

Expérimentation avec des outils d'estimation du risque associé aux machines industrielles

Polytechnique Montréal-IRSST-UQTR (Canada)

HSL (Royaume-Uni)

INRS (France)

Yuvin Adnarain Chinniah, ing., Ph. D

Professeur titulaire en sécurité industrielle

Directeur de département

Mathématiques et génie industriel

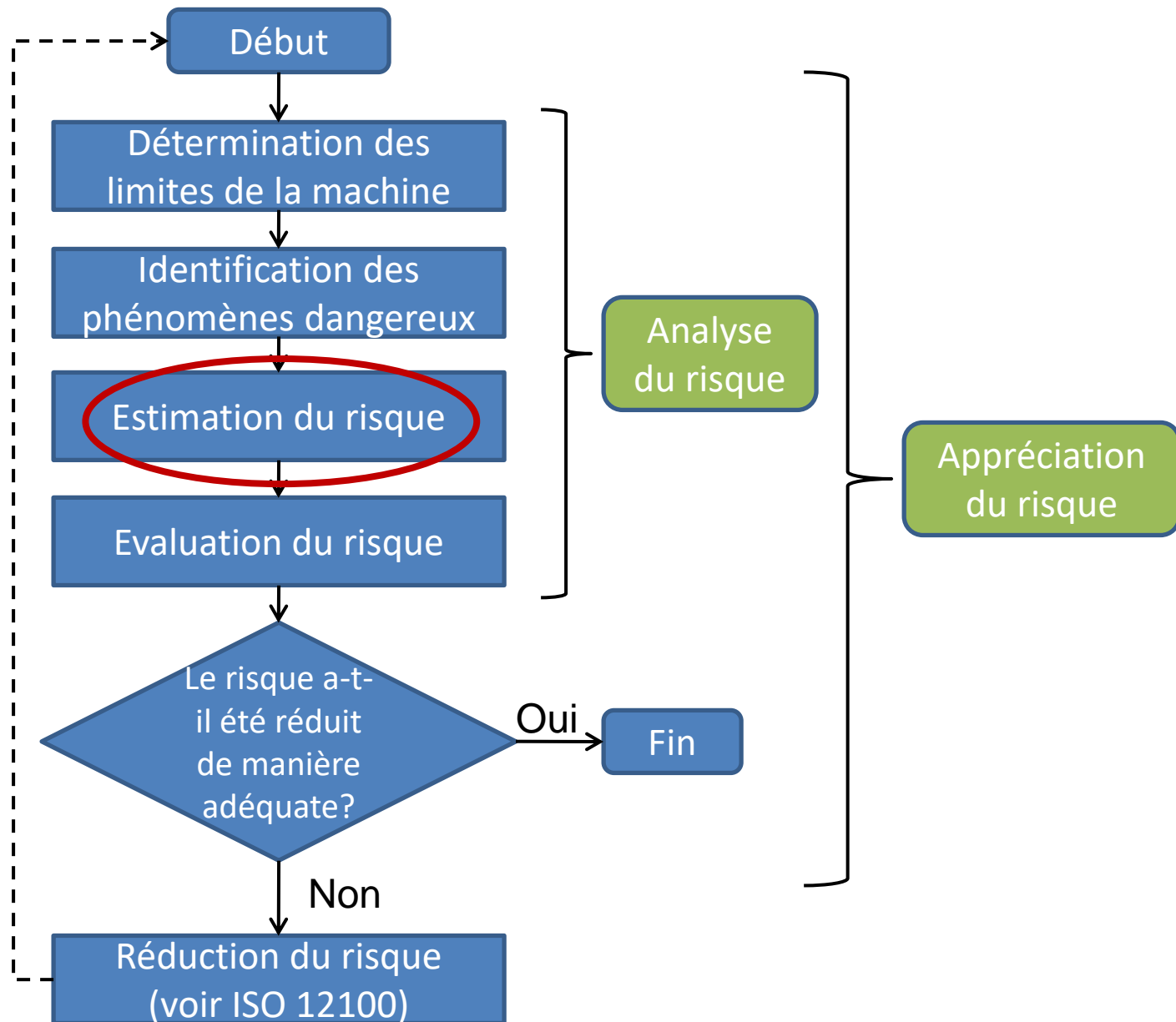
Polytechnique Montréal

**Groupement National pour la Prévention des Risques Professionnels dans
l'Enseignement Supérieur - GP'Sup 53e**

23-25 mai 2023, Salle M1120, Polytechnique Montreal

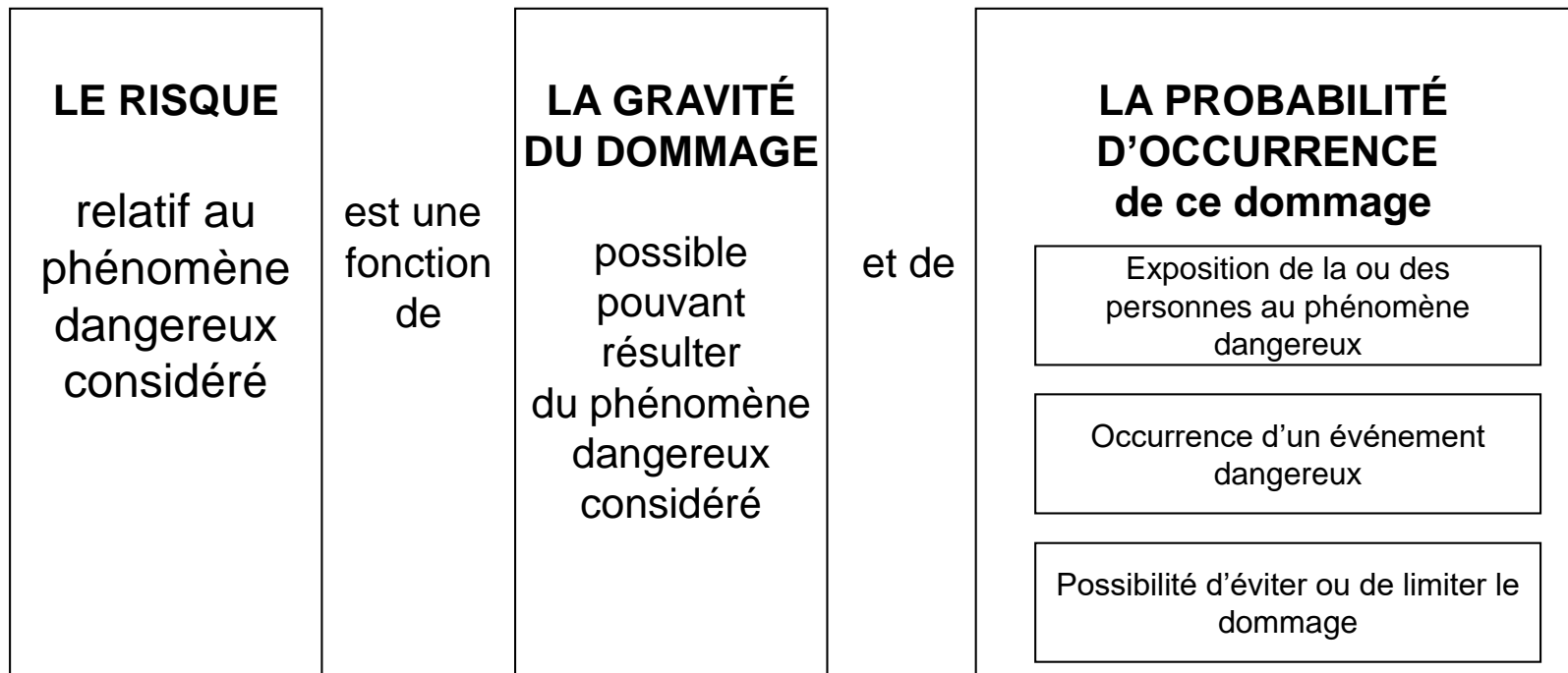
- Gauthier F., Chinniah Y., Burlet-Vienney D., Aucourt B., Larouche S., *Risk assessment in safety of machinery: Impact of construction flaws in risk estimation parameters*, Safety Science, Vol 109, 421-433, 2018.
- Chinniah Y., Gauthier F., Aucourt B., Burlet-Vienney D., *Validation of the impact of architectural flaws in six machine risk estimation tools*, Safety Science, Vol 101, 248-259, 2018.
- Gauthier F., Chinniah Y., Burlet-Vienney D., Aucourt B., *Expérimentation pratique d'outils et de paramètres d'estimation du risque appliquée à la sécurité des machines*, Études et recherche/Rapport R-940, IRSST, 2016, 112 pages.
- Chinniah Y., Gauthier F., Lambert F., Moulet F., *Analyse expérimentale des outils d'estimation du risque associé aux machines industrielles*, Études et recherches/Rapport R-697, Montréal, 2011, 83 pages.
- Stacey N., Healey N., Gauthier F., Chinniah Y. and Rice S., *Theoretical Evaluation of Methods for the Qualitative Estimation of Risk* 19th Conference Society for Risk Analysis 'Risk, Governance and accountability', King's College, London, UK, June 2010
- Paques J-J, Gauthier F, Perez A, Charpentier P, David R., *Bilan raisonné des outils d'appréciation des risques associés aux machines industrielles*, Rapport R-459, IRSST, 2005, 64 pages.

Analyse et appréciation du risque ISO 12100



Définition du risque (ISO 12100)

- Combinaison de la probabilité d'un dommage et de la gravité de ce dommage



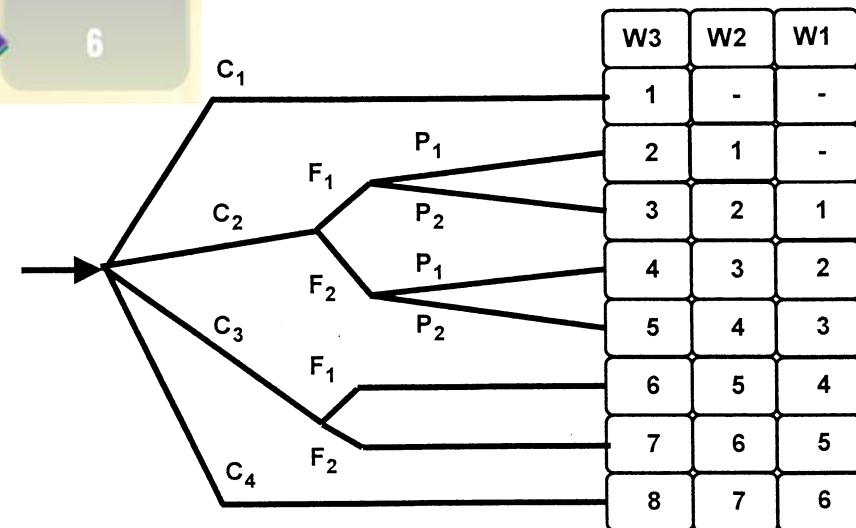
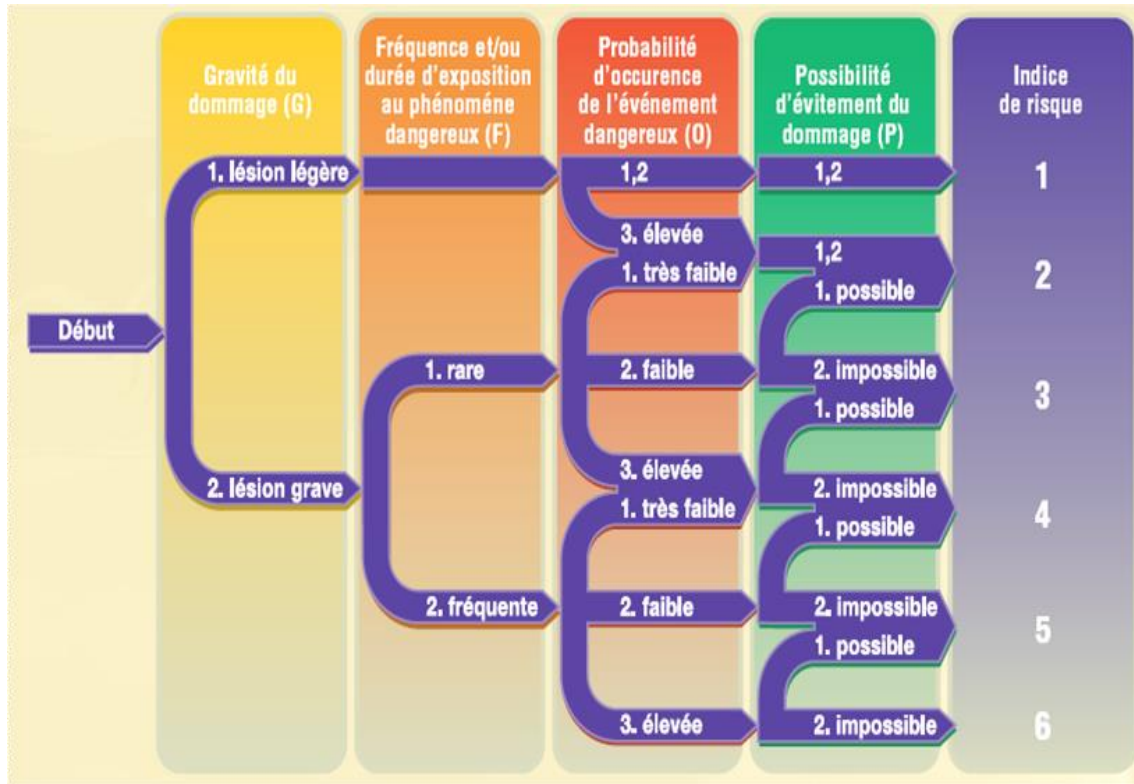
Ex. de matrices de risque

		Gravité				
		V	IV	III	II	I
Probabilité	E	3	3	3	2	2
	D	3	2	2	2	1
	C	3	2	2	1	1
	B	3	2	1	1	1
	A	3	2	1	1	1

Probability of Occurrence of Harm	Severity of Harm		
	Slightly harmful	Harmful	Extremely harmful
Highly unlikely	Trivial	Tolerable	Moderate
Unlikely	Tolerable	Moderate	Substantial
Likely	Moderate	Substantial	Intolerable

Gravité	Exposition	Évitement	Indice de réduction des risques
S2 Grave	E2 Fréquente	A2 Peu probable	R1
		A1 Probable	R2A
	E1 Peu fréquente	A2 Peu probable	R2B
		A1 Probable	R2B
S1 Légère	E2 Fréquente	A2 Peu probable	R2C
		A1 Probable	R3A
	E1 Peu fréquente	A2 Peu probable	R3B
		A1 Probable	R4

Ex. de graphes de risque

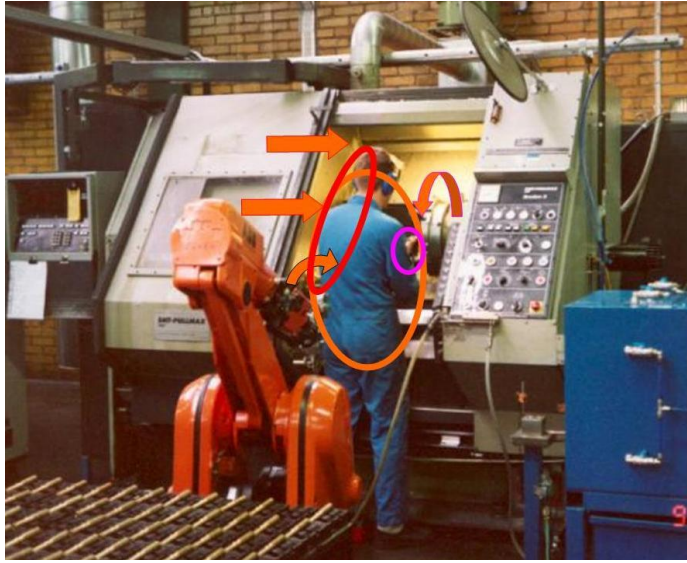


- Analyser différents outils
 - Paramètres utilisés pour estimer le risque
 - Définitions des paramètres
 - Nombres de niveaux ou seuils des paramètres
 - Définitions des niveaux ou seuils
 - Structures (architectures)
 - Type d'outil
 - Nombre de paramètres
 - Nombre d'indices du risque
- Étudier les impacts potentiels de ces variables sur les résultats des estimations du risque (c.-à-d. indices du risque). On souhaite réduire la variabilité inter et intra utilisateurs pour un outil.
- Proposer des principes de conception d'outils d'estimation du risque pour corriger les déviations dans les résultats.

Échelles d'équivalences pour les paramètres (Ex. Gravité du dommage)

Tool #	Definition of parameter	Universal levels							
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
#48	Qualitative measures of impact	Insignificant – No injuries	Minor – First aid treatment	Moderate – Medical treatment required		Major – Extensive injuries		Catastrophic – Death	
#49	Severity of injury	- S1 : Slight Injury (Normally reversible; or requires only first-aid as defined in OSHA 1904.12)		- S2 : Serious Injury (Normally irreversible; or fatality; or requires more than first-aid as defined in OSHA 1904.12)					
#62	Gravité du dommage	- V : Très faible (Blessure sans arrêt de travail)		- IV : Faible (Blessure avec arrêt de travail)	- III : Moyen (Invalidité légère, note 2)	- II : Grave (Invalidité grave, note 1)		- I : Très grave (Décès)	
#67	Severity	1- Scratches, bruises that are cured by first aid or similar.		2- More severe scratches, bruises, stabbing, which require medical attention from professionals.		3- Normally irreversible injury. Slightly difficult to continue work after healing		4- Irreversible injury in a way that it will be very difficult to continue work after healing, if possible at all.	
#91	Gravité du dommage	- G1 : Lésion légère (normalement réversible); exemples: écorchure, lacérations, bleus, blessure légère qui requière les premiers soins, etc.		- G2 : Lésion grave (normalement irréversible, y compris décès); exemples: membre brisé, arraché; grave blessure avec points de suture, TMS, décès, etc.					

Scénario S:
« High risk scenario »

<p>Scenario S (#2)</p> <p>Mechanical Hazard</p>	
<p>Activity</p>	<p>Tooling change on a robot feed CNC lathe.</p>
<p>Hazard</p>	<p>Movement of the robot.</p>
<p>Hazardous situation</p>	<p>The worker is situated in the trajectory of the robot. Robot is currently in Home position and still energised.</p>
<p>Hazardous event (choose and define one specific hazardous event)</p>	<p>Robot receives start command due to a control system failure.</p>
<p>Probability of occurrence of hazardous event (training, experience, reliability, safeguards, supervision, defeating, procedures...)</p>	<p>The robot is controlled by a regular PLC. The PLC piloting the robot is energised. .The CNC machine door is interlocked but the safety function involves the tooling part of the CNC only and does not include the robot</p>
<p>Possible harm</p>	<p>Multiple fractures, concussion. Death</p>
<p>Exposure information</p>	<p>Activity of 10 minutes, 2 times in an 8 hour shift.</p>
<p>Avoidance information (information on time and speed, warnings, escape route, training, experience, ...)</p>	<p>The worker is situated with his back to the robot and is wearing hearing protectors. The extremity of the robot moves very quickly, around 2 m/s. The robot possesses a visual warning and siren. No history of past failures or near misses</p>

Severity of harm (*Gravité du dommage*):

- “*hazard in terms of the potential to cause harm*”
 - “*consequences or potential severity of injury*”
 - “*severity of injury or illness*”
 - “*severity of harm*”
 - “*consequences*”
 - “*severity*”
- **Conséquences de quoi ?
Gravité de quoi ?**

Probability of harm (*Probabilité du dommage*):

- “*probability or likelihood of harm occurring*”
 - “*qualitative measures of likelihood*”
 - “*probability of occurrence of harm*”
 - “*frequency of occurrence*”
 - “*probability of ham*”
 - “*likelihood level*”
 - “*likelihood*”
- **Fréquence d'occurrence de quoi?**
- **Probabilité de quoi ?**

Pour la majorité des outils: Nombres de niveaux: 3 à 5

Tool #	Definition of parameter	Universal levels							
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
#48	Qualitative measures of impact	Insignificant – No injuries	Minor – First aid treatment	Moderate – Medical treatment required		Major – Extensive injuries		Catastrophic – Death	
#49	Severity of injury	- S1 : Slight Injury (Normally reversible; or requires only first-aid as defined in OSHA 1904.12)		- S2 : Serious Injury (Normally irreversible; or fatality; or requires more than first-aid as defined in OSHA 1904.12)					
#62	Gravité du dommage	- V : Très faible (Blessure sans arrêt de travail)		- IV : Faible (Blessure avec arrêt de travail)	- III : Moyen (Invalidité légère, note 2)	- II : Grave (Invalidité grave, note 1)		- I : Très grave (Décès)	
#67	Severity	1- Scratches, bruises that are cured by first aid or similar.		2- More severe scratches, bruises, stabbing, which require medical attention from professionals.		3- Normally irreversible injury. Slightly difficult to continue work after healing		4- Irreversible injury in a way that it will be very difficult to continue work after healing, if possible at all.	
#91	Gravité du dommage	- G1 : Lésion légère (normalement réversible); exemples: écorchure, lacérations, bleus, blessure légère qui requière les premiers soins, etc.		- G2 : Lésion grave (normalement irréversible, y compris décès); exemples: membre brisé, arraché; grave blessure avec points de suture, TMS, décès, etc.					

Utilisation d'un seul mot ou de termes imprécis pour définir les différents seuils ou niveaux des paramètres

Ex. Gravité du dommage

		Universal Levels							
Tools	Severity of Harm	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
7	Consequences (severity)	Minor		Major		Severe		Fatal	
17	Consequences or potential severity of injury	VI – Insignificant	V – Minor	IV – Major		III – Severe		II – Fatality	I – Multiple fatalities

Ex. Prob. du dommage

		Universal Levels						
Tools	Probability of harm	Ph1	Ph2	Ph3	Ph4	Ph5	Ph6	Ph7
1	Likelihood to cause harm	1: Low – unlikely			2: Medium – possible	3: High – probable		
7	Likelihood (chances)	Remote	Improbable	Possible		Probable	Likely	

Ex. Durée de l'exposition

		Universal Levels				
Tools	Duration of exposure	Exd1	Exd2	Exd3	Exd4	Exd5
19	Duration of exposure of persons to the hazard	Seldom to quite often				Frequent to continuous

Définitions détaillées expliquant les seuils

Ex. Probabilité de l'évènement dangereux

Tools	Probability of occurrence of hazardous event	Universal Levels				
		Pe1	Pe2	Pe3	Pe4	Pe5
67	Probability of occurrence of a hazard event (Pr)	1: Negligible. E.g. this kind of component never fails so a hazardous event occurs. No possibility of human mistakes.	2: Rarely. E.g. it is unlikely this kind of component fails so a hazardous event occurs. Human mistakes are unlikely to occur.	3: Possible. E.g. this kind of component may fail so a hazardous event occurs. Human mistakes are possible to occur.	4: Likely. E.g. this kind of component will probably fail so a hazardous event occurs. Human mistakes are likely to occur.	5: Very high. E.g. this kind of component is not made for this application. It will fail so a hazardous event occurs. Human behaviour is such that the likelihood of mistakes is very high.
91	Probability of occurrence of the hazardous event (O)	O1: Mature technology, proven and recognised in safety application; robustness.	O2 : Technical failure observed in last two years; inappropriate human action by a well trained person, aware of the risks, with more than six months experience on the work station	O3: Technical failure regularly observed (every six months or less); inappropriate human action by an untrained person, with less than six months experience on the workstation; similar accident observed in the plant since ten years.		

Incohérence dans les définitions des seuils pour les paramètres

Ex. Gravité
du dommage

Tools #	Severity of harm	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
#1	Hazard in term of the potential to cause harm	1: Slight – less than 3 days lost time			2: Serious – over 3 days lost time	3: Major – death or serious injury			
#41	Levels of severity of harm	4: Negligible – does not result in injury, occupational illness, or system or environmental damage	3: Low – Minor injury, minor occupational illness, or minor system or damage		2: Medium – severe injury, severe occupational illness, or major system or environmental damage			1: High – death, system loss, or severe environmental damage	
#89	How severe the injury could be (consequence)	Minor: first aid only, no lost time		Major: maiming, significant injury, not permanent	Catastrophic: kills, disables, permanent injury				

Ex. Prob. du
dommage

Tool #	Definition of parameter	Universal levels							
		Ph1	Ph2	Ph3	Ph4	Ph5	Ph6	Ph7	
#3	Likelihood of harm	Very unlikely – Less than 1% chance of being experienced by an individual during their working lifetime				Unlikely – Typically experienced once during the working lifetime of an individual	Likely – Typically experienced once every five years by an individual	Very likely – Typically experienced at least once every six months by an individual	
#24	Probability of occurrence of harm	Remote – so unlikely as to be near zero	Unlikely – not likely to occur	Likely – may occur	Very likely – near certain to occur				
#48	Qualitative measures of likelihood	E – Rare – Occurs only in exceptional circumstances	D – Unlikely – Could occur but not expected	C – Possible – Could occur	B – Likely – Will probably occur in most circumstances		A – Almost certain – Is expected to occur in most circumstances		

Trous (discontinuités) entres les niveaux

Si l'exposition est 2 fois par jour ou par quart de travail?

		Universal Levels							
Tools	Frequency of exposure	Exf1	Exf2	Exf3	Exf4	Exf5	Exf6	Exf7	Exf8
#49	Exposure	E1 : Infrequent exposure (Typically exposure to the hazard less than once per day or shift)				E2 : Frequent exposure (Typically exposure to the hazard more than once per hour)			
#55	Frequency of exposure	4 – improbable : so unlikely, it can be assumed occurrence may not be experienced	3 – remote : yearly or at least once during the life of the machine or system	2 – occasional : monthly		1 – frequent : daily			

Si l'exposition est une fois par semaine?

Résultats: Gravité et probabilité du dommage

Niveau	Description
S1	Égratignures, sans premiers soins (ex. coupures mineures)
S2	Notion de premiers soins, sans arrêt de travail (ex. brûlures superficielles)
S3	Arrêt de travail nécessitant plus que les premiers soins (ex. coupures profondes, fractures mineures, brûlures)
S4	Domage irréversible : invalidité légère, retour au même poste de travail après rétablissement (ex. sectionnement d'un bout de doigt)
S5	Invalidité moyenne, retour au travail mais peut être pas au même poste (ex. fractures majeures, perte d'un œil)
S6	Incapacité permanente, ne peut plus travailler (ex. perte d'un bras ou jambe)
S7	Décès
S8	Décès multiples

Ph1	Presque impossible de se produire (ex. Improbable, Unlikely)
Ph2	Peu probable mais possible
Ph3	Pourrait se produire mais ne s'attend pas
Ph4	Pourrait se produire, pas inattendu (ex. Possible)
Ph5	Presque certain de se produire (ex. Likely)
Ph6	Aura lieu au moins une fois
Ph7	Va se produire fréquemment (ex. Very likely)

Fréquence d'exposition

Exf1	Fréquence inférieure à une fois par an (< 1 fois/an)
Exf2	Fréquence annuelle
Exf3	Fréquence mensuelle
Exf4	Fréquence hebdomadaire
Exf5	Fréquence par jour, 1 à 2 fois par jour
Exf6	Fréquence entre 2 fois par jour à 1 fois par 2 heures
Exf7	Fréquence entre 1 fois par 2 heures et 1 fois par heure
Exf8	Fréquence de plusieurs fois par heure (>1 fois / heure, en continue)

Durée d'exposition

Exd1	< 1/20 du temps de travail
Exd2	1/10 du temps de travail (45 min par quart de travail de 8 heures)
Exd3	1/5 du temps de travail (90 min par quart de travail de 8 heures)
Exd4	la moitié du temps de travail (1/2) (4 heures par quart de travail de 8 heures)
Exd5	continu au temps de travail

Probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux

Pe1	Négligeable
Pe2	Rare
Pe3	Possible
Pe4	Probable
Pe5	Courant/fréquent

Possibilité d'évitement du dommage

A1	Facile
A2	Probable
A3	Possible
A4	Possible sous certaines conditions
A5	Improbable
A6	Impossible

➤ Paramètres des outils:

- Définir les paramètres de l'outil clairement (ex. probabilité du dommage)
- Définir les niveaux clairement:
 - Éviter l'utilisation d'un seul mot sans explication pour définir un seuil
 - Éviter les incohérences entre les définitions et le seuil en question
 - Éviter de mélanger les concepts dans les définitions des différents seuils pour un paramètre (ex. arrêt de travail et types de blessures)
 - Éviter d'utiliser des définitions qui se ressemblent (expriment les mêmes idées) pour des seuils différents pour un paramètre
- Éviter les trous (discontinuités) dans les différentes définitions pour les seuils
- Définir le paramètre d'exposition par rapport à une durée ou fréquence précise
- Utiliser un nombre de niveaux suffisant pour les paramètres. Un niveau trop faible peut mener à des définitions vagues ou à une pondération exagérée (lors de l'utilisation de l'outil)

- **Structure ou architecture de l'outil:**
 - Utiliser 2 ou 4 paramètres (ISO 12100). L'exclusion de paramètres tels que probabilité de l'évènement dangereux ou possibilité d'éviter le dommage peut mener à une surestimation du risque car certains moyens de réduction du risque sont exclus de l'estimation
 - Évaluer la contribution de chaque paramètre afin d'avoir un outil balancé ou équilibré
 - Définir 3 à 5 niveaux pour la gravité du dommage (ex. 2 niveaux sont insuffisants car un décès ne devrait pas se trouver au même niveau qu'une blessure grave)
 - Définir 3 à 5 niveaux pour la probabilité du dommage
 - Utiliser au moins 4 niveaux de risque (indice). Les outils ayant moins de 4 niveaux ont tendance à surestimer le risque.

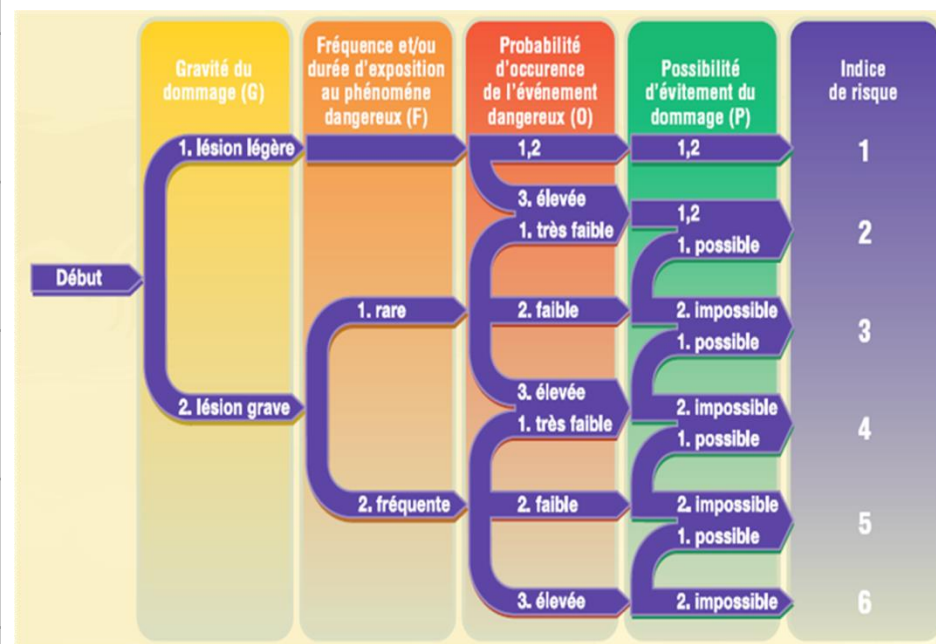
- **Structure ou architecture de l'outil (suite):**
 - Utiliser une distribution uniforme des indices du risque dans les matrices (des zones de risque ayant approximativement les mêmes dimensions dans les matrices)
 - Éviter des discontinuités ou des sauts dans les cellules des matrices (pas plus qu'un changement de niveau de risque d'une cellule à une autre adjacente)
 - Calibrer l'outil en conséquence. L'indice du risque maximal devrait être atteint avec un décès et non des décès multiples (ex. éviter d'utiliser des outils pour les procédés chimiques où le risque maximal est atteint par des décès multiples).

Exemple : Outil 91 sous estimation

		Gravité du dommage G1		Gravité du dommage G2	
		Fréquence F1	Fréquence F2	Fréquence F1	Fréquence F2
Probabilité Occurrence O1	Possibilité évitement P1	1	1	2	3
	Possibilité évitement P2	1	1	2	4
Probabilité Occurrence O2	Possibilité évitement P1	1	1	2	4
	Possibilité évitement P2	1	1	3	5
Probabilité Occurrence O3	Possibilité évitement P1	2	2	3	5
	Possibilité évitement P2	2	2	4	6

Sur 24 possibilités:

1 (8); 2 (7); 3 (3); 4 (3); 5 (2); 6 (1)



Conclusions

- L'appréciation du risque est fondamentale en sécurité des machines (normalisation, lois et règlements, prévention des accidents, responsabilité et diligence raisonnable, accès au marché international etc.)
- Des recommandations sont proposées pour mieux estimer le risque.
 - Moins de variabilité possible
 - Une mauvaise estimation du risque peut mener à une mauvaise réduction du risque
- Pas d'outil unique car les besoins et les secteurs sont différents (Culture, résistance au changement, succès d'une méthode, règles de l'art, normes, appropriation par les milieux, personnalisation des outils etc.)
- Enjeu potentiel pour les fabricants de machines pour un marché international ou pour les multinationales ayant des unités dans différents pays
- Le meilleur outil est celui qui est utilisé
- Le gain de l'appréciation du risque en matière de prévention des accidents du travail demeure dans le processus rigoureux et exhaustif effectué en équipe
- Dans la pratique on compense probablement pour les biais des outils avec l'expérience