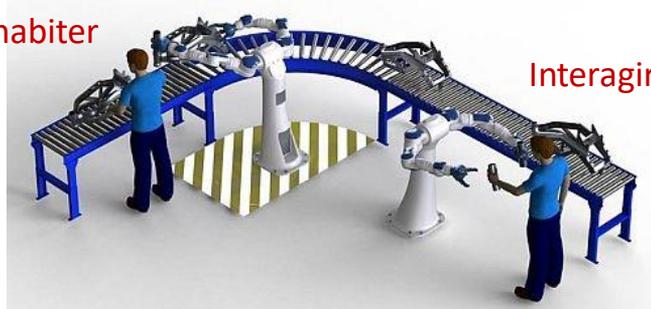
## Industrie 4.0 : des exemples (3)



Un *cobot* ou robot collaboratif



Cohabiter



Interagir

Source: <https://www.sirris.be/fr/blog/votre-prochain-collaborateur-sera-t-il-un-cobot>



## Industrie 4.0 : des exemples (4)



Le **voice-picking** ou commande vocale



Source: <https://www.zetes.com/fr/solutions-logistiques/voice-picking>



## S.O.I.F. de technologies ?



Comment catégoriser les technologies pour mieux en comprendre les impacts ? Une tentative...

**S.** : quel Système humain est concerné ?

**O.** : quel est l'Objectif poursuivi ?

**I.** : quel est le type d'Interaction homme-machine ?

**F.** : quel est le mode de Fonctionnement ?



## S.O.I.F. de technologies ?



Comment catégoriser les technologies pour mieux en comprendre les impacts ? Une tentative...

**S.** : *a.* Perceptivo-cognitif; *b.* Sensori-moteur; *c.* Psychosocial

**O.** : *a.* Production; *b.* Protection; *c.* Intégration-Formation

← DIRECTE →      ← INDIRECTE →

**I.** : *a.* Porter; *b.* Manipuler; *c.* Interagir; *d.* Cohabiter

**F.** : Input (entrée) => Traitement – analyse => Output (sortie)

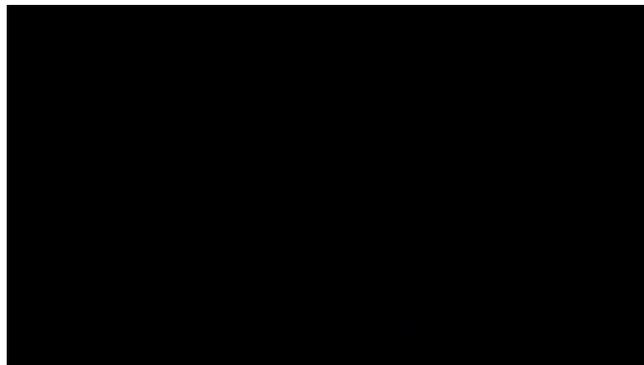
FLUX DES DONNÉES



## S.O.I.F. de technologies ?



Formation des travailleurs : *lunette DAQRI*



**S.** : Perceptivo-cognitif

**O.** : Intégration-Formation

**I.** : Porter

**F.** : P. ex. Input (entrée) => Direction du regard



# Industrie 4.0 : portrait au Québec



STRATÉGIE NUMÉRIQUE DU QUÉBEC

## ENQUÊTE SUR LA PERCEPTION DE L'INDUSTRIE 4.0

POUR EN CONNAÎTRE D'AVANTAGE SUR LES IMPRESSIONS ET LES CONNAISSANCES DES DIRIGEANTS À L'ÉGARD DE L'INDUSTRIE 4.0

**500 CHEFS D'ENTREPRISE INTERROGÉS**

**55 %** DES ENTREPRISES MANUFACTURIÈRES SAVENT QUE L'INDUSTRIE 4.0 EST UNE NOUVELLE RÉVOLUTION INDUSTRIELLE

**22 %** DES ENTREPRISES ONT ÉLABORÉ UN PLAN OU UNE STRATÉGIE NUMÉRIQUE EN LIEN AVEC L'INDUSTRIE 4.0

**8 %** DES ENTREPRISES ONT MIS EN PLACE DES PROCESSUS DE PRODUCTION SOUTENUS PAR UN PRODIGE INTÉGRÉ OU DES SOLUTIONS INTERCONNECTÉES

**62 %** DES DIRIGEANTS INTERROGÉS DISENT AVOIR L'INTENTION D'INTENSIFIER L'USAGE DU NUMÉRIQUE AU COURS DES PROCHAINES ANNÉES

**LES DIRIGEANTS VOIENT DANS LE 4.0 UNE OCCASION D'AMÉLIORER :**

- LEURS PROCESSUS DE PRODUCTION (63%)
- LEURS PROCESSUS DE GESTION (72%)
- LEUR MODÈLE D'AFFAIRES (59%)

**SST ?**

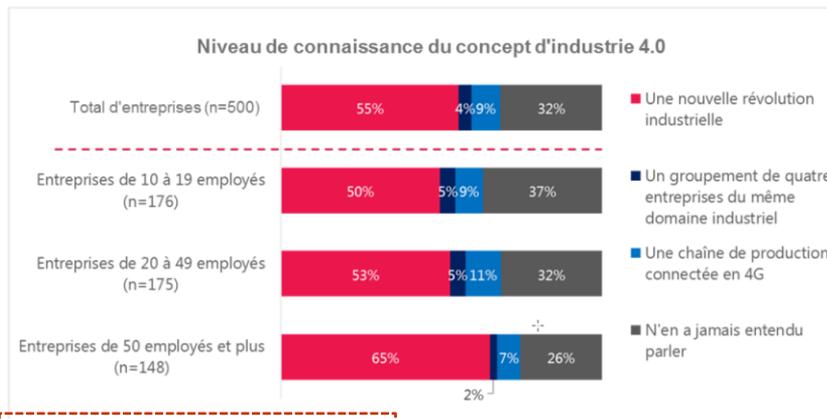
ENSEMBLE on fait avancer le Québec

economie.gouv.qc.ca/strategie numerique

Québec



# Industrie 4.0 : portrait au Québec



Source : INDUSTRIE 4.0. Enquête auprès des entreprises manufacturières du Québec, Juin 2017



## Industrie 4.0 : portrait au Québec



### Industrie 4.0 au Québec :

- 62% des dirigeants d'entreprise prévoient augmenter l'usage des nouvelles technologies :
  - ✓ Robotisation : 61%
  - ✓ Internet des objets : 48%
  - ✓ Infonuagique : 43%
- Barrières : financement et manque d'expertise à l'interne

Source : Enquête du CEFRIO (Bourget et coll., 2018)



## Industrie 4.0 : impacts SST



Encore très peu d'articles traitent des enjeux en SST (Bradi, 2018).

Trois grands domaines considérés :

1. **Les emplois dans l'Industrie 4.0**
2. **Automatisation intelligente et présence accrue du digital**
3. **Cohabitation humain-robot**



# Impact SST #1 : les emplois



## 1.1 Gains, pertes ou transformation des emplois

Impact incertain de l'essor de l'I4.0 sur les emplois

## 1.2 Compétences requises dans l'I4.0

Nouvelles technologies et leviers technologiques : impact sur les besoins en compétences

## 1.3 Travailleurs séniors

Travailleurs séniors et utilisation des technologies

## 1.4 Formation à l'ère du 4.0

- a. Évolution rapide des nouvelles technologies
- b. Opportunités provenant de l'environnement intelligent
- c. Utilisation des nouvelles technologies comme outil de formation



# 1.1 Les emplois : gains vs pertes



Avec l'adoption de l'intelligence artificielle et de l'automatisation, les compétences évolueront de manière différenciée entre secteurs

Fondé sur le modèle des compétences de la main-d'œuvre globale développé par le McKinsey Global Institute

Négatif Positif

Compétences	Banque et assurance	Energie et exploitation minière	Santé	Industrie manufacturière	Grande consommation
Physiques et manuelles					
Cognitives simples					
Cognitives complexes					
Sociales et émotionnelles					
Technologiques					

NOTE: Différence entre les heures travaillées correspondant à chaque catégorie de compétences en 2016 et les heures travaillées modélisées à horizon 2030. Europe de l'Ouest : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Italie, Norvège, Pays-Bas, Suède, Suisse et Royaume-Uni.

SOURCE: modèle des compétences de la main-d'œuvre globale du McKinsey Global Institute; analyses du McKinsey Global Institute

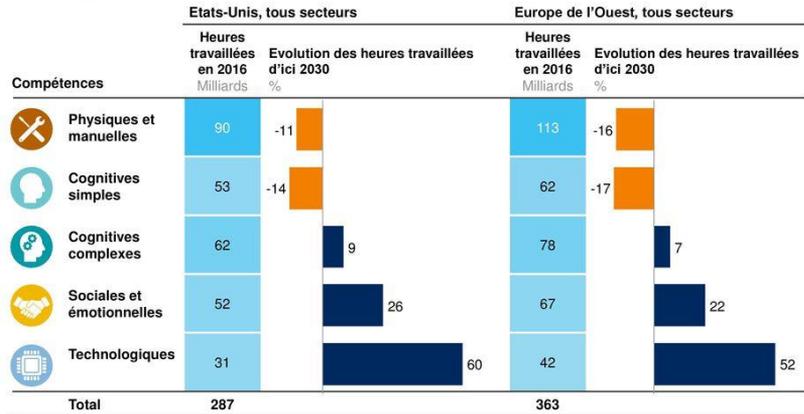


## 1.2 Les emplois : compétences



L'automatisation et l'intelligence artificielle vont accélérer les évolutions nécessaires des compétences de la main-d'œuvre

Fondé sur le modèle des compétences de la main-d'œuvre globale développé par le McKinsey Global Institute



NOTE: Europe de l'Ouest : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Italie, Norvège, Pays-Bas, Suède, Suisse et Royaume-Uni. Chiffres arrondis.  
SOURCE: modèle des compétences de la main-d'œuvre globale du McKinsey Global Institute; analyses du McKinsey Global Institute

McKinsey & Company 2



## 1.4 La formation et l'Industrie 4.0



### Enjeux

a. Évolution rapide des nouvelles technologies

### Opportunités et défis en SST

Besoin de formation en continu / mises à jour

- Augmentation de la charge cognitive
- Recommandations : formation en milieu de travail; aux postes; transfert d'expertise entre travailleurs



## 1.4 La formation et l'Industrie 4.0



Enjeux	Opportunités et défis en SST
<p>b. Opportunités provenant de l'environnement intelligent</p>	<p>Données de l'environnement intelligent (IA):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Opportunités de formations adaptées et personnalisées (prévoir le comportement d'apprentissage, créer des parcours d'apprentissage, évaluer le niveau de connaissances et le progrès du travailleur)</li> </ul>



## 1.4 La formation et l'Industrie 4.0



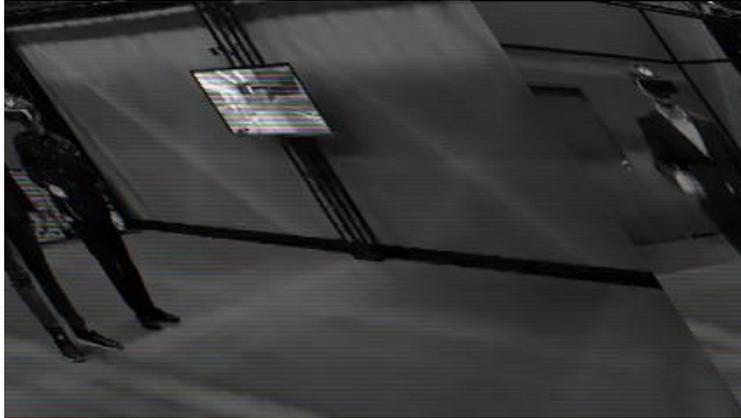
Enjeux	Opportunités et défis en SST
<p>c. Utilisation des nouvelles technologies comme outil de formation</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmission d'information via les objets connectés</li> <li>• Opportunités de formation immersive</li> <li>• Faciliter la communication et transmission d'information sur la SST en brisant les barrières linguistiques, géographiques et culturelles</li> <li>• Soutien des travailleurs pendant la réalisation de tâches</li> </ul>



## La formation : un exemple



Formation immersive : lunettes de réalité virtuelle de *Interactive Lab*



Source : <https://www.youtube.com/watch?v=0NormS9Slow>



## Impact SST #2 : automatisation



### 2.1 Flexibilité de la production

- a. Connexion en continu
- b. Travail à distance avec des appareils électroniques mobiles

### 2.2 La cyber-sécurité

Omniprésence du numérique et risque de piratage informatique : prise de contrôle des objets et des données

### 2.3 Exposition aux champs électromagnétiques

Multiplication des connexions à distance entre les objets : hausse des champs électromagnétiques

### 2.4 Prévention en SST ou surveillance?

Motifs de la collecte et utilisation des données récoltées dans l'I4.0



## 2.4 Surveillance et Industrie 4.0



Enjeux	Opportunités et défis en SST
<p>Motifs de la collecte et utilisation des données récoltées dans l'I4.0</p>	<p>Mesurer l'exposition aux risques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Assurer un meilleur contrôle et suivi des risques</li> <li>• Faciliter l'analyse des accidents et incidents</li> <li>• Comptabiliser et analyser l'efficacité des interventions de prévention en SST</li> <li>• Production flexible dans l'I4.0: besoin d'évaluation du risque en temps réel</li> </ul>



## 2.4 Surveillance et Industrie 4.0



Enjeux	Opportunités et défis en SST
<p>Motifs de la collecte et utilisation des données récoltées dans l'I4.0</p>	<p>Collecter des données sur les travailleurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitorer la performance (rythme de travail, de complétion d'une tâche) : possibilité d'intensification du travail; réduction de la marge de manœuvre et de l'autonomie; risques psychosociaux et physiques</li> <li>• Collecter des données biométriques: enjeux de confidentialité et de discrimination</li> </ul>



## Impact SST #3 : cohabitation



### 3.1 Répartition des tâches

Possibilité d'attribuer certaines tâches à des machines autonomes (automatisation intelligente)

### 3.2 Travailler au rythme des machines

- a. Possibilité que l'organisation du travail soit planifiée par un système autonome
- b. Écart entre le rythme de travail de l'humain et de la machine

### 3.3 Déshumanisation du travail

Diminution des contacts avec d'autres humains ou augmentation des contacts virtuels



## Déshumanisation et Industrie 4.0



Enjeux	Opportunités et défis en SST
Diminution des contacts avec d'autres humains ou augmentation des contacts virtuels	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dissolution des collectifs de travail : risque de destruction du sens du travail; réduction du soutien; sentiment d'isolement</li> <li>• Possibilité de faciliter l'interaction humain-machine: capacité des machines autonomes à interpréter les émotions humaines</li> </ul>



## Déshumanisation et Industrie 4.0



### Enjeux

Diminution des contacts avec d'autres humains ou augmentation des contacts virtuels

### Opportunités et défis en SST

- Risque psychosociaux et automatisation intelligente : peu de connaissances et importance soulevée dans la littérature
- Risques mécaniques et physiques (p.ex., risques de collision)



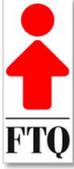
## Déshumanisation : un exemple



### Le système à commande vocale (*voice picking*):

Enjeux soulevés par l'INRS (2009) et le reportage de « Cash investigation »

- **Monitoring** de l'activité des travailleurs: pression à produire plus;
- **Organisation du travail dicté par le système** : dépendance à la machine ; marges de manœuvres et le sentiment de contrôle de l'activité sont réduites;
- **Déshumanisation du travail** : réduction du lien social ; les interactions se font avec la machine ; diminution de la conscience de l'effort et de la perception de l'environnement ; charge mentale.



## 14.0 et SST : quoi en retenir ?



- Développements en plein essor : monde foisonnant
- Encore beaucoup de zones d'ombre : projections plus que réalité concrète. En transition;
- Bien sûr des défis, mais aussi des opportunités à saisir pour la prévention (et la réadaptation);
- Prudence : phénomène « marketing ». Il faut accompagner : analyser le travail réel. Relation technologie – besoins;
- Ressources compétentes pour accompagner ?



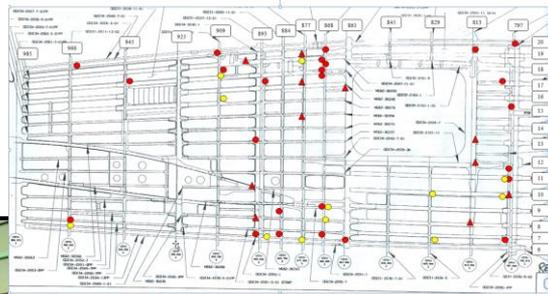
## Comprendre le travail, avant de penser à la technologie



Contrôle qualité dans le secteur aéronautique :



± 75%  
Contrôle  
tactile



Mauvais :  
filetage visible



Bon :  
filetage non visible



Contrôle visuel

± 25%



## Recherches à l'IRSST : aperçu



-  Projet « Cobot »
-  Projet « Textile intelligent »
-  Projet « Avatars »



## Projet « Cobot »



### Sécurisation de cellules cobotiques : comparaison d'activités d'intégration en laboratoire

*S. Jocelyn, D. Burlet-Vienney, L. Giraud, D. Denis, (IRSST), É. Ledoux (UQAM), Y. Chinniah (Polytechnique Montréal), I. Bonev (ÉTS)*

Avec la venue des robots collaboratifs (cobots), le contact ou le partage de l'espace de travail entre l'humain et le robot en mouvement sont possibles. Pour sécuriser cet espace, la norme ISO 10218-1 prévoit quatre modes de fonctionnement collaboratifs **L'étude exploratoire #2014-0046 de l'IRSST a révélé que les entreprises trouvaient complexe la mise en œuvre de ces modes.** Par ailleurs, la littérature indique qu'un outil d'appréciation du risque propre à la cobotique s'impose. Pour répondre aux besoins exprimés, il faut d'abord bien comprendre le processus d'intégration d'un cobot. À cette fin, la présente étude vise à identifier, en laboratoire, les dimensions essentielles au processus d'intégration sécuritaire de cellules cobotiques, en considérant les variabilités inhérentes à la tâche à cobotiser et à l'intégrateur.



## Rapport « robotique collaborative »



Robotique collaborative  
**Évaluation des fonctions de sécurité  
 et retour d'expérience des travailleurs,  
 utilisateurs et intégrateurs au Québec**

Sabrina Jocelyn  
 Damien Burlet-Vienney  
 Laurent Giraud  
 Adel Sghaier

RAPPORTS  
 SCIENTIFIQUES

R-974



## Projet « Textile intelligent »



**Titre :** Analyse du potentiel d'application des textiles intelligents en santé et en sécurité au travail. **Rapport R-1029.**

### Résumé

Les textiles intelligents sont des structures capables de détecter, de réagir et de s'adapter à un grand nombre de stimuli : électriques, magnétiques, thermiques, optiques, acoustiques, mécaniques, chimiques, etc. Ils offrent potentiellement des perspectives très intéressantes dans le domaine de la santé et de la sécurité au travail, par exemple, pour des systèmes de localisation intégrés, le suivi des conditions physiologiques des travailleurs, des systèmes chauffants et refroidissants intégrés, des dispositifs de communication, la captation d'énergie, etc. Cette étude avait pour objectif de réaliser une synthèse des connaissances tirées de la littérature technique et scientifique et d'identifier les technologies, solutions et produits sur le marché des textiles intelligents qui peuvent avoir des applications en santé et en sécurité au travail (SST), afin de mettre en évidence des pistes de recherche et de développement dans ce domaine.



## Rapport « Textile intelligent »



**Analyse du potentiel d'application  
des textiles intelligents en santé et  
en sécurité au travail**

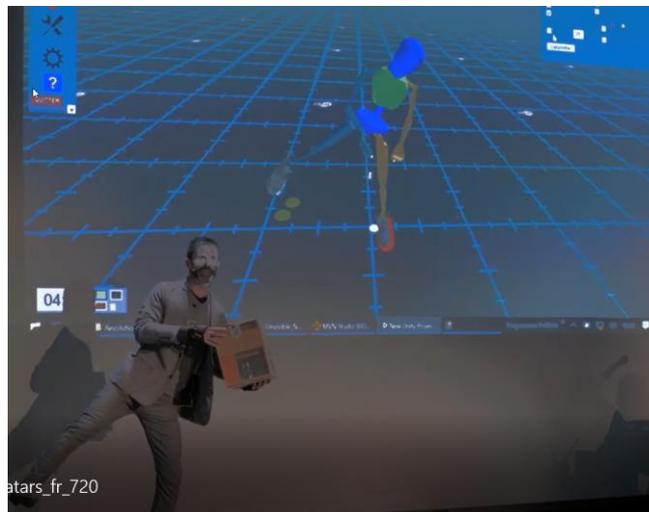
Patricia Dolez  
Justine Decaens  
Thibaut Buns  
Dominic Lachapelle  
Olivier Vermeersch  
Jacek Mlynarek

RAPPORTS  
SCIENTIFIQUES

R-1029



## Projet « Avatars »



Source : <http://www.irsst.qc.ca/publications-et-outils/video/i/100367/h/voir-invisible-utilisation-avatars>