



Rendez-vous
de la **science**

Laurent Giraud, ing. Ph. D., Bertrand Galy, ing. Ph. D.

Les parachutes des transporteurs miniers – bilan et perspectives de modernisation

| Problématique de SST

Risque de chute de la cage transportant des mineurs
de 8-10 mineurs à plus de 100 selon la machine d'extraction utilisée

Un seul câble retient la cage (la plupart du temps)
ascenseur civil : plusieurs câbles (4 à 8 environ)

Un dispositif de sécurité actif existe (obligatoire au Québec)
parachute (frein) se déclenchant après la rupture du câble

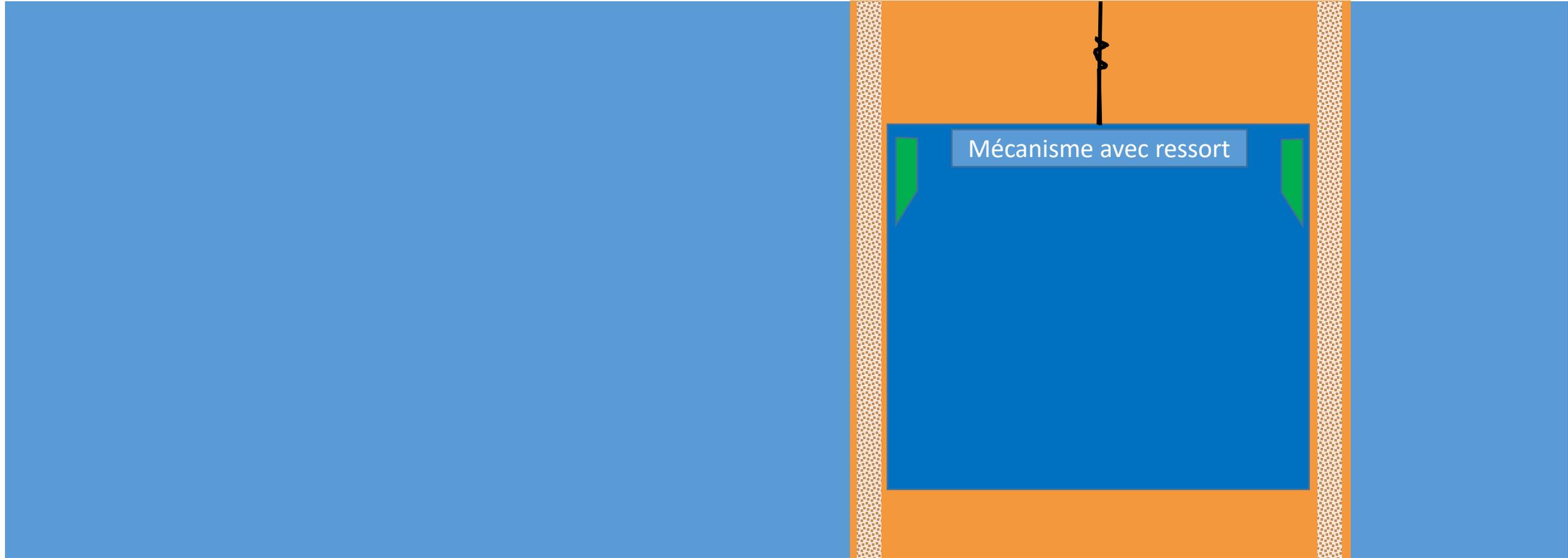
| Le mythe du parachute



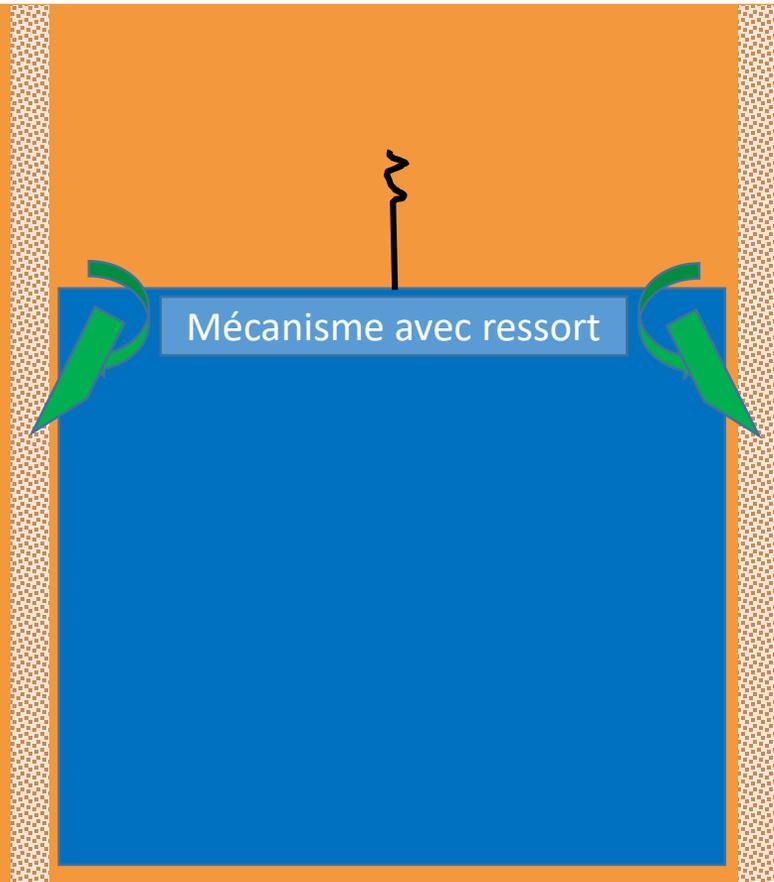
| Le mythe du parachute



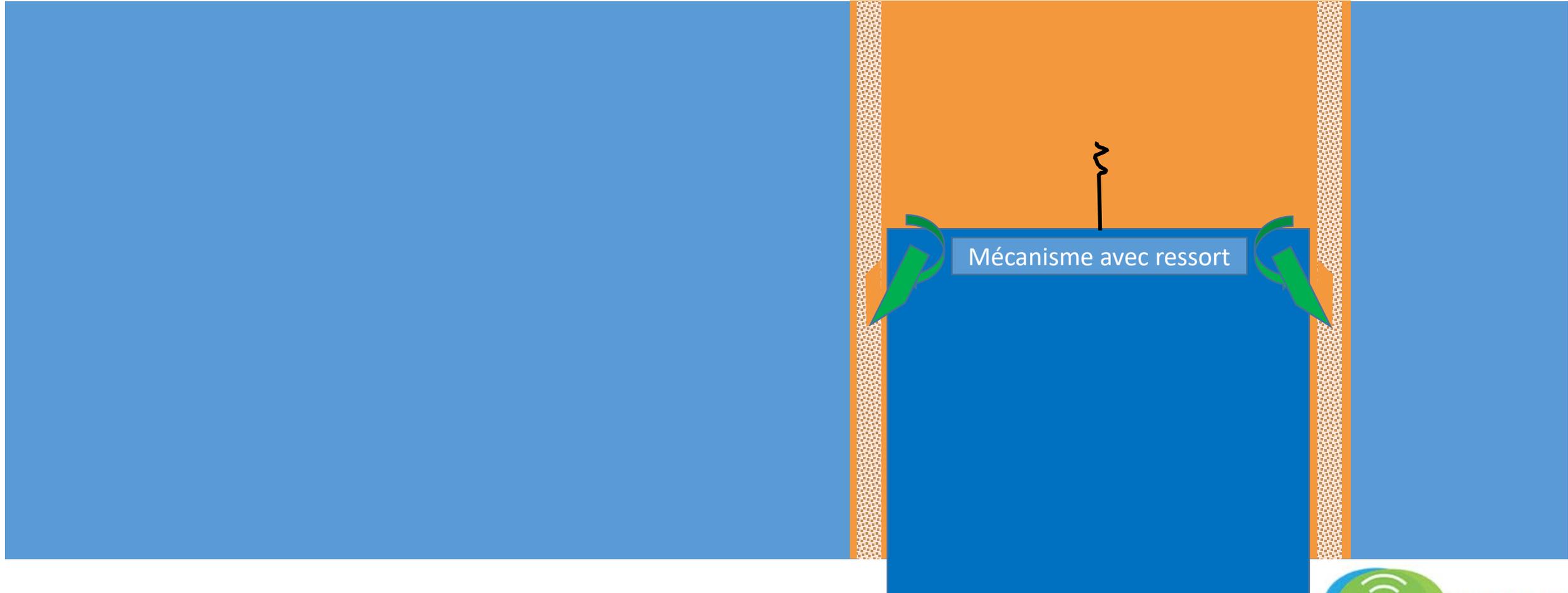
| La réalité du parachute



| La réalité du parachute



| La réalité du parachute

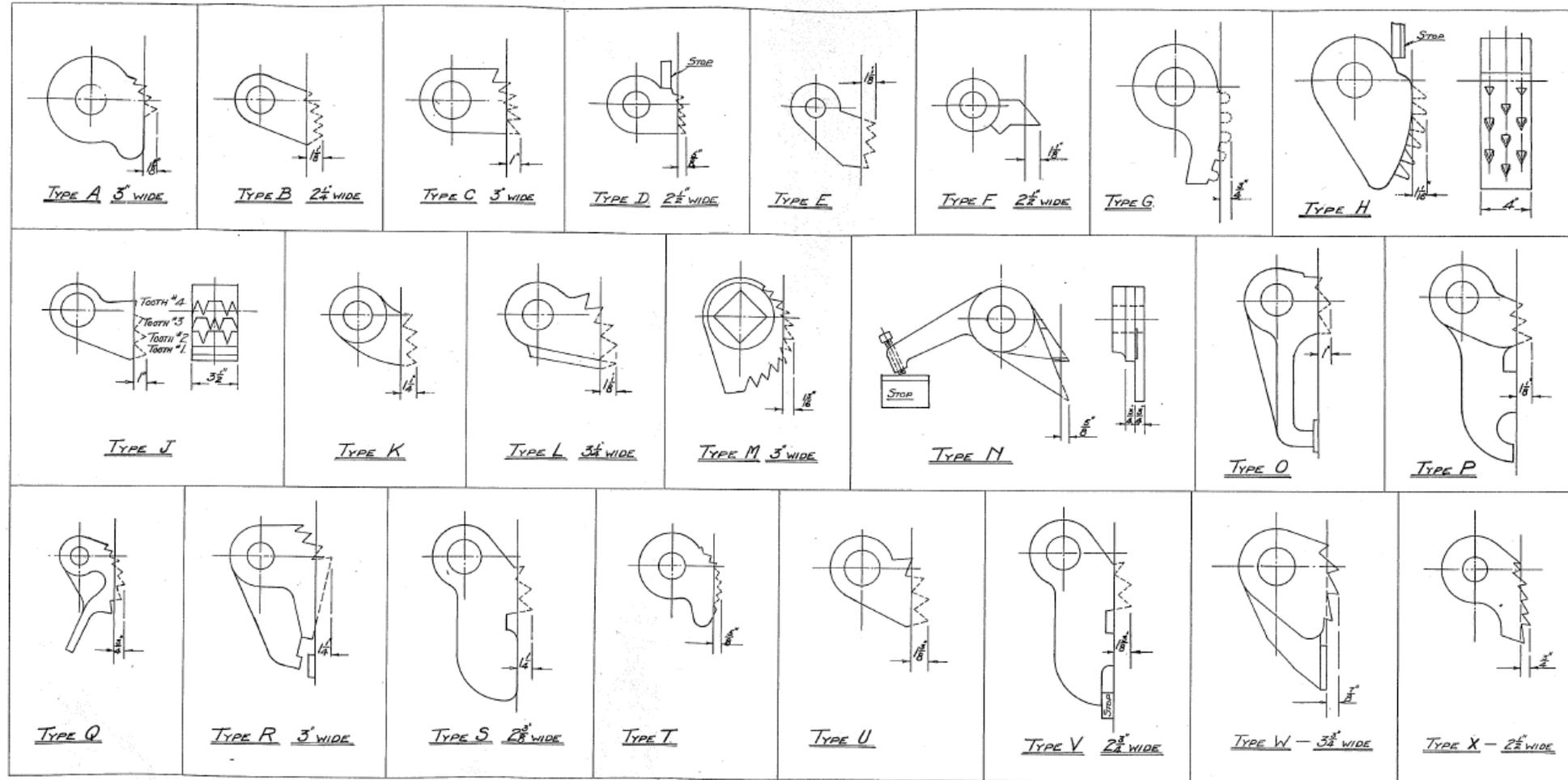


| Problématique de SST

Ce système de sécurité a été inventé en 1845 par le Français Pierre-Joseph Fontaine

L'ingéniosité des ingénieurs fit que 100 ans plus tard...

Types de dents utilisées en Ontario vers 1945



| Problématique de SST

Ce système de sécurité a été inventé en 1845 par le Français Pierre-Joseph Fontaine

Le 2 février 1945, une cage s'écrase dans la mine de Paymaster (Ontario)

16 travailleurs décèdent et une Commission d'enquête provinciale est lancée

Plusieurs causes sont identifiées

- usure des guides en bois
- positionnement dents / guides
- déploiement partiel des parachutes...

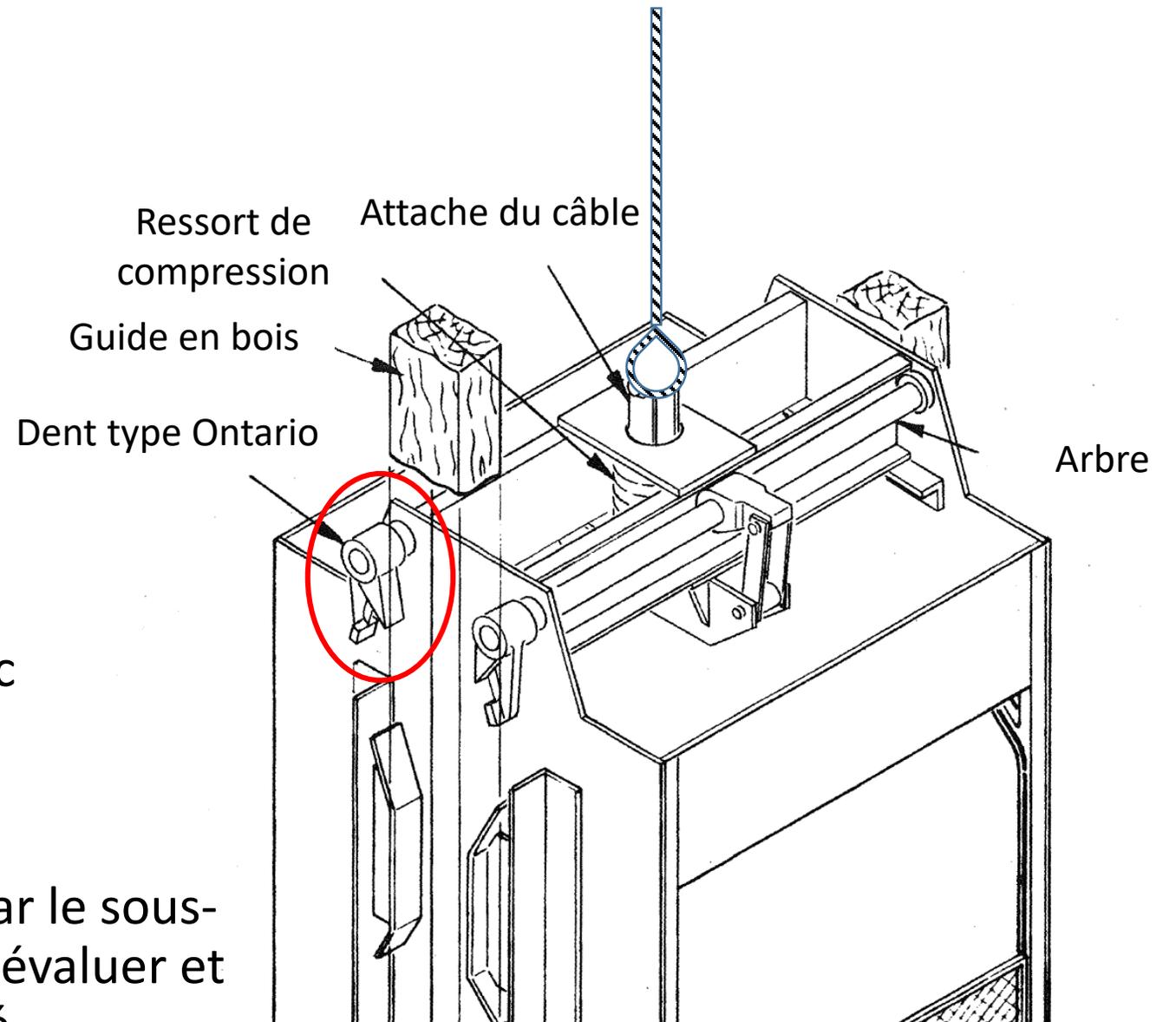
Problématique de SST

La Commission propose le système actuel

Mais les guides en bois commencent à être remplacés par des guides en métal...

Et en 2011 et 2013, deux cages avec des parachutes se sont écrasées au Québec (câble intact)

D'où une demande faite à l'IRSST par le sous-comité machines d'extraction pour évaluer et moderniser ce dispositif de sécurité



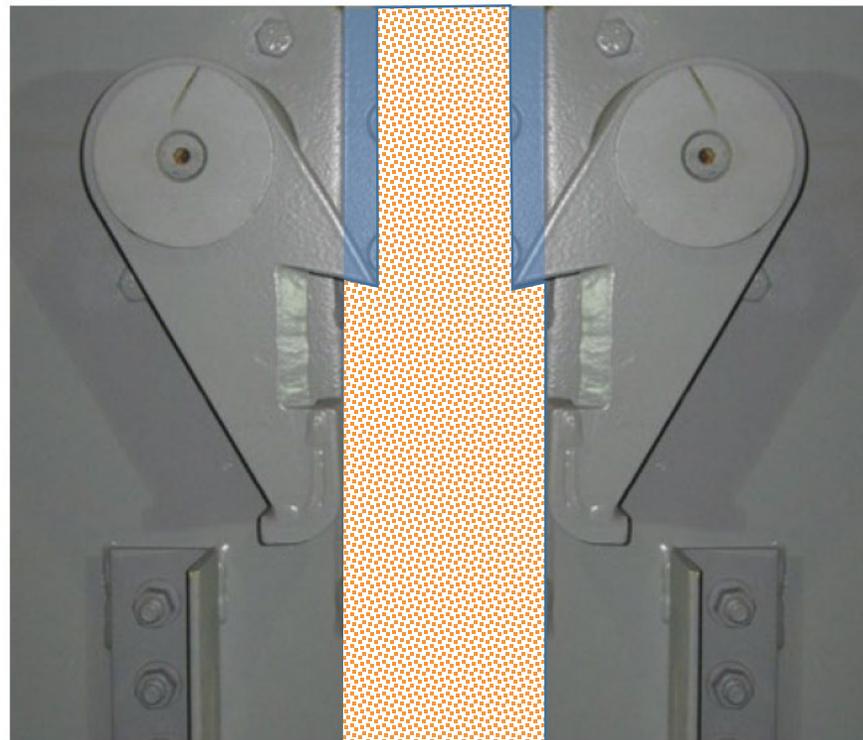
| Problématique de SST

La Commission propose le système actuel

Mais les guides en bois commencent à être remplacés par des guides en métal...

Et en 2011 et 2013, deux cages avec des parachutes se sont écrasées au Québec

D'où une demande faite à l'IRSST par le sous-comité machines d'extraction pour évaluer et moderniser ce dispositif de sécurité



| Volet 1 – État de l’art – Les accidents

Il n’existe pas de registre des incidents / accidents avec des cages au Québec ni dans les autres provinces au Canada, malgré leur gravité potentielle

Environ 10 accidents avec des cages sont survenus au Québec en trente ans
Quatre accidents sont survenus aux États-Unis en trente-cinq ans

Toutes les provinces au Canada imposent l’usage de parachutes pour transporter des personnes (si câble unique)

Seule l’Afrique du Sud n’impose pas de dispositif de sécurité (au soin du *Chief Inspector*)

| État de l'art – deux écoles de pensées

Très peu de littérature scientifique...

- Le meilleur système de sécurité est d'avoir un bon câble (c'est l'école de pensée dominante en Afrique du Sud) : les parachutes sont peu (pas) efficaces si le câble casse à grande distance de la cage, et ne servent à rien si le problème vient du treuil
- Les ruptures de câbles arriveront toujours, malgré les inspections et les essais, et les parachutes restent la dernière option de sécurité, c'est l'avis majoritaire en Amérique du Nord

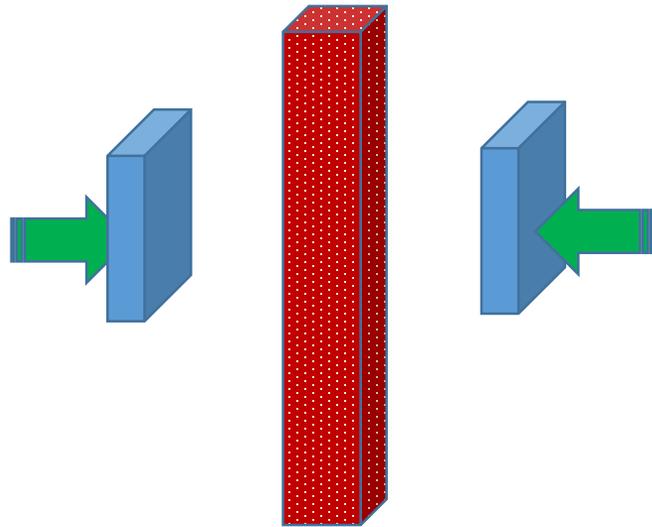
| État de l'art – Caractéristiques souhaitées suite à l'accident de Paymaster

- (9) le parachute ne doit pas s'appliquer intempestivement en cas de rebond de la cage ;
- (18) si possible, le parachute devrait s'enclencher lorsque la vitesse devient trop grande, plutôt que lorsque la tension est trop faible dans le câble ;
- (20) le parachute doit fonctionner en cas de problème au niveau du treuil ;
- (21) le parachute doit se mettre en fonction dès que la cage commence à tomber, avant d'avoir une vitesse trop grande.

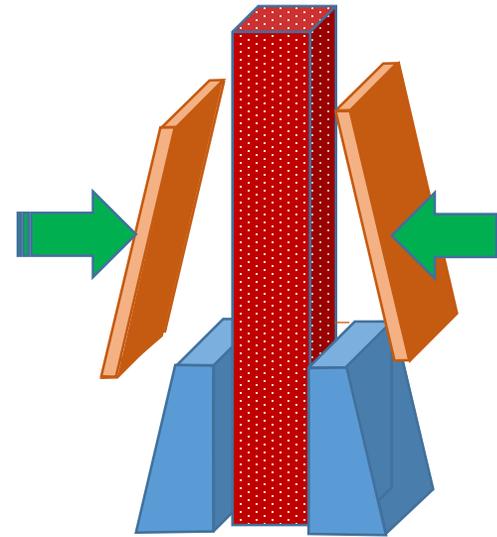
Caractéristiques non appliquées actuellement

État de l'art – Les nouveaux systèmes parachutes

Mâchoires qui viennent serrer et frotter le guide, actionnées par un dispositif (hydraulique ou pneumatique)



Cales de frottement de forme triangulaire qui viennent se coincer et frotter sur le guide



Volet 2 – Cas de la rupture du câble

L'Afrique du Sud a fait avancer les connaissances sur le comportement et la durée de vie des câbles

objectif : changer le câble « le plus tard possible » avant sa rupture

Le facteur de sécurité du câble doit être de 5 au minimum à la molette (il peut être abaissé à 4,5 avec des dispositifs de sécurité supplémentaires) et de 8,5 à l'attache de la cage

Critères destructifs de retrait des câbles utilisés au Canada

- Charge à la rupture inférieure à 90 % de la charge à la rupture du câble neuf (8/11)
- Plus de 5 % de fils cassés sur un pas de toron (8/11)
- Allongement à la rupture inférieure à 60 % de celle du câble neuf (8/11)
- Résistance à la torsion inférieure à 85 % de celle du câble neuf (Qc)
- Maximum deux ans (2/11, pas au Qc)
- Corrosion marquée (3/11)

CHEVALEMENT



**MACHINE
D'EXTRACTION**

Ici idéalement
À la molette

TREUIL

Ici par défaut
Attache de la cage



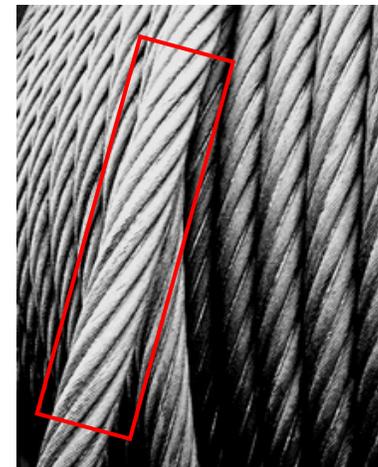
CAGE-SKIP

| Critères visuels de retrait

Il est aussi possible d'examiner le câble visuellement

Certains examens visuels quotidiens sont faits dans des conditions défavorables

- grande vitesse de défilement
- faible angle d'observation
- peu d'éclairage ou seulement éclairage de la lampe du casque de sécurité



Le défaut majeur de ces inspections visuelles est d'obtenir uniquement des informations « de surface »

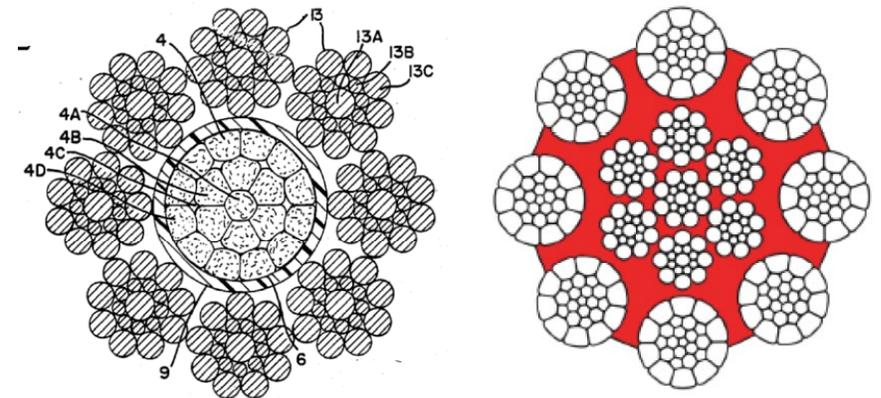
Des systèmes avec des caméras permettent d'automatiser ces inspections visuelles

Critères non destructifs de retrait

Il est aussi possible d'inspecter le câble avec des examens non destructifs (NDT)

Les examens électromagnétiques permettent d'identifier

- Une perte de section métallique (corrosion, abrasion)
- Des défauts localisés (fils cassés)

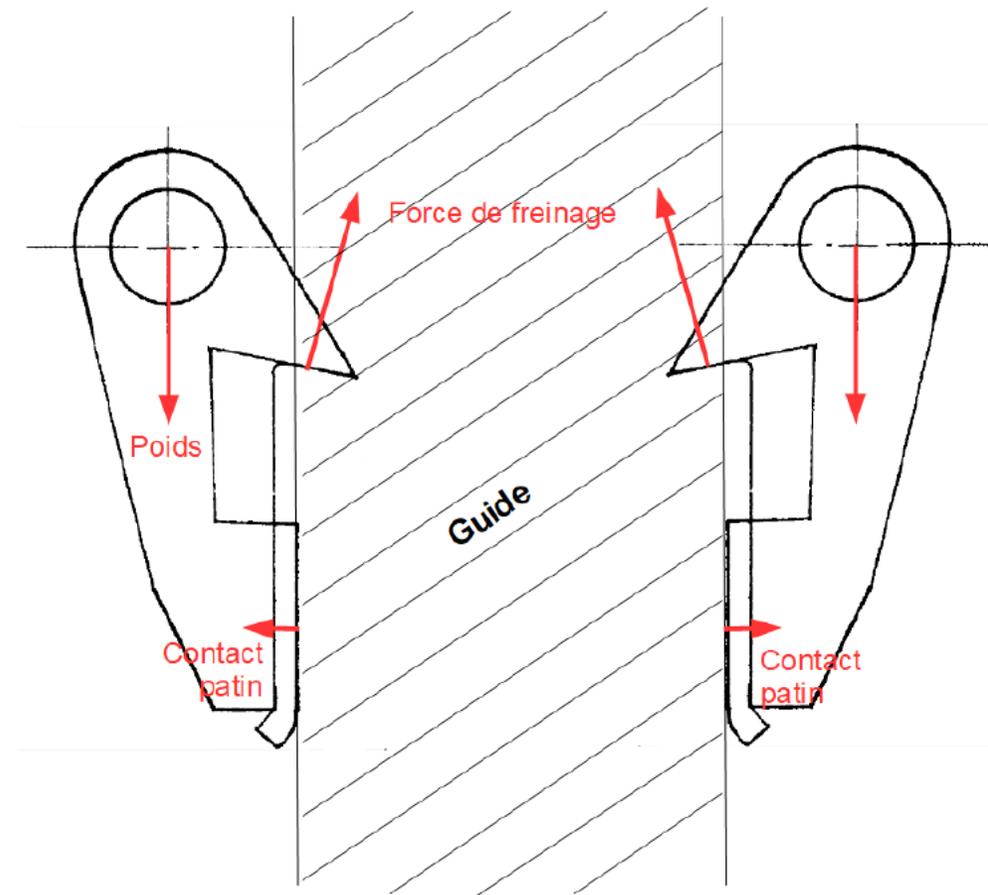


Ces examens peuvent être faits épisodiquement, périodiquement (Qc) ou en continu

Mais certains câbles commencent à intégrer des matières non métalliques (plastique, aramide...)

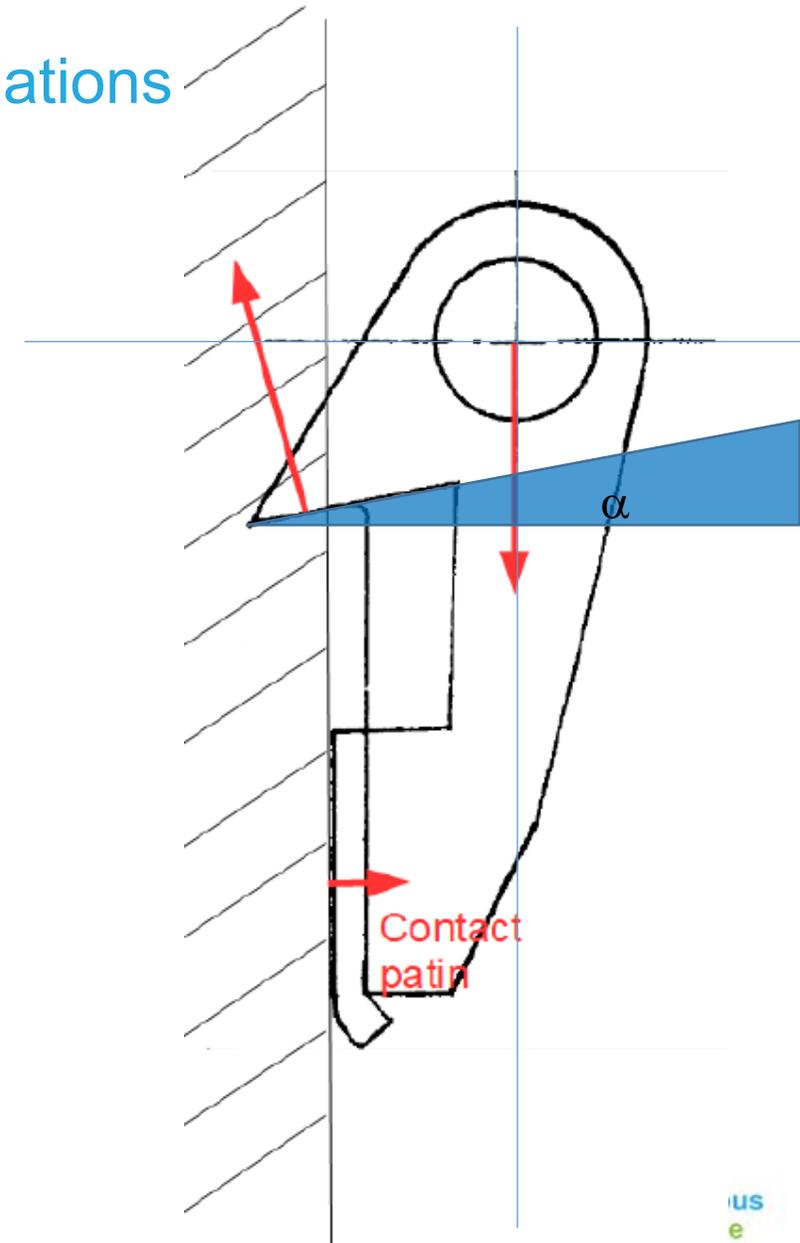
Le parachute de type « Ontario » à dent simple - Simulations

Peu de données scientifiques (années 1970-1980)



Le parachute de type « Ontario » à dent simple - Simulations

Peu de données scientifiques (années 1970-1980)
mais l'angle α est important



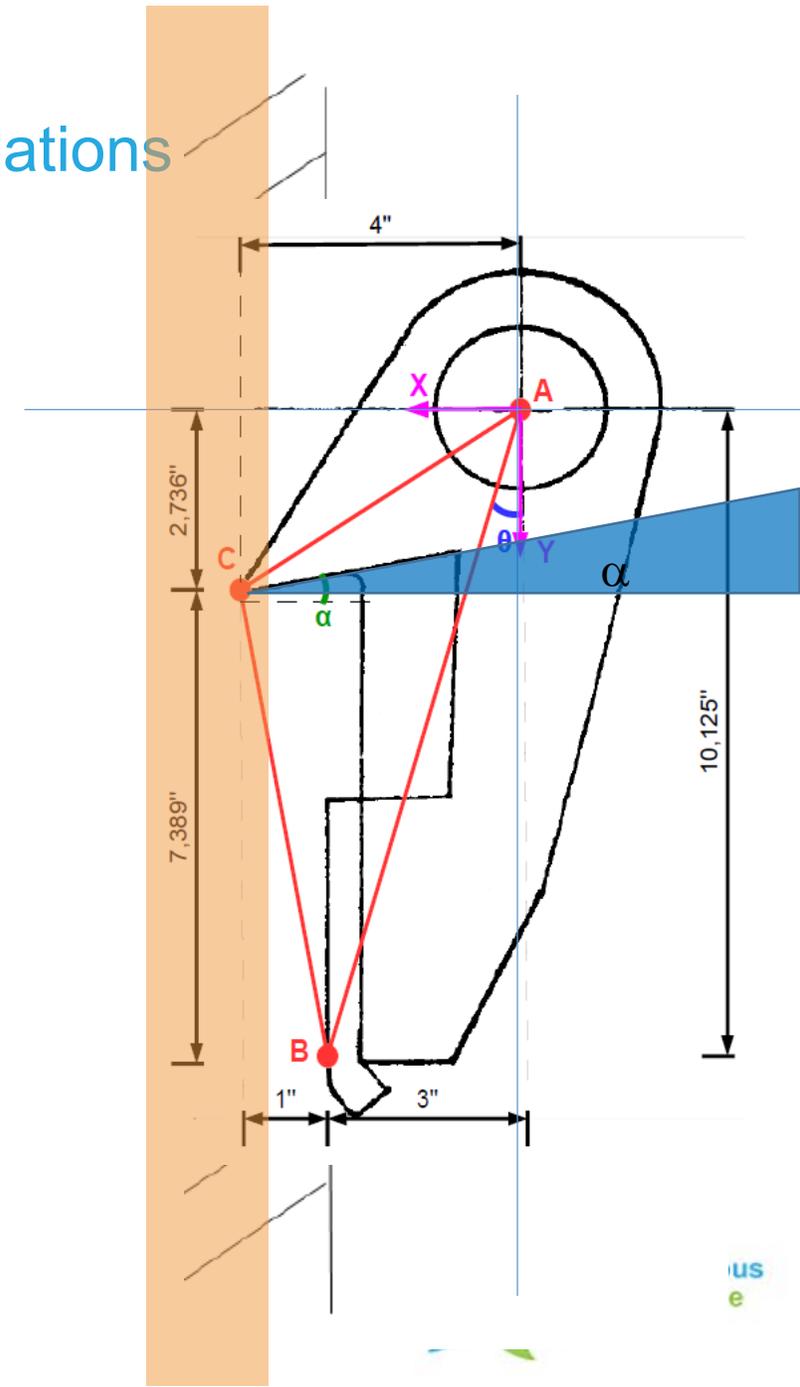
Le parachute de type « Ontario » à dent simple - Simulations

Peu de données scientifiques (années 1970-1980)

mais l'angle α est important

Caractérisation de la variation de la force de freinage
pour trois équations empiriques

- usure du guide



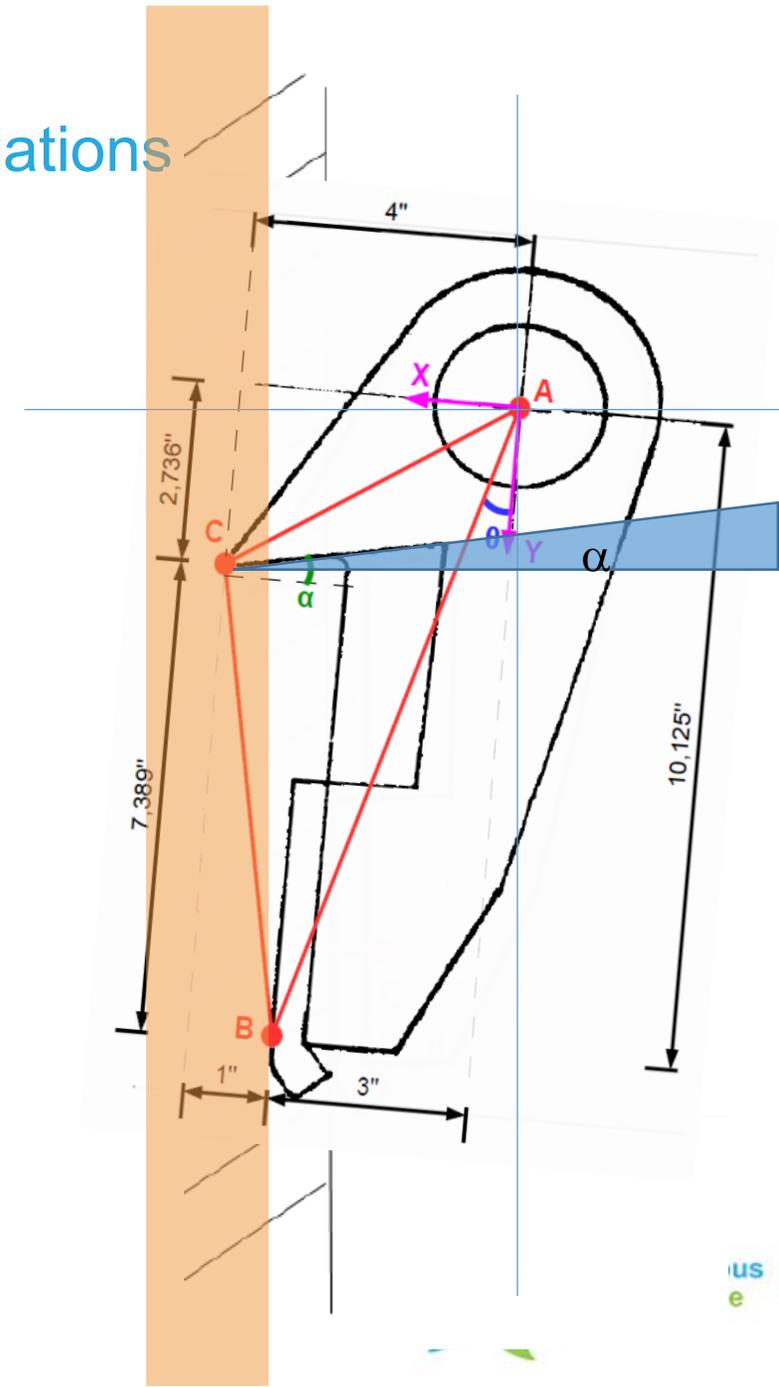
Le parachute de type « Ontario » à dent simple - Simulations

Peu de données scientifiques (années 1970-1980)

mais l'angle α est important

Caractérisation de la variation de la force de freinage
pour trois équations empiriques

- usure du guide



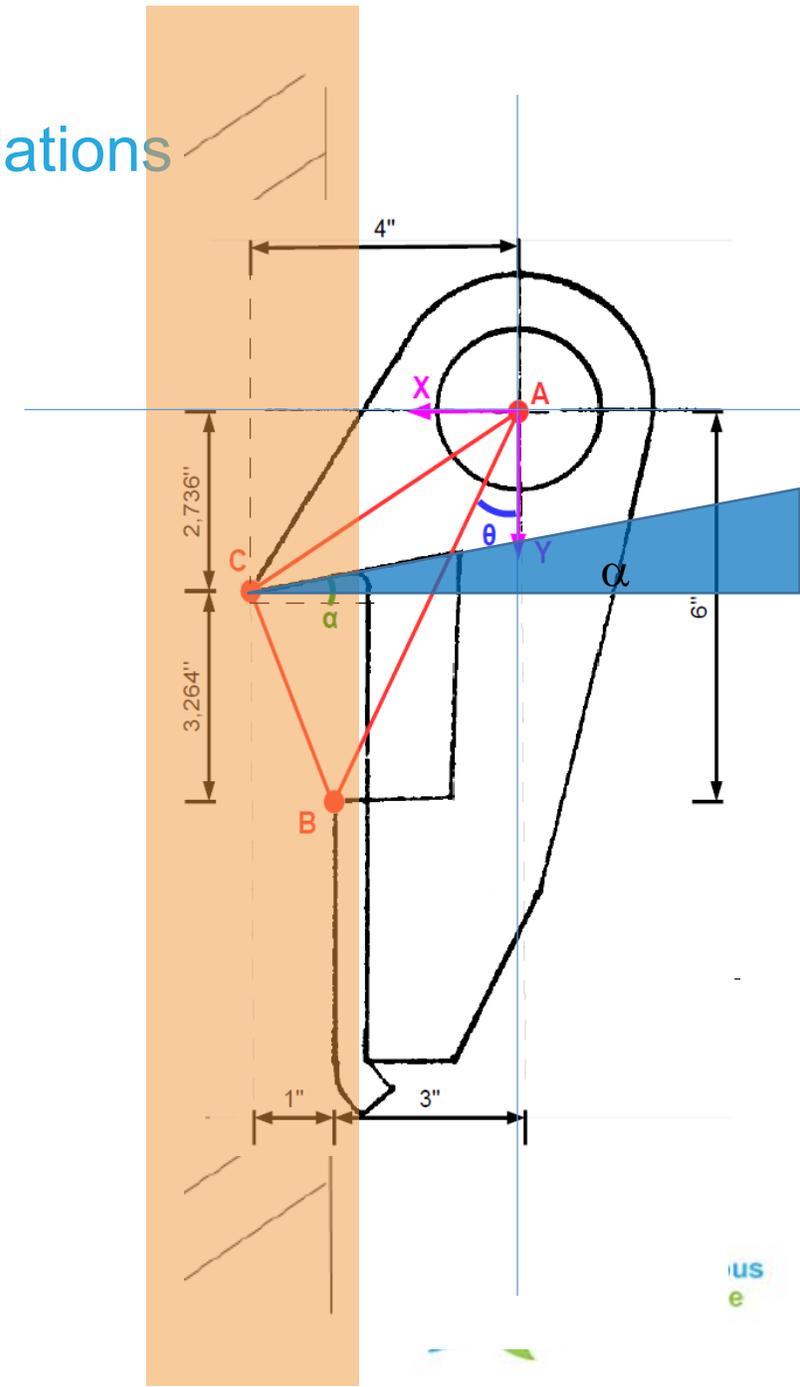
Le parachute de type « Ontario » à dent simple - Simulations

Peu de données scientifiques (années 1970-1980)

mais l'angle α est important

Caractérisation de la variation de la force de freinage pour trois équations empiriques

- usure du guide / surdimensionnement



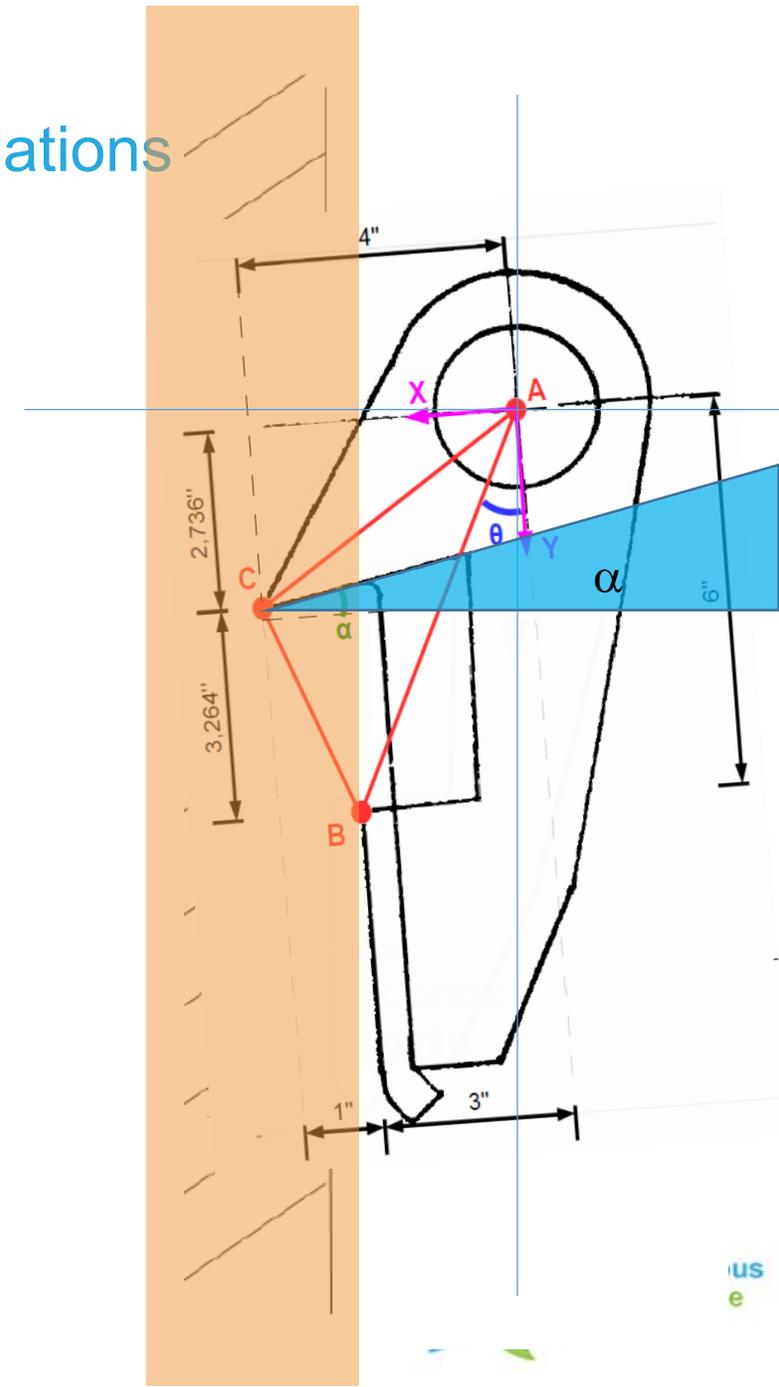
Le parachute de type « Ontario » à dent simple - Simulations

Peu de données scientifiques (années 1970-1980)

mais l'angle α est important

Caractérisation de la variation de la force de freinage pour trois équations empiriques

- usure du guide / surdimensionnement



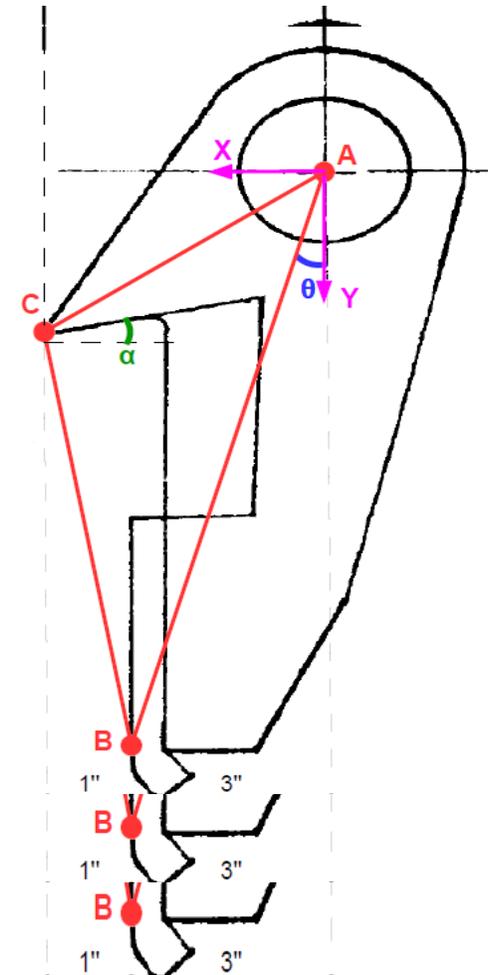
Le parachute de type « Ontario » à dent simple - Simulations

Peu de données scientifiques (années 1970-1980)

mais l'angle α est important

Caractérisation de la variation de la force de freinage
pour trois équations empiriques

- usure du guide / surdimensionnement
- Géométrie de la dent: longue, normale, courte ($\pm 20\%$)



| Le parachute de type « Ontario » à dent simple - Simulations

La force de freinage calculée est rarement supérieure à la force de freinage réelle

La force de freinage (F_d) par dent n'est surestimée que dans 17,5% des cas avec l'équation 4.7

$$F_d = C_1 \cdot P + C_2 \cdot L$$

C_1, C_2 constantes (fonction de α)

P, L profondeur et largeur dent

Simple, fiable, efficace

Le parachute de type « Ontario » à dent simple - Simulations

La force de freinage calculée est rarement supérieure à la force de freinage réelle

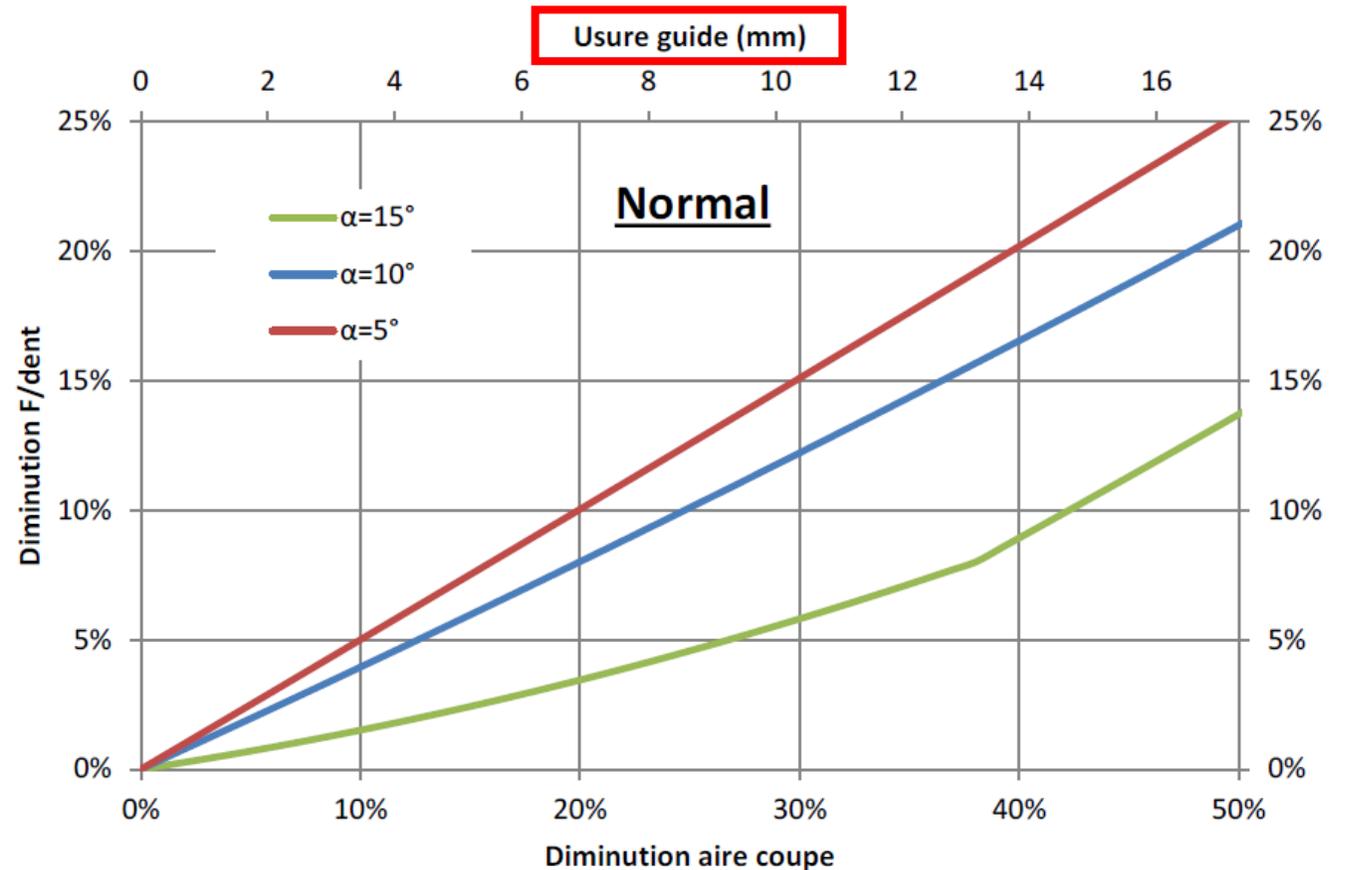
La force de freinage (F_d) par dent n'est surestimée que dans 17,5% des cas avec l'équation 4.7

$$F_d = C_1 \cdot P + C_2 \cdot L$$

C_1 , C_2 constantes (fonction de α)

P , L profondeur et largeur dent

Simple, fiable, efficace



Le parachute de type « Ontario » à dent simple - Simulations

La force de freinage calculée est rarement supérieure à la force de freinage réelle

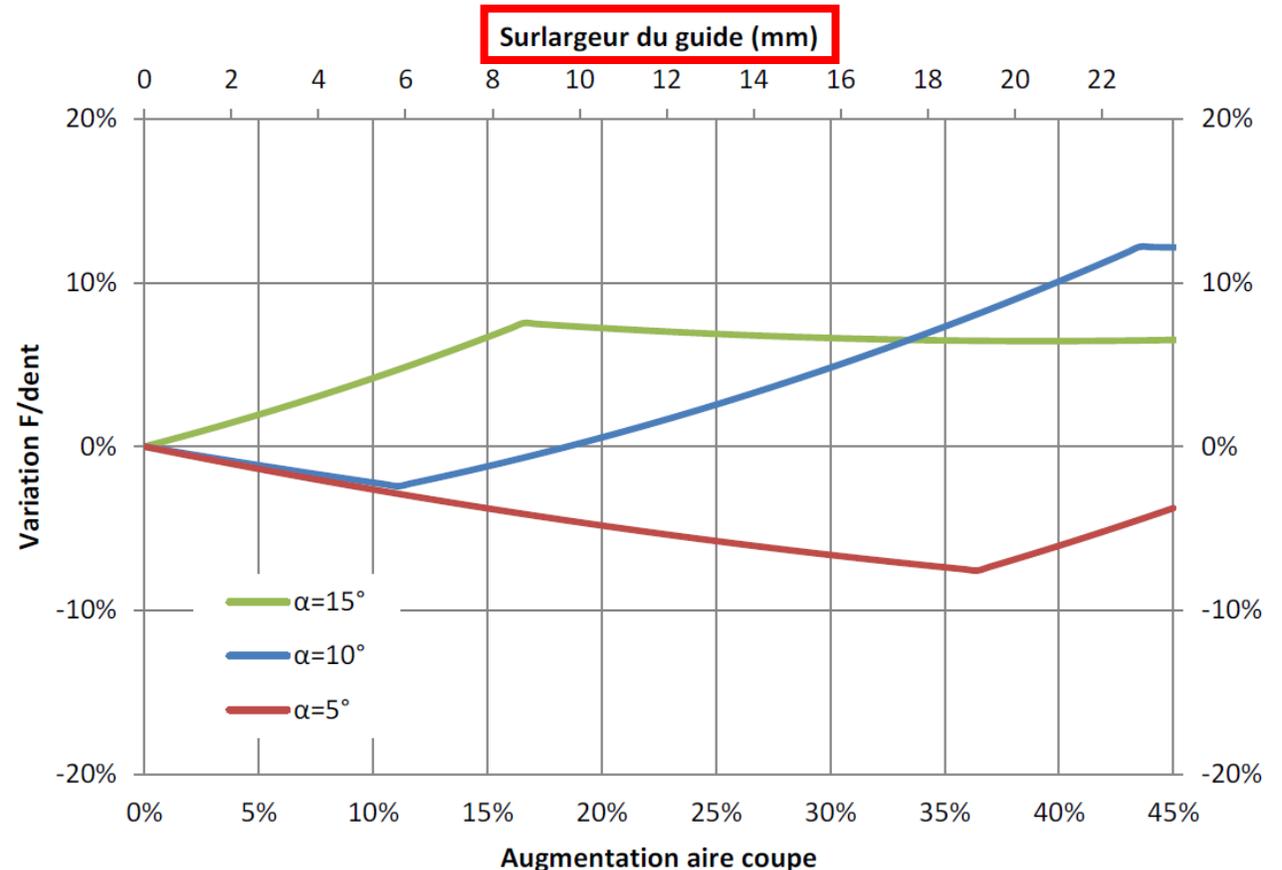
La force de freinage (F_d) par dent n'est surestimée que dans 17,5% des cas avec l'équation 4.7

$$F_d = C_1 \cdot P + C_2 \cdot L$$

C_1, C_2 constantes (fonction de α)

P, L profondeur et largeur dent

Simple, fiable, efficace



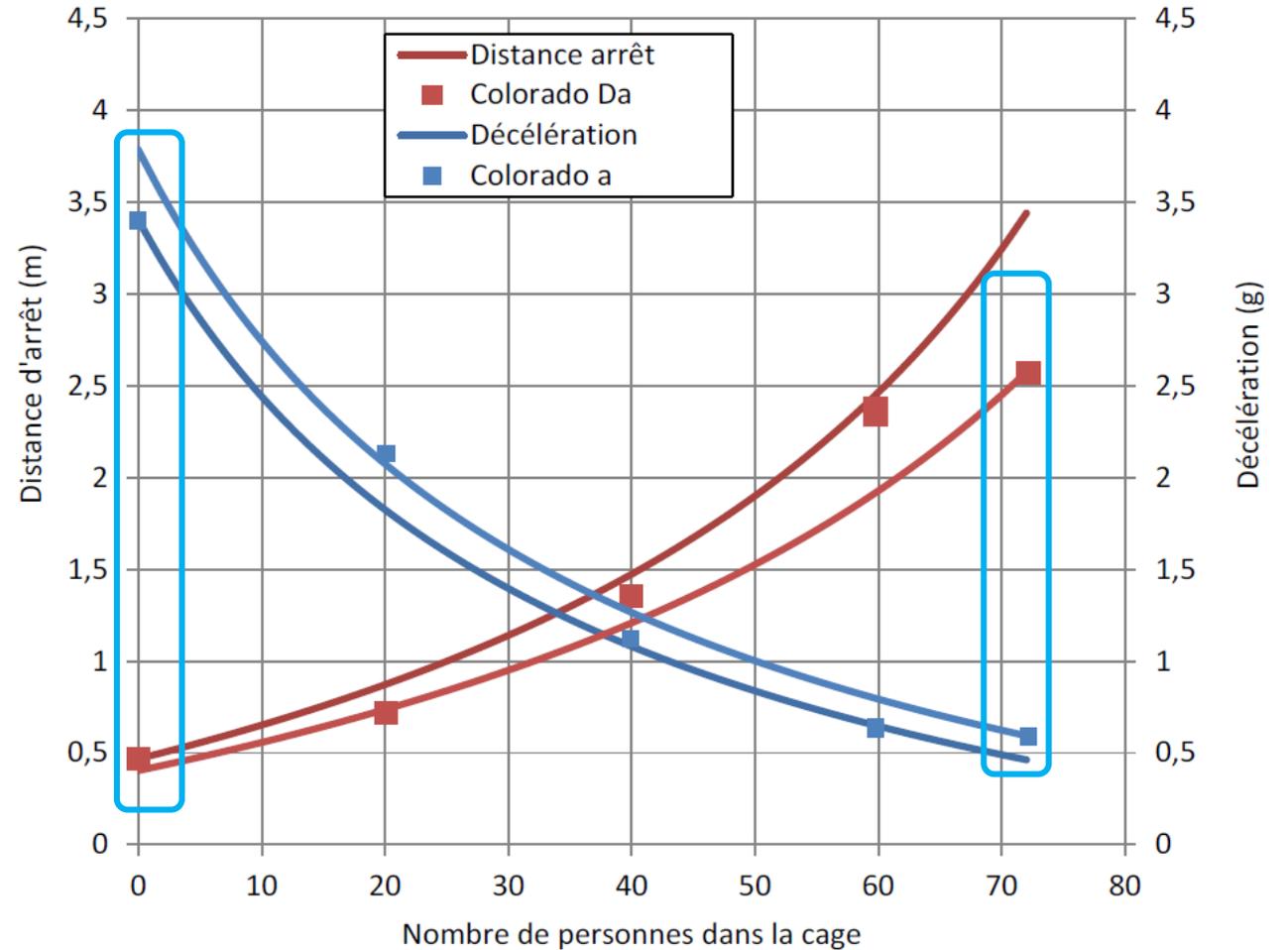
Le parachute de type « Ontario » à dent simple - Simulations

Force de freinage quasi constante 😊

Mais attention à la décélération !

Surtout lorsque peu de travailleurs sont dans la cage

Et lorsqu'une valeur de décélération minimale est exigée pour une cage à pleine charge



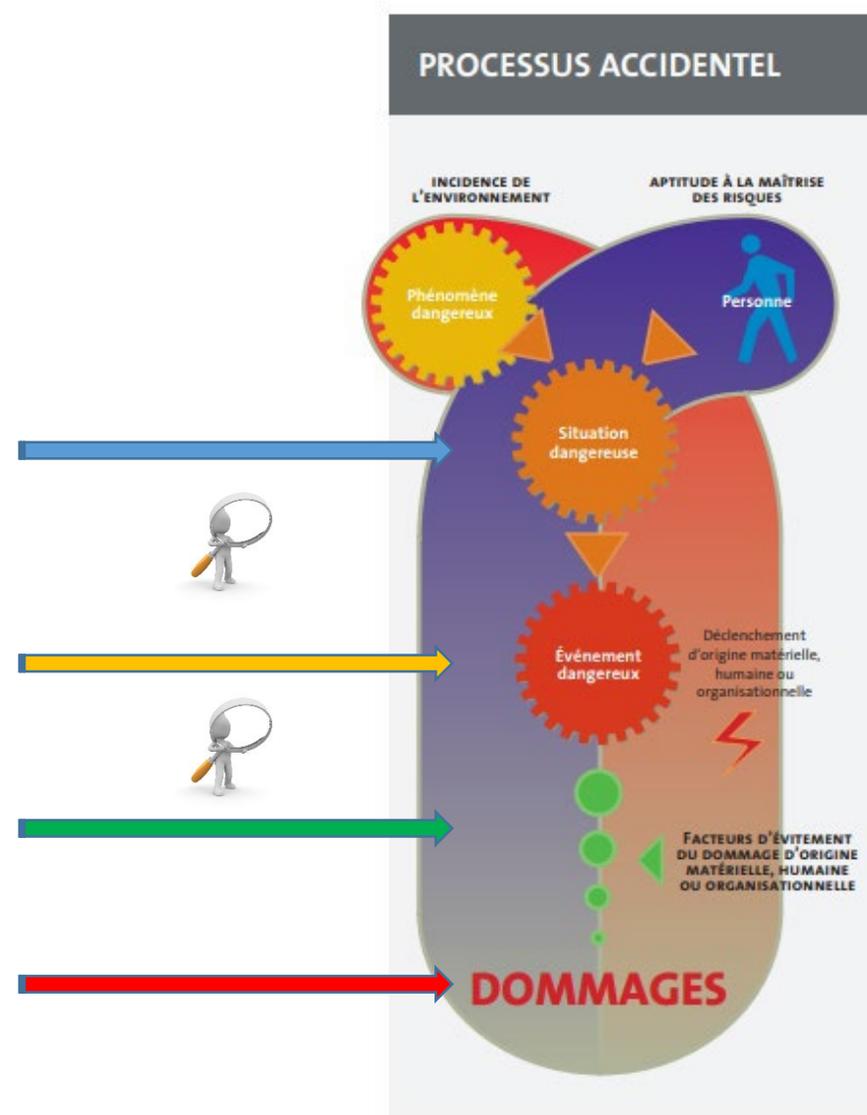
Volet 3 – Perte de contrôle de la cage

Transport de mineurs dans une cage

Rupture du câble ou machine folle

Actionnement du parachute ou du frein d'urgence

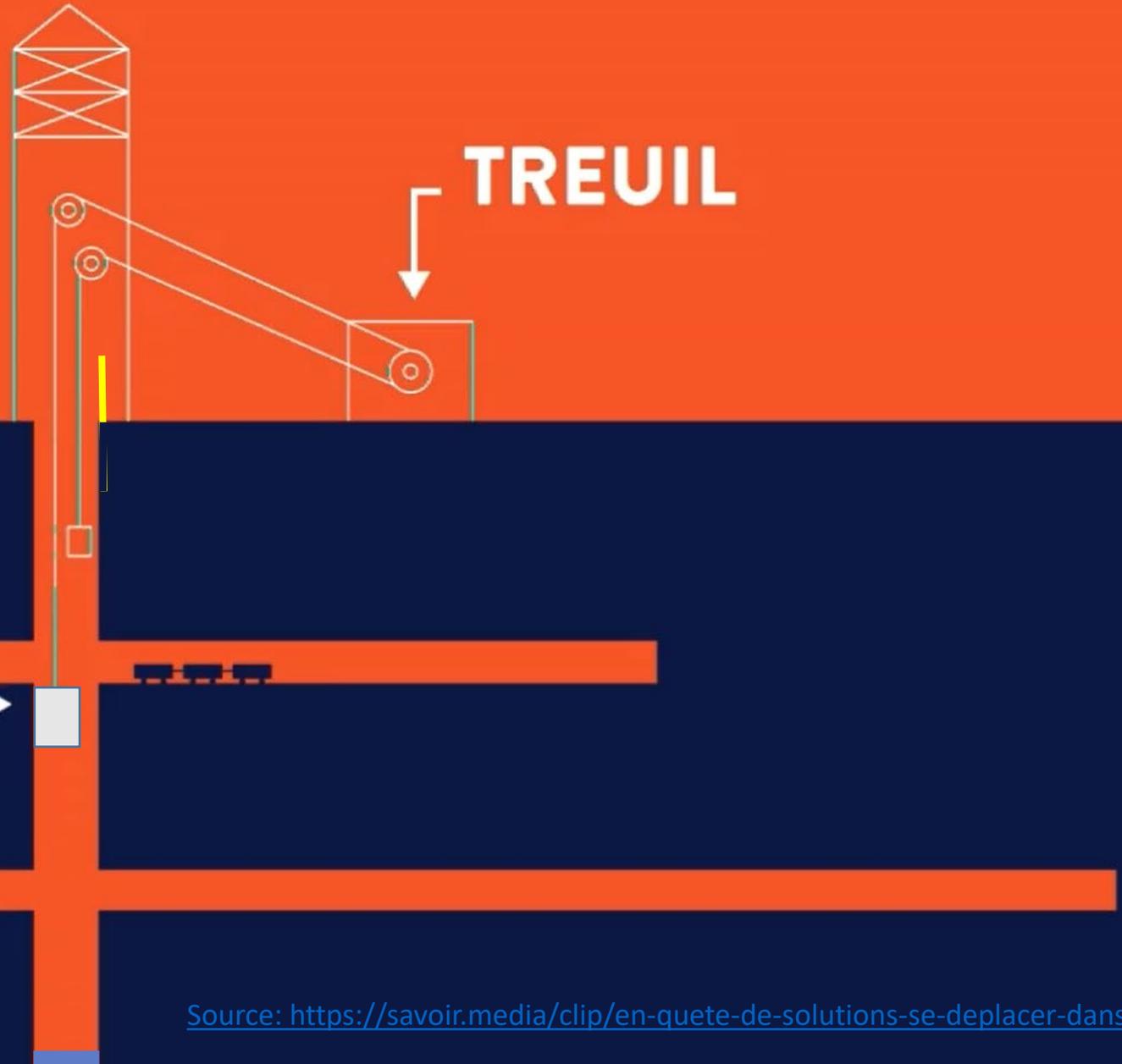
Écrasement de la cage au fond du puits, dans le chevalement, dans une porte du puits, dans l'eau au fond du puits...



CHEVALEMENT
MACHINE D'EXTRACTION

TREUIL

CAGE-SKIP



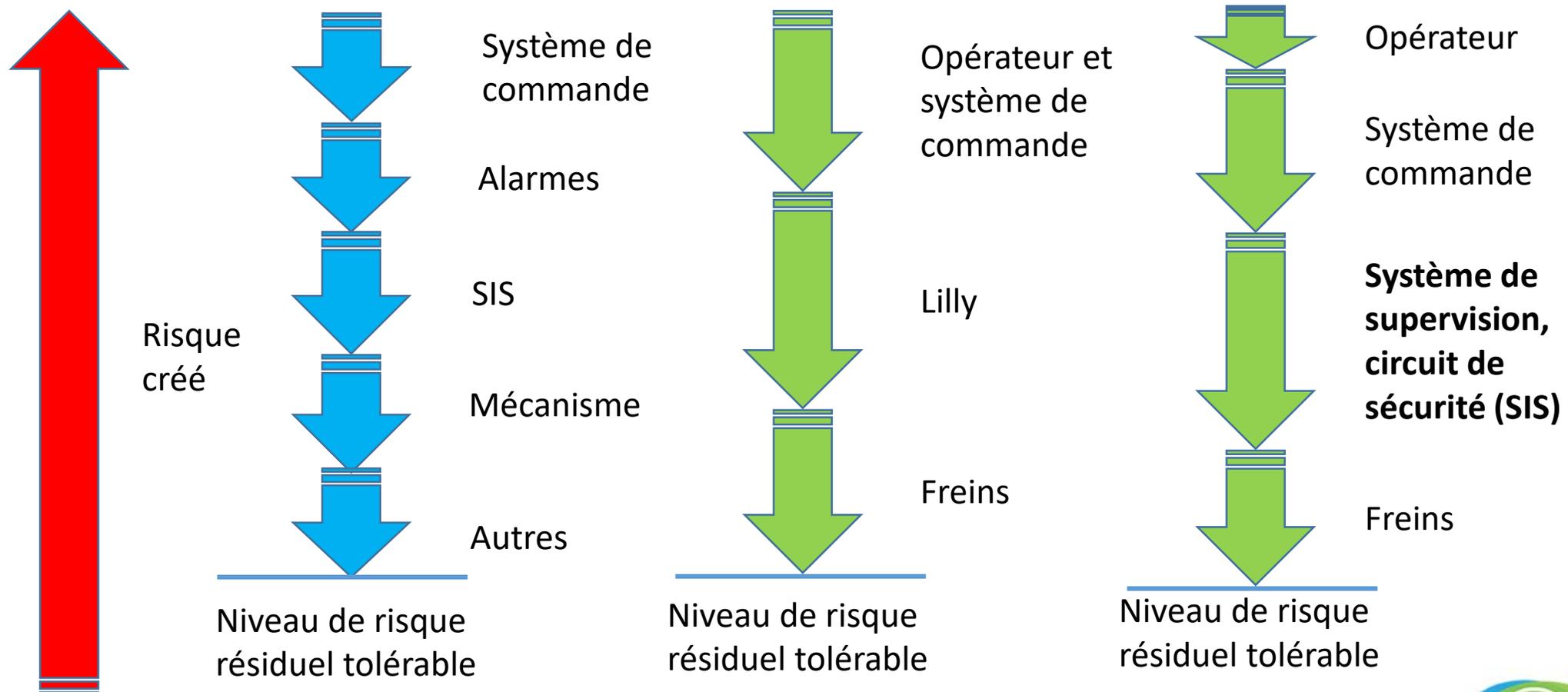
Moyens de maîtrise du risque utilisés au Québec en 2014

Événement dangereux	Rupture du câble	Perte de contrôle du déplacement de la cage
Moyens de maîtrise du risque		
Couche 8 : plan d'intervention	/	/
Couche 7 : plan d'urgence	Sauvetage minier	Sauvetage minier
Couche 6 : protection post-décharge	/	/
Couche 5 : sécurité physique	Système parachute de la cage	/
Couche 4 : systèmes instrumentés de sécurité (SIS)	/	Contrôleur Lilly Circuit de sécurité
Couche 3 : alarmes et intervention humaine	Alarme de déclenchement intempestif du système parachute (SAMS) Suivi en continu de l'état du câble (SAMS) Automate programmable industriel (PLC) de supervision	Contrôleur Lilly Automate programmable industriel (PLC) de supervision Arrêt d'urgence (SAMS)
Couche 2 : conduite	Opérateur du treuil Automate programmable industriel (PLC) de commande Supervision des forces de freinage dynamiques	Opérateur du treuil Automate programmable industriel (PLC) de commande
Couche 1 : conception	Règles de l'art de la conception d'un câble et d'un treuil minier	Règles de l'art de la conception d'un treuil minier

Le Lilly devient obsolète !



Contribution à la réduction du risque



Les systèmes instrumentés de sécurité

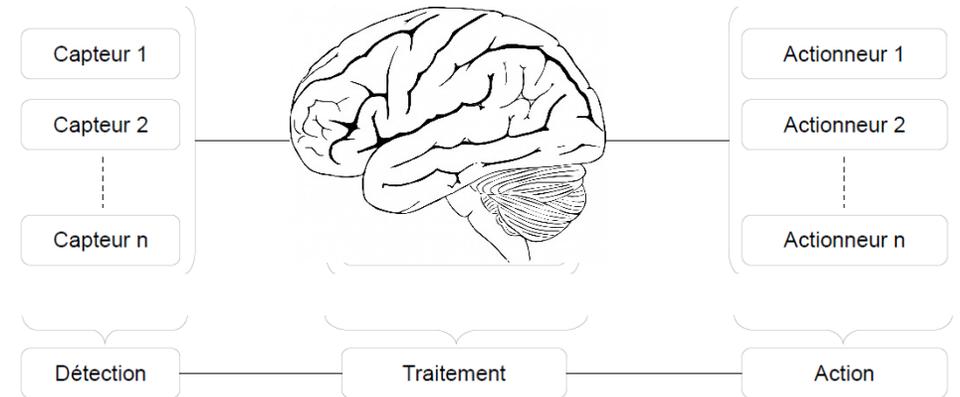
Les SIS sont devenus le maillon clé de la sécurité des treuils
capteur – cerveau/prise de décision - actionneur

Ce sont eux qui assurent la sécurité

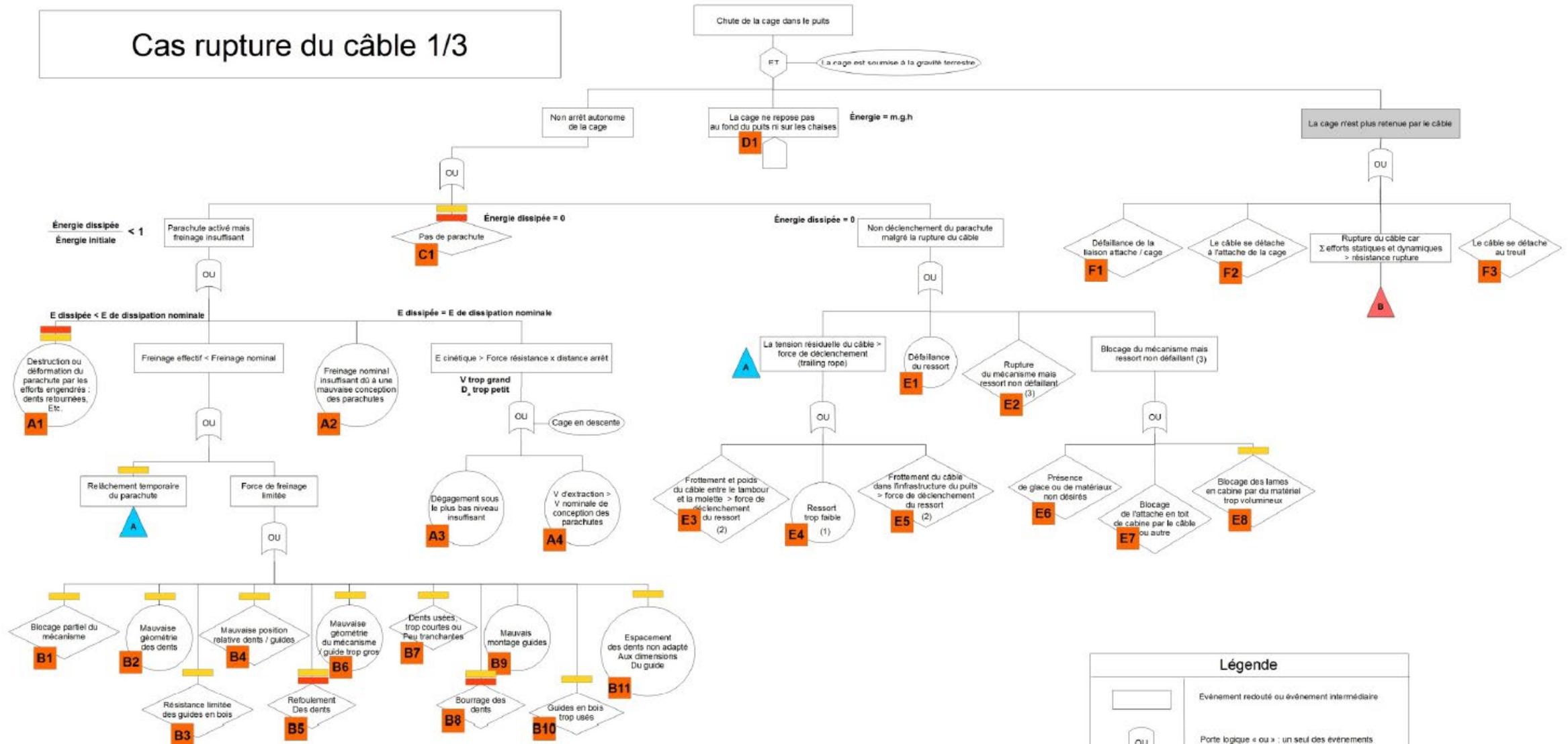
Les SIS doivent respecter les normes internationales

- Pour la conception
- Pour la programmation
- Pour les modifications

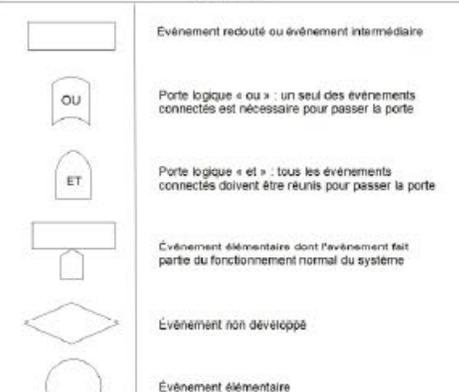
Le niveau de fiabilité (SIL, PL) doit être élevé



Cas rupture du câble 1/3



Légende



Événements élémentaires éliminés

	Événement élémentaire éliminé par utilisation d'un parachute moderne de type Levelok ou Loc-N-Load
	Événement élémentaire éliminé par utilisation d'un parachute traditionnel muni de dents de type Ontario

Notes pour les parachutes modernes

(1)	Ou jauge de déformation mal réglée
(2)	Déformation de la jauge maintenue par la tension dans le câble
(3)	Ou jauge de déformation

Conclusion

32 recommandations ont été formulées

- 20 recommandations pour le volet 2
- 12 recommandations pour le volet 3

Le parachute classique demeure un **élément essentiel et non négociable** qui assure la sécurité ultime des passagers dans la cage

Des pistes d'amélioration sont proposées pour les parachutes classiques (contrôle du freinage, déclenchement sans rupture du câble...) et modernes (conditions de déclenchement élargies telle que la survitesse)

Les **systèmes instrumentés de sécurité (SIS)** vont prendre de plus en plus d'importance

Les notions présentées dans cette expertise devraient être **plus connues et plus diffusées**

La machine d'extraction est un élément clé de la rentabilité et de la sécurité de la mine

Il faut donc lui accorder toute l'attention nécessaire pour garantir sa fiabilité et assurer la sécurité des passagers dans la cage

Remerciements

- Aux inspecteurs et professionnels de la CNESST et de CanMet pour leur disponibilité, leur implication dans cette expertise et la volonté de partager leur expérience.
- Aux inspecteurs miniers spécialisés du Yukon pour les précisions apportées sur les réglementations minières en vigueur dans leur province.
- Au personnel du centre de documentation de la CNESST et de l'IRSST pour la recherche bibliographique, et l'aide fournie dans la localisation et l'obtention de certains documents.
- Au personnel des mines pour leur accueil lors de nos visites en février et avril 2014.

Publications

3 articles publiés, 1 en évaluation

- Galy, b., & Giraud, L. (2016). Mine conveyance safety: The evolution and regulation of safety catches. *CIM Journal*, 7(1), 13–26. <http://dx.doi.org/10.15834/cimj.2016.6>
- Galy, b., & Giraud, L. (2016). Mine hoist safety: Regulations and proposed improvements to risk-mitigation strategies. *CIM Journal*, 7(4), 251-262. <http://dx.doi.org/10.15834/cimj.2016.27>
- Giraud, L., et Galy, B. (2018). Fault tree analysis and risk mitigation strategies for mine hoists. *Safety Science*, 110 222-234. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.08.010>
- Giraud, L., et Galy, B. (2018). Risk mitigation strategies for automated current and future mine hoists. *Safety Science* (en évaluation)

3 rapports d'expertise

- Giraud, L. and Galy, B., 2022, "Modernisation des parachutes de transporteurs de mines : volet 1 - État de l'Art", *IRSST*, Rapport n°QR-1156-fr
- "Modernisation des parachutes de transporteurs de mines : volet 2 - Cas de la rupture du câble", QR-1157-fr
- "Modernisation des parachutes de transporteurs de mines : volet 3 - Perte de contrôle de la cage", QR-1158-fr