

# Prévenir les erreurs humaines dans les tâches de maintenance industrielle: vers une sécurité renforcée



Prof. Yaniel Torres ing., Ph.D.  
Faculté Nationale de Santé Publique  
Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia



---

Congrès de l'AQHSST

Salaberry-de-Valleyfield, 23 mai 2024

# Agenda



01

## Introduction

- Accident mortel à l'UdeM et Brève histoire personnelle...
- Maintenance industrielle et ces deux moments critiques.
- Contrôle de source d'énergie, cadre légale, statistiques.

02

## Erreur humaine dans la maintenance

- Concept d'erreur humaine et exemples.
- Cadre conceptuel pour comprendre l'erreur.
- Erreur humaine et cadenassage.

03

## Les précurseurs d'erreurs

- Définition de précurseurs d'erreurs
- Exemples

04

## Considérations finales

# Introduction

# Accident mortel UdeM

19 févr. 2016

Un homme est mort dans un accident de travail hier après-midi sur le campus de l'Université de Montréal (UdM). Vers 14 h 10, un travailleur s'est gravement blessé au bras en effectuant l'entretien de la rampe mobile âgée d'un demi-siècle qui relie la station de métro Université-de-Montréal et le pavillon Roger-Gaudry. Il a ensuite succombé à ses blessures à l'hôpital. Selon nos informations, le travailleur se trouvait en dessous de la structure mécanique au moment de l'accident.

## Accident de travail mortel à l'Université de Montréal

LA  
PRESSE



PHOTO MARTIN TREMBLAY, LA PRESSE

L'accident est survenu au pavillon Roger-Gaudry.

# Accident mortel UdeM

## Description de l'accident

Dans l'après-midi du 19 février 2016, une équipe de travailleurs d'Ascenseurs Viau inc. composée d' [ D ] et de [ E ], se rend à l'Université de Montréal pour y effectuer l'entretien hebdomadaire d'un trottoir roulant appelé la rampe 2.

Vers 14 h 05, avec l'accord de [ D ], [ E ] descend seul à la salle mécanique située au sous-sol pour faire l'inspection visuelle du cylindre d'entraînement de la rampe 2 qui est en marche. Pendant ce temps, [ D ] reste à l'entrée du local d'accès pour discuter au téléphone avec [ F ] puisque les téléphones cellulaires ne fonctionnent pas au sous-sol.

Pendant cette conversation, vers 14 h 07, [ D ] entend [ E ] crier. Il descend immédiatement dans la salle mécanique et y retrouve [ E ], qui n'a plus de bras gauche, près des équipements mécaniques de la rampe 2 qui n'est plus en marche. Il lui porte immédiatement secours. Il est ensuite secondé par des passants et par la sécurité de l'Université. Le Service de sécurité incendie de Montréal (SIM), le Service de police de la Ville de Montréal (SPVM) et les ambulanciers arrivent quelques minutes plus tard.

## Conséquences

[ E ] est transporté à l'hôpital où son décès est confirmé.

**CNESST**

**RAPPORT  
D'ENQUÊTE**

Dossier d'intervention  
DPI4232568

Numéro du rapport  
RAP1085420

EN004103

## **RAPPORT D'ENQUÊTE**

**Accident mortel survenu à un travailleur d'Ascenseurs Viau inc.  
le 19 février 2016 à l'Université de Montréal, à l'angle du  
chemin de la Rampe et du boulevard Édouard-Montpetit, à Montréal,  
arrondissement de Côte-des-Neiges-Notre-Dame-de-Grâce**

**Direction régionale de Montréal-2**

**VERSION DÉPERSONNALISÉE**

**Inspecteurs :**

Isabelle Lalonde

Éric Dupont, ing.

**Date du rapport : 22 août 2016**

# Accident mortel UdeM



Le cercle pointillé jaune indique l'endroit où la main du travailleur a été coincée, entre la courroie et le bas du cylindre en rotation. La fin de la flèche indique jusqu'où la main et le bras ont été entraînés. **Source : CNESST**

## RAPPORT D'ENQUÊTE CNESST

### Cause 1

- Une zone d'entraînement située sous le trottoir roulant est accessible pendant son fonctionnement.

### Cause 2

- Le processus d'identification, de contrôle et d'élimination des phénomènes dangereux liés aux pièces en mouvement de la partie mécanique du trottoir roulant est déficient.

**Qu'est-ce qui a pu se passer pour qu'une "simple" inspection visuelle soit à l'origine d'une telle tragédie ?**

**Une erreur humaine?**

# Maintenance industrielle

L'ensemble des activités destinées à maintenir ou rétablir un bien dans un état spécifié ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise (NF X60-000).

Les activités de maintenance sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management.

- le dépannage
- la réparation
- la vérification
- le contrôle
- le déclassement
- la gestion



afnor  
EDITIONS

NORMES

SECTEURS D'ACTIVITÉ

SERVICES

Afnor EDITIONS > Normes > NF X60-000



## NF X60-000

avril 2016

Norme [En vigueur](#)

### Maintenance industrielle - Fonction maintenance

Le présent document est conçu sous forme de guide, il présente les lignes directrices à prendre en compte pour concevoir le processus maintenance d'une entreprise industrielle ou de service en vue de satisfaire ses enjeux techniques ...

[VOIR PLUS >](#)

# Les deux moments critiques

## **Incident immédiat:**

Se produit pendant l'intervention elle-même, lorsqu'il y a perte de contrôle de la situation et libération d'énergie. Peut conduire à un accident compromettant l'intégrité physique du travailleur.

## **Exemple:**

Intervention sur une machine sans contrôle adéquat de sources d'énergie (contrôle absent ou insuffisant). Le cas de l'accident survenu à l'UdeM sous la rampe d'accès (tapis roulant) en est un exemple.

## **Incident différé:**

Ceci passe inaperçu très souvent. Il n'y a pas de perte de contrôle de la situation ni de libération d'énergie dans l'instant. L'intervention n'a pas été correctement exécutée et entraînera une défaillance du système ultérieurement si pas détecté.

## **Exemple:**

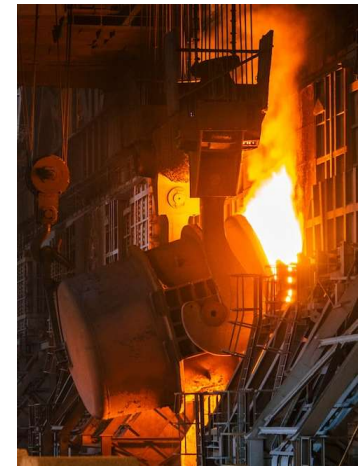
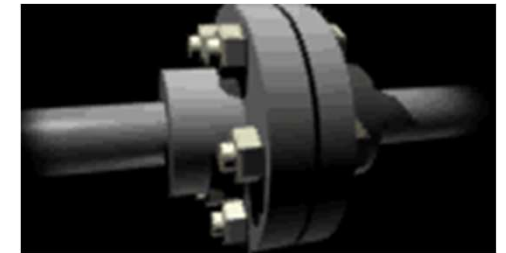
Intervention de maintenance mal exécutée sur une vanne. Des dispositifs de fixation mal serrés entraînent une rupture ultérieure sous l'effet de pressions élevées.



# Contrôle de sources d'énergie

Les machines et les équipements utilisés dans les établissements industriels font appel à différentes sources d'énergie pour fonctionner: électrique, mécanique, hydraulique, pneumatique, thermique ou chimique, entre autres.

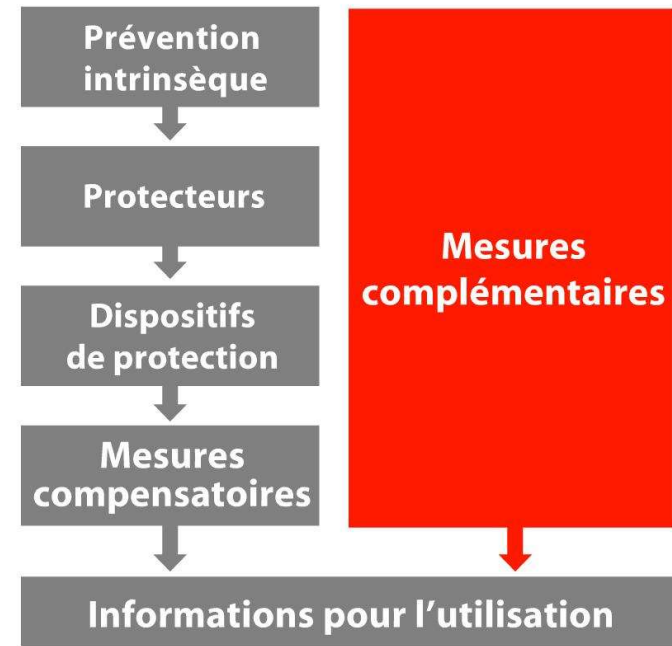
Si ces sources d'énergie ne sont pas correctement contrôlées, les travailleurs de première ligne peuvent s'exposer à des risques d'accident pouvant entraîner des blessures graves, voire mortelles.



# Cadre légale

Au Québec, la maîtrise des énergies dangereuses est une obligation réglementaire de longue date qui a été renforcée depuis 2016.

- Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST, art. 188.1 à 189.1).
- Code de sécurité pour les travaux de la construction (CSTC, sous-section 2.20).
- Politique de tolérance zéro en sécurité des machines de la CNESST.
- Norme CSA Z460-20 « Maîtrise des énergies dangereuses : Cadenassage et autres méthodes »



Source: Mécaprev/INRS

# Statistiques au Québec

## Période entre 2010 et 2022.

- Le nombre moyen annuel d'accidents au Québec lié à l'absence de contrôle des énergies a été de 822.
- Le coût annuel moyen des lésions acceptées a été de 14,5 millions.
- Le nombre moyen de jours avec indemnité de remplacement de revenu a été de 121 jours.

**Source:** Boucher, J. and B. Francis. *La prévention des accidents par le cadenassage et le contrôle des énergies*. in *Le Grand Rendez-Vous de la CNESST*. 2023. Montréal: CNESST



- En termes de morts, on compte environ 4 décès par années au Québec lié à l'absence de contrôle des énergies.

**Source:** Chinniah, Y., et al., *Bilan sur la pratique du cadenassage sur des machines industrielles*. 2019, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) Montréal, Canada. p. 101.



# Réflexion

Que se passe-t-il donc dans le domaine de la maîtrise des énergies dangereuses pour que le nombre d'accidents reste aussi élevé malgré les efforts déployés?

Quels sont ces angles morts que nous ne voyons pas?

Les causes de ces accidents sont variées et de nature complexe. L'une de ces causes c'est l'erreur humaine.

## **CSA Z460: 20 « Maîtrise des énergies dangereuses : Cadenassage et autres méthodes »**

“Selon des études menées dans des secteurs à haut risque, l'erreur humaine est souvent à l'origine d'incidents.”

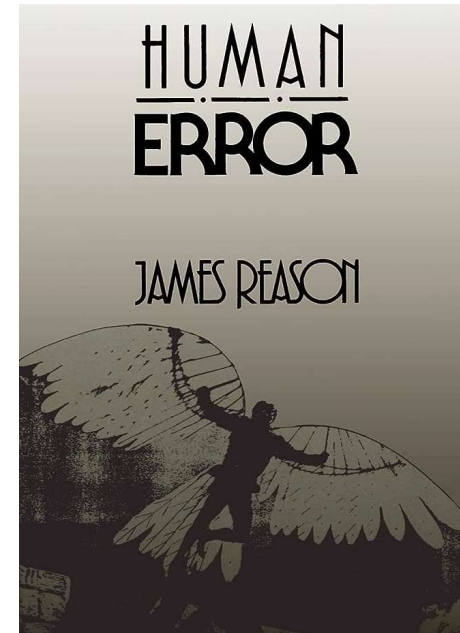
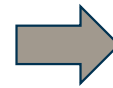
“(…) l'erreur humaine est également une cause profonde fréquente d'incidents impliquant une exposition à une énergie dangereuse ou un contact avec celle-ci.”



# Erreur humaine dans la maintenance

# Erreur humaine

“« Un terme générique pour englober toutes ces occasions pendant lesquelles une séquence planifiée des activités mentales ou physiques n'atteint pas le résultat escompté, et quand ces échecs ne peuvent pas être attribués à l'intervention d'un facteur aléatoire »” (Reason 1990).



 Normes Secteurs À propos de l'ISO Actualités Participer Store



## ISO 14224:2016

Industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel — Collecte et échange de données de fiabilité et de maintenance des équipements

**Publiée** (Edition 3, 2016)

Cette norme a été révisée et confirmée pour la dernière fois en 2022. Cette édition reste donc d'actualité.

Prévisualiser



“Discordance entre l'action humaine effectuée ou omise et l'action prévue ou requise“ (ISO 14224: 2016).

# Exemples

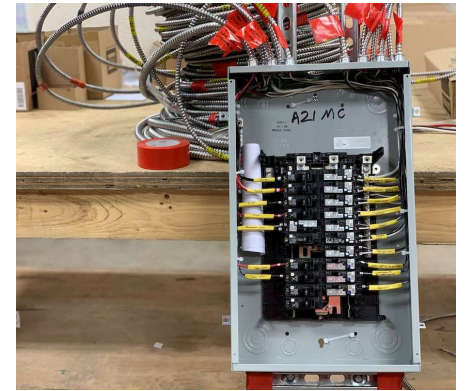
Écrou ou boulon desserré



Lecture erronée d'une valeur



Oubli de brancher un câble



Ouvrir/fermer la mauvaise valve



Mauvais diagnostic



# Exemples

Le 16 septembre 2013, vers 9 h 50, deux travailleurs de l'entreprise Moteurs Électriques Laval Itée interviennent à l'intérieur d'un cabinet électrique à l'usine Kruger Wayagamack inc. Lorsque l'un d'eux effectue une vérification de l'absence de tension avec un multimètre, une forte explosion survient.

Le multimètre de marque « Fluke » modèle 1587 est un appareil conçu pour travailler avec des circuits de 1 000 volts maximum.

## Rapport d'expertise sur le multimètre:

« En conclusion, les dommages physiques internes (...) ont été causés par la circulation d'un fort courant (...) lors du raccordement de celles-ci à une source de tension plus élevée que celle pour laquelle le multimètre a été conçu ».

1 000 Volts



6 900 Volts



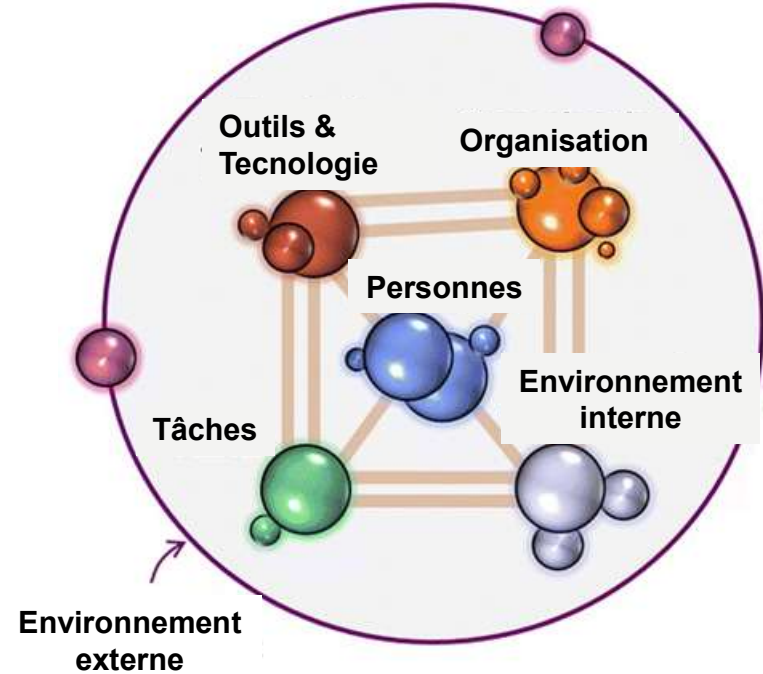


# Approches

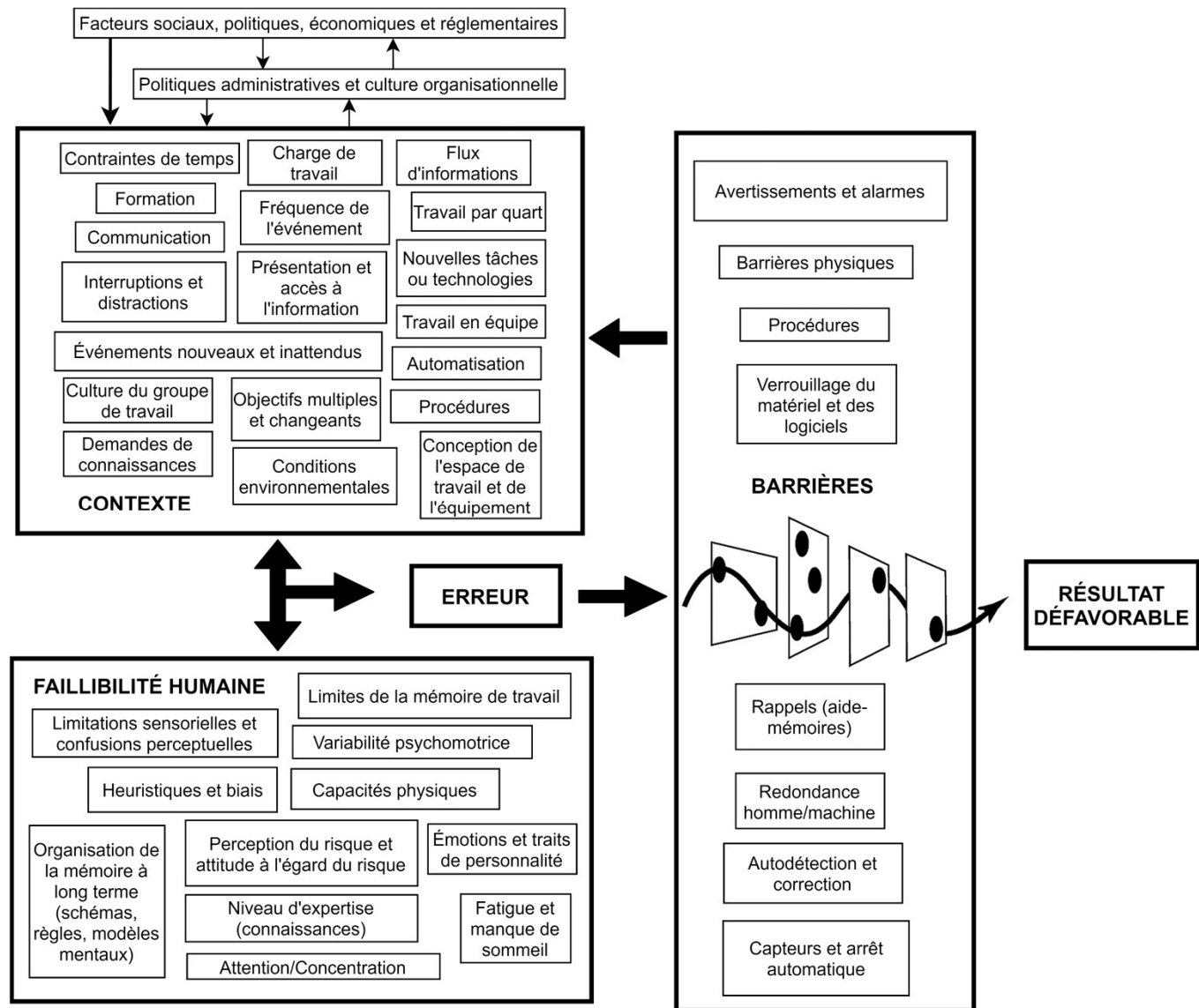
## Personne



## Système de travail



# Cadre conceptuel



**Figure 1.** Cadre pour la compréhension de l'erreur humaine. Traduit en français de Sharit (2006, p.711)

# Erreur humaine et cadenassage

La norme CSA Z460: 20 « Maîtrise des énergies dangereuses : Cadenassage et autres méthodes » a introduit le sujet de l'erreur humaine à partir de 2020.

## Annexe T « Rendement humain et maîtrise des énergies dangereuses »

“Le rendement humain est un aspect de la gestion des risques qui aborde le rôle que joue le rendement de l'organisation, des dirigeants et des personnes dans la possibilité que des erreurs et leurs conséquences se produisent ou qu'elles soient évitées.”

“La prise en considération du rendement humain vise à cerner et à traiter les erreurs humaines et leur incidence négative sur les personnes, les programmes, les processus, le milieu de travail, l'organisation ou l'équipement.”

CSA Z460:20 *Maîtrise des énergies dangereuses : cadenassage et autres méthodes*

**Annexe T (informative)**  
**Rendement humain et maîtrise des énergies dangereuses**

**Notes :**  
1) Cette annexe ne constitue pas une partie obligatoire de cette norme.  
2) Voir les articles [6.1.3](#) et [7.4.8.1](#).

**T.1 Introduction**  
Cette annexe présente le concept de rendement humain et la manière d'appliquer ce concept à la maîtrise des énergies dangereuses en milieu de travail.

Le rendement humain est un aspect de la gestion des risques qui aborde le rôle que joue le rendement de l'organisation, des dirigeants et des personnes dans la possibilité que des erreurs et leurs conséquences se produisent ou qu'elles soient évitées. La prise en considération du rendement humain vise à cerner et à traiter les erreurs humaines et leur incidence négative sur les personnes, les programmes, les processus, le milieu de travail, l'organisation ou l'équipement.

Selon des études menées dans des secteurs à haut risque, l'erreur humaine est souvent à l'origine d'incidents. Cette annexe est fondée sur la prémisse que l'erreur humaine est également une cause profonde fréquente d'incidents impliquant une exposition à une énergie dangereuse ou un contact avec celle-ci. En santé et sécurité au travail, un incident est défini comme étant un événement survenu dans le cadre du travail qui a entraîné ou aurait pu entraîner une blessure, une maladie, des problèmes de santé ou un décès (voir l'article 3 de CSA Z1000).

La hiérarchie des méthodes de maîtrise des risques cernées dans la présente norme et dans les autres normes du Groupe CSA comprend l'élimination du danger :

- en remplaçant les matériaux, les processus ou l'équipement par d'autres;
- en adoptant des mesures de maîtrise techniques (conception);
- en adoptant des systèmes qui font prendre conscience des dangers possibles;
- en adoptant des mesures de maîtrise administratives (p. ex. formation et procédures, instructions et planification); et
- par le recours aux EPI, dont les mesures permettant de s'assurer qu'ils sont bien choisis, utilisés et entretenus.

Ces méthodes de maîtrise visent à réduire la probabilité qu'un incident se produise, ou à éliminer les conséquences ou à en atténuer la gravité si l'incident se produit. Aucune méthode de maîtrise n'est infaillible. Toutes les méthodes de maîtrise risquent de donner lieu à des erreurs liées au rendement humain, que ce soit au stade de la conception, de la mise en œuvre ou de l'utilisation.

L'étude du rendement humain aborde la gestion des erreurs humaines comme méthode de maîtrise unique qui complète la hiérarchie des méthodes de maîtrise des risques.

**T.2 Principes du rendement humain**  
Voici les principes de base du rendement humain :

- Personne n'est infaillible et même les personnes les plus compétentes sont susceptibles de commettre des erreurs.
- Les situations et les conditions qui posent des risques d'erreur sont prévisibles, gérables et évitables.
- Le rendement de chaque personne est influencé par les processus et les valeurs de l'organisation.

Août 2020 © 2020 Association canadienne de normalisation **187**

# Cadenassage: méthode de travail

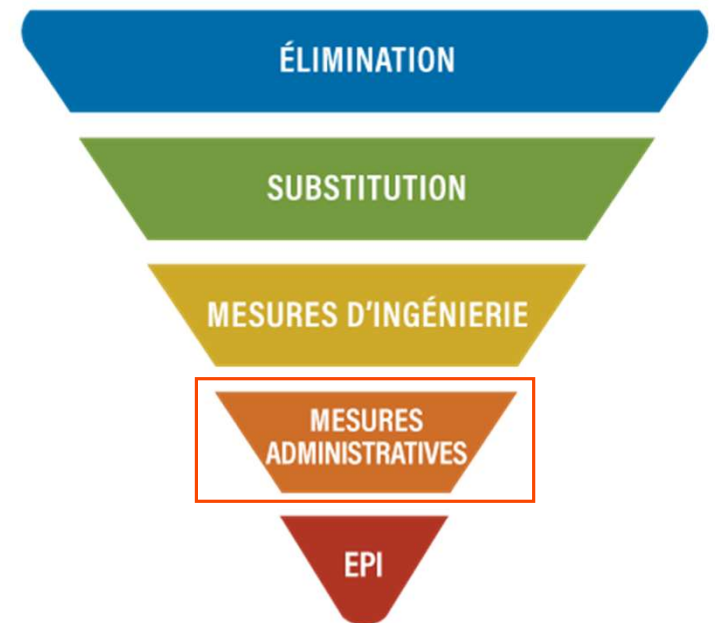
Si l'on tient compte de la hiérarchie des mesures de contrôle des risques, le cadenassage fait partie des mesures administratives.

**Le cadenassage est une méthode de travail ce qui le rend susceptible d'erreurs.**

Il est essentiel de créer un environnement de travail dans lequel la **possibilité d'erreur** soit **minimisée** et la **capacité de détection** soit **maximisée**.

## La hiérarchie des mesures

La plus efficace



La moins efficace

# Les précurseurs d'erreurs

# Précurseurs d'erreurs

Les précurseurs d'erreurs sont des facteurs présents dans le système de travail qui peuvent augmenter la probabilité d'une erreur. Ces facteurs ont la capacité de diminuer la performance humaine et sont de nature variée.

- **Familiarité avec la tâche**
- **Complexité de la tâche**
- Interruptions et distractions
- Pression de temps
- *Le multitasking*
- Instructions de travail
- **Éclairage**
- **Bruit**
- **Fatigue**
- Exigences de mémoire
- Exigences de précision (variabilité psychomotrice)



(Gordon Dupont, 1993)

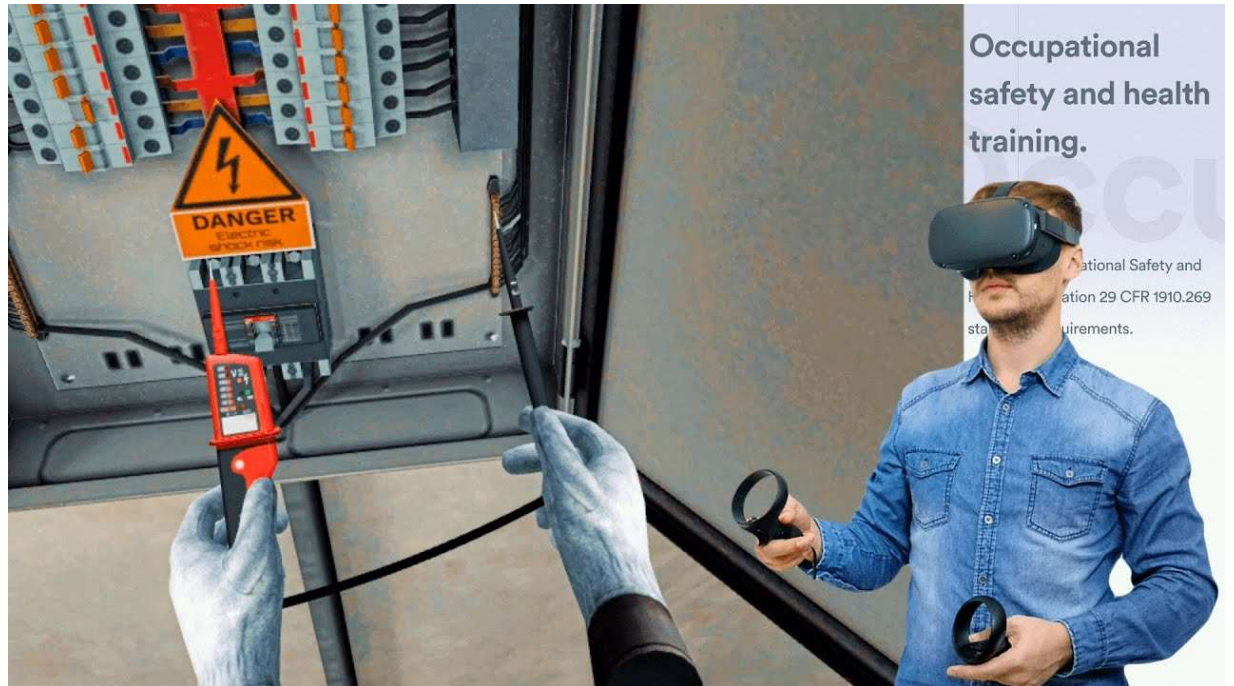
# Familiarité avec la tâche

- La probabilité d'erreur est plus élevée lors de l'exécution de tâches qui sont peu fréquentes ou exécutées pour la première fois.
- Cela est dû à la courbe d'apprentissage, car les tâches peu fréquentes ou réalisées par la première fois n'ont pas permis aux travailleurs de développer les schémas mentaux qui lui permettront de naviguer à travers la séquence d'opérations de la tâche.
- Cette situation est préoccupante en particulier pour les travailleurs novices.



# Formation et simulation

- Les technologies de simulation sont devenues moins coûteuses avec l'avènement de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée.
- Il est de plus en plus accessible de réaliser des travaux pratiques dans des environnements simulés en 3D.



 **oculus**



 Microsoft  
HoloLens





# Complexité de la tâche

Plus le nombre d'éléments impliqués dans le cadenassage est important et plus leur variété est grande, plus la complexité et la charge cognitive sont élevées.



# Le support cognitif

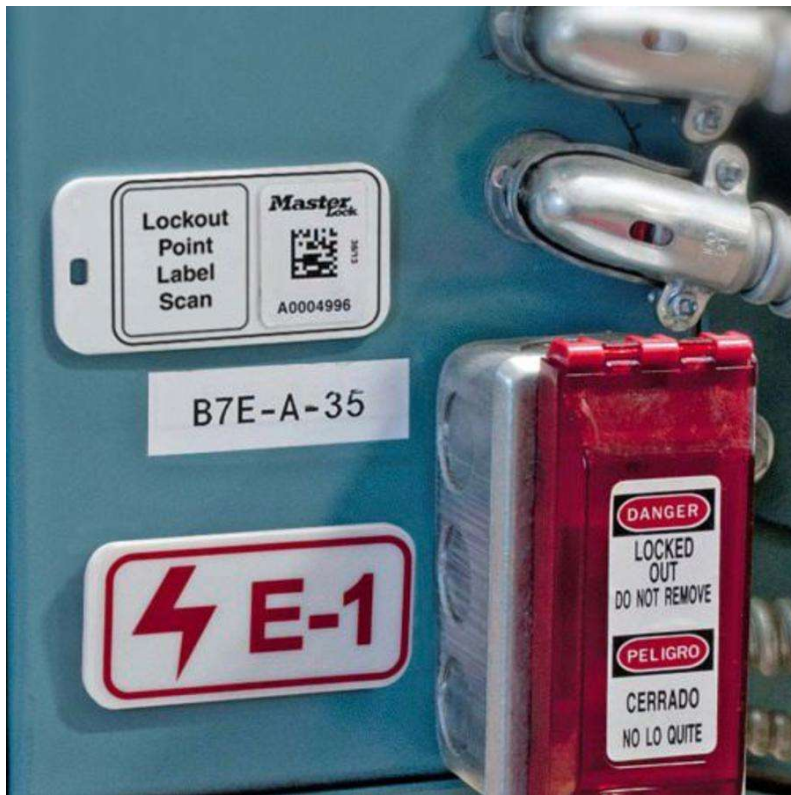


# Le support cognitif



<https://www.bradyid.com/label-printers>

# Automatisation cognitive



Code QR



# Éclairage

**“La nuit, tous les chats sont gris”**

Pour les activités nocturnes, il est particulièrement important de prévoir des niveaux d'éclairage suffisants en utilisant la lumière artificielle.



image: Freepik.com



image: Freepik.com

# Éclairage ergonomique



## Lux Light Meter Pro <sup>4+</sup>

Measure Luminosity in Lux & FC

Marina Polyanskaya

Designed for iPad

★★★★★ 3.9 • 4.7K Ratings

Free · Offers In-App Purchases

## Screenshots [iPad](#) [iPhone](#)



# Éclairage ergonomique

Niveaux d'éclairage recommandés*	
Type d'activité	Plage d'éclairage (lux)**
Circulation dans des aires publiques mal éclairées	20 à 50
Orientation rapide pour des visites de courte durée	50 à 100
Tâches visuelles strictement occasionnelles	100 à 200
Tâches avec exigences visuelles simples	200 à 500
Tâches avec exigences visuelles moyennes	500 à 1 000
Tâches avec exigences visuelles élevées	1 000 à 2 000
Tâches visuelles offrant un faible contraste ou de très petits caractères pendant une longue période	2 000 à 5 000
Tâches visuelles exigeantes pendant une très longue période	5 000 à 10 000

\* Source : « IES Lighting Handbook », 9e édition. Illuminating Engineering Society of North America, 2000, pages 10 à 13.

# Bruit

ID Design Press, Skopje, Republic of Macedonia  
Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences, 2019 Sep 15; 7(17):2924-2931.  
<https://doi.org/10.3889/oamjms.2019.742>  
eISSN: 1857-9655  
**Public Health**



- Le sens de l'audition est essentiel pour capter les informations sonores : communication verbale, alarmes, bruits étranges, etc.
- Les niveaux de bruit ambiant ont un effet négatif sur les performances cognitives (capacité à traiter l'information).
- L'effet du bruit sur les fonctions cognitives dépend du type de bruit et de la tâche.

## The Effect of Noise Exposure on Cognitive Performance and Brain Activity Patterns

Mohammad Javad Jafari<sup>1,2</sup>, Reza Khosrowabadi<sup>3</sup>, Soheila Khodakarim<sup>4</sup>, Farough Mohammadian<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Environmental and Occupational Hazards Control Research Center, School Of Public Health And Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran; <sup>2</sup>Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran; <sup>3</sup>Institute for Cognitive and Brain Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran; <sup>4</sup>Department of Epidemiology, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

**Citation:** Jafari MJ, Khosrowabadi R, Khodakarim S, Mohammadian F. The Effect of Noise Exposure on Cognitive Performance and Brain Activity Patterns. Open Access Maced J Med Sci. 2019 Sep 15; 7(17):2924-2931. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2019.742>

**Keywords:** Noise; Cognitive Performance; Attention; Brain Activity; Electroencephalogram

**\*Correspondence:** Farough Mohammadian, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran. E-mail: f.mohammadian1986@gmail.com

**Received:** 08-Jun-2019; **Revised:** 25-Sep-2019; **Accepted:** 26-Sep-2019; **Online first:** 30-Aug-2019

**Copyright:** © 2019 Mohammad Javad Jafari, Reza Khosrowabadi, Soheila Khodakarim, Farough Mohammadian. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-

### Abstract

**BACKGROUND:** It seems qualitative measurements of subjective reactions are not appropriate indicators to assess the effect of noise on cognitive performance.

**AIM:** In this study, quantitative and combined indicators were applied to study the effect of noise on cognitive performance.

**MATERIAL AND METHODS:** A total of 54 young subjects were included in this experimental study. The participants' mental workload and attention were evaluated under different levels of noise exposure including, background noise, 75, 85 and 95 dBA noise levels. The study subject's EEG signals were recorded for 10 minutes while they were performing the IVA test. The EEG signals were used to estimate the relative power of their brain frequency bands.

**RESULTS:** Results revealed that mental workload and visual/auditory attention is significantly reduced when the participants are exposed to noise at 95 dBA level ( $P < 0.05$ ). Results also showed that with the rise in noise levels, the relative power of the Alpha band increases while the relative power of the Beta band decreases as



# Bruit et intelligibilité

**Intelligibilité:** dans la communication orale, l'intelligibilité est une mesure du degré de compréhension du message parlé dans certaines conditions.

Le rapport signal/bruit doit être d'au moins **15 dB**



image: Freepik.com



image: Freepik.com



## NIOSH Sound Level Meter 4+

EA LAB

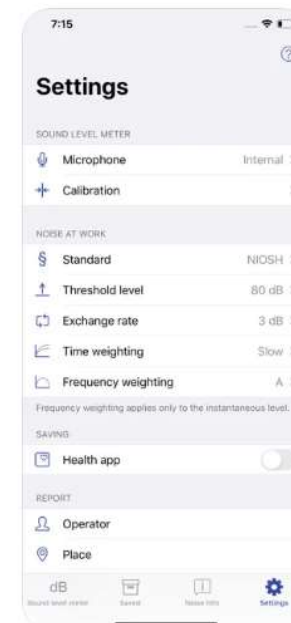
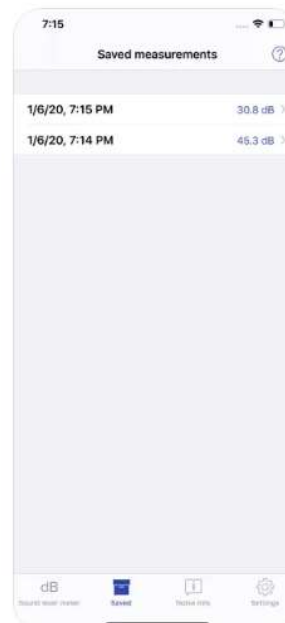
Designed for iPhone

★★★★★ 4.7 • 12K Ratings

Free

Application pour  
smartphone (iPhone)  
développée par NIOSH  
aux États-Unis.

### iPhone Screenshots



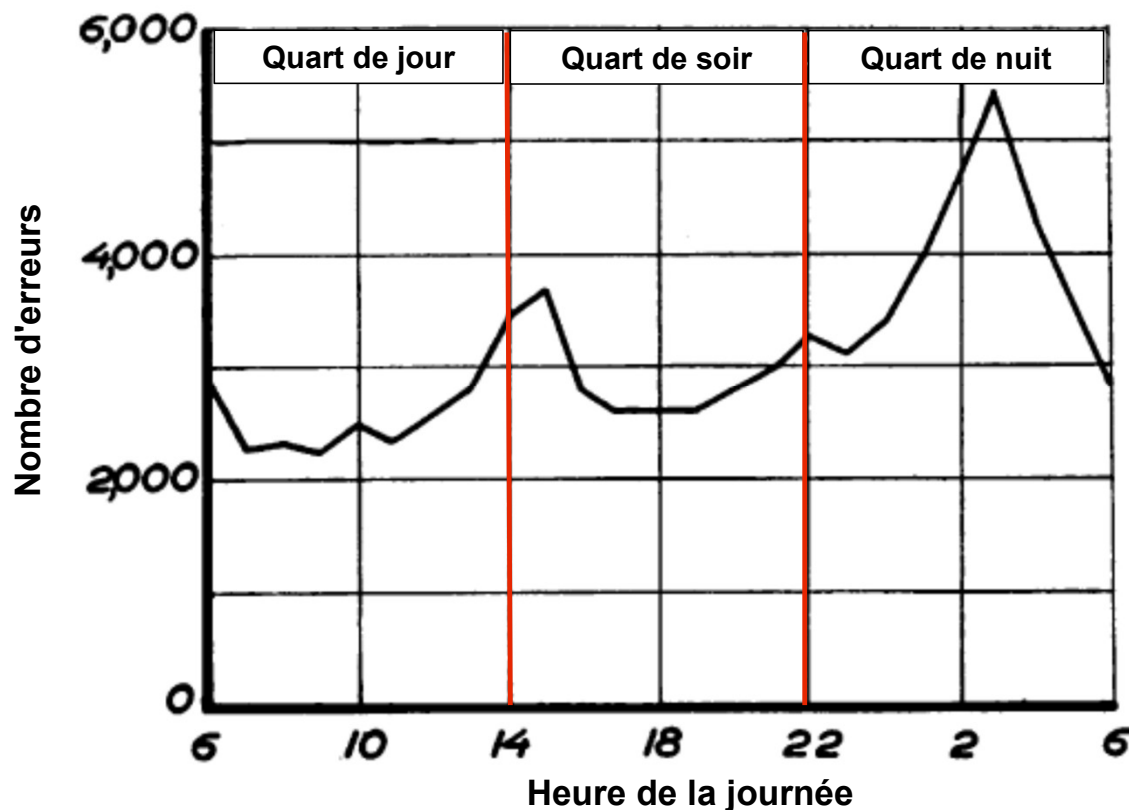
# Fatigue au travail

« État physiologique qui se caractérise par une diminution des capacités mentales ou physiques due à des facteurs chronobiologiques (manque de sommeil, période d'éveil prolongée, phase du rythme circadien) ou à la charge de travail (mentale ou physique) qui peut réduire la performance d'un travailleur et sa capacité à exécuter une tâche de manière sécuritaire où à arriver à des résultats attendus en termes de qualité et productivité »(Torres et al. 2021)



# Dégradation de la performance

Distribution du nombre d'erreurs dans les enregistrements de données relatifs à la production de gaz en fonction de l'heure de la journée (cycle circadien).



Étude menée entre 1912 et 1931 dans une grande usine à gaz du sud de la Suède. Les sujets étaient des hommes dont le travail consistait à remplir des registres avec des données provenant de relevés de réservoirs de gaz. Les registres des années étudiées ont révélé que 14 289 erreurs avaient été commises sur 61 296 entrées.

Source: Bjerner, B., Holm, A., & Swensson, A. (1955)

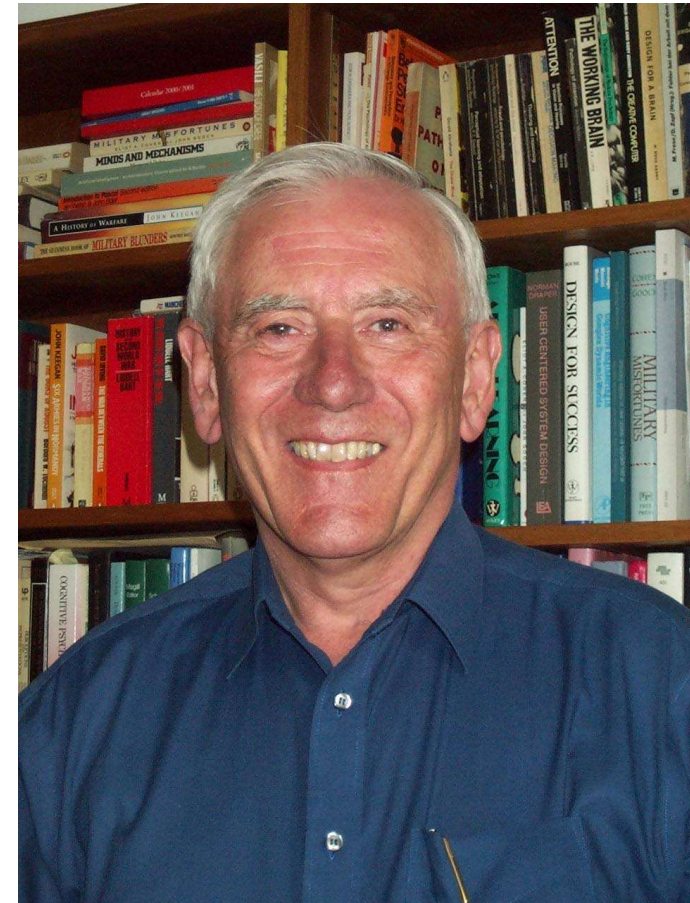
Message final

# Message final

- Jusqu'à présent, la question de l'erreur humaine n'a pas été suffisamment prise en compte dans la maintenance industrielle y compris la maîtrise des énergies dangereuses.
- La norme canadienne CSA Z460: 2020 nous indique depuis 2020 qu'il faut prendre les mesures nécessaires pour réduire les erreurs et assurer un rendement humain adéquat lors des activités de cadenassage.
- Il faut agir...

**« On ne peut pas changer la condition humaine, mais on peut changer les conditions dans lesquelles les humains travaillent »**

**James Reason**



# Gracias



<https://www.linkedin.com/in/yaniel-torres/>



<https://www.researchgate.net/profile/Yaniel-Torres>



[yaniel.torres@udea.edu.co](mailto:yaniel.torres@udea.edu.co)