



**Nouveaux enjeux de santé et de sécurité dans les milieux de
travail en constante évolution :
un débat canadien**

Les méthodes et technologies naissantes

Présenté par

Catherine Burns

Professeure agrégée

Génie d'étude de système, Université de Waterloo

Waterloo (Ontario) Canada



Canadian Centre for Occupational Health and Safety  Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail

Les enjeux face à une complexité croissante

- Le problème est plus difficile à cerner.
- Les problèmes interagissent les uns avec les autres
- Les solutions semblent moins évidentes.
- La preuve de l'efficacité d'une solution est difficile à établir.



Prévoir les éventuelles défaillances



Nouveaux enjeux de santé et de sécurité dans les
milieux de travail en constante évolution :
un débat canadien

Les méthodes et technologies naissantes

Catherine Burns
cburns@uwaterloo.ca

Une histoire

Un matin, vous vous levez en retard parce que le volume de votre réveil-matin était trop bas (vous n'avez rien entendu). Vous avez réussi à reconduire les enfants à l'arrêt d'autobus et, à votre retour, vous réalisez que vous avez oublié de leur remettre un formulaire dont ils avaient besoin pour une sortie scolaire prochaine. Vous déposez le formulaire à l'école et arrivez au travail avec quelques minutes de retard. Malheureusement, votre patron avait prévu une réunion au début de la matinée cette journée-là. Normalement, vous seriez arrivé à temps pour lire vos courriels et vous présenter à temps à la réunion. Cependant, vous arrivez en retard à la réunion, qui ne se déroule pas bien.

Adaptée de « Normal Accidents », 1999, de Perrow.



Raisons pour lesquelles la réunion ne s'est pas bien déroulée...

La **défaillance** de votre réveil-matin, ou le fait que le signal diffusé par la station de radio n'était pas aussi fort que la veille.

Votre **erreur (humaine)** en réglant le volume trop bas.

Vos **méthodes et pratiques**, p. ex. en n'ayant pas préparé le matériel des enfants la veille.

Les **méthodes et pratiques** de l'école, qui exige trop de formulaires

Des **facteurs** extérieurs, p. ex. votre gestionnaire qui organise une réunion à la dernière minute.

La **mauvaise conception** de votre réveil-matin qui n'a pas relevé votre erreur.



Three Mile Island

Babcock et Wilcox (les fabricants de l'équipement) a jeté le blâme sur les opérateurs – erreur humaine.

Metropolitan Edison (le service public) a jeté le blâme sur l'équipement – défaillance mécanique.

La Commission de la réglementation de l'énergie nucléaire a jeté le blâme sur la conception du système.

Les opérateurs ont imputé la faute aux mauvaises procédures.

La commission créée par le président a jeté le blâme sur chacune des parties concernées.



Les enjeux face à une complexité croissante

- Le problème est plus difficile à cerner.
- Problèmes interactifs
- Les solutions semblent moins évidentes.
- La preuve de l'efficacité d'une solution est difficile à établir.



Cerner le problème : les accidents surviennent parce que...

- Les systèmes tombent en panne de façon inattendue.
- Les parties défectueuses ne peuvent être isolées.
- Les parties interagissent entre elles de façon complexe et imprévisible.



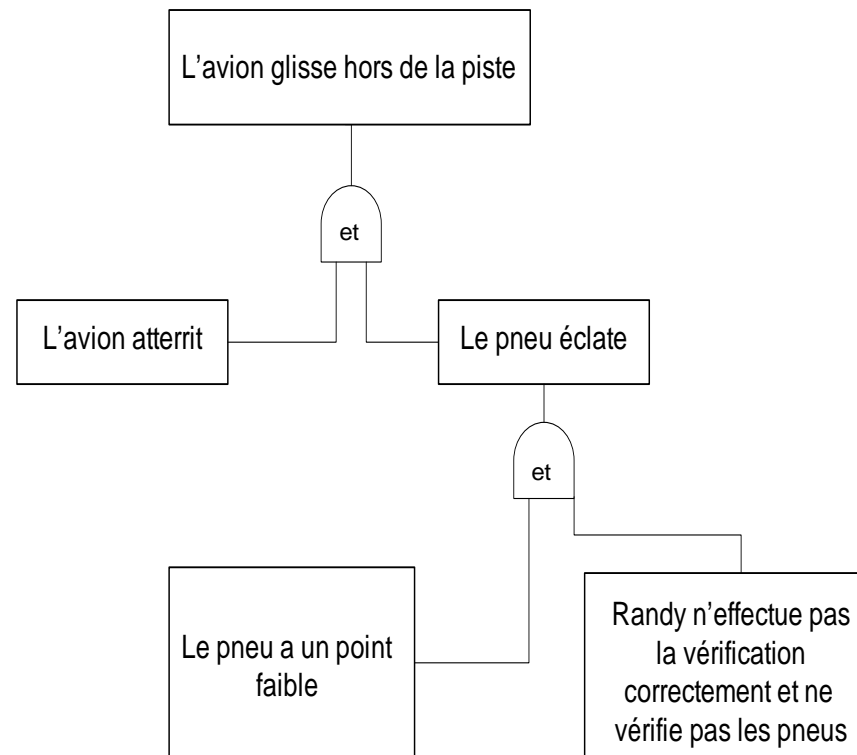
Prévoir les problèmes

- Méthodes de prédiction des défaillances :
 - Analyse des modes de pannes, de leurs effets et de leur criticité.
 - Analyse par arbre des causes.
- Cerner les points faibles avant que les problèmes ne se manifestent.
- Analyser les problèmes après leur apparition.



Exemple

Randy, qui était fatigué, a préparé l'avion pour son décollage mais a oublié de vérifier l'état des pneus du train d'atterrissage. À l'atterrissage, un des pneus a éclaté, ce qui a dirigé l'avion hors de la piste. L'analyse effectuée après l'accident a montré un point faible sur le flanc du pneu.

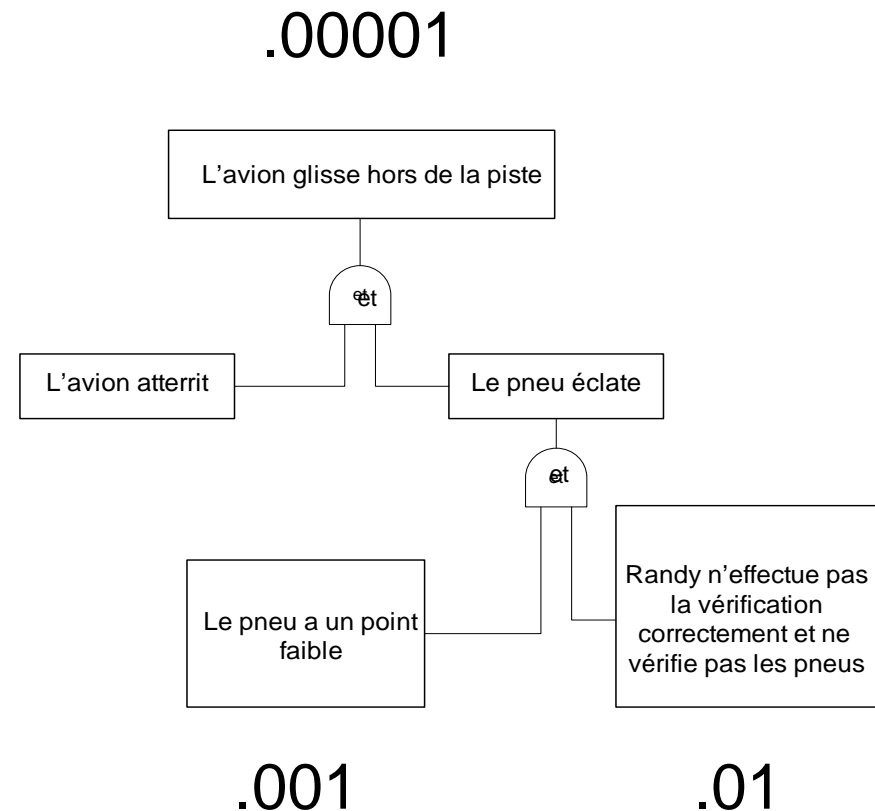


AAC

Observation : 1 fois sur 100, les pilotes oublient de vérifier les pneus.

Fabricant : 1 pneu sur 1000 a un point faible.

Accident impliquant un pneu : peut se produire 1 fois sur 100 000 vols.



AMPEC

- Suivre rigoureusement toutes les étapes du processus.
- Prévoir toutes les défaillances possibles à chaque étape.
- Établir un ordre de priorité pour cerner les défaillances les plus fréquentes ou les plus graves.
- Élaborer une stratégie pour améliorer les processus et les systèmes.



Causes des défaillances d'un réveil-matin

- Non réglé
- Réglé pour l'après-midi au lieu de l'avant-midi.
- Réglé mais le volume est trop bas.
- Réglé sans choisir une fréquence radio.
- Réglé mais à une fréquence radio qui n'est pas assez puissante.
- Réglé mais une panne a remis le réveil à l'état initial.
- Réglé mais l'utilisateur l'éteint lorsque la sonnerie se déclenche.
- Réglé mais l'utilisateur a utilisé la fonction rappel d'alarme trop souvent.



Pourquoi ça marche

Un processus rigoureux et systématique révèle des défaillances à venir que vous ne verriez pas autrement.



Stratégie 1

**Prévoir les éventuelles
défaillances**



Prévoir les éventuelles défaillances



Nouveaux enjeux de santé et de sécurité dans les
milieux de travail en constante évolution :
un débat canadien

Les méthodes et technologies naissantes

Catherine Burns
cburns@uwaterloo.ca

Pourquoi la complexité cause-elle des accidents?

Des événements se transforment en accidents :

- lorsqu'ils passent inaperçus;
- lorsque le système est étroitement imbriqué et que l'événement en provoque d'autres;
- lorsque le système est complexe.

Plus le système est complexe et étroitement imbriqué, plus il est sensible aux événements.



Dans les systèmes complexes

- Les interactions et les interconnexions empêchent l'utilisateur de saisir tous les liens et de prévoir toutes les conséquences d'une action.
- Les processus sont asservis au temps. Un événement en provoque un autre ailleurs et certains peuvent être non interruptibles.
- Dans les systèmes complexes à gain élevé, les petites défaillances causent des problèmes importants.



Pourquoi les systèmes sont-ils complexes?

- Conception
- Conception axée sur l'efficacité
- Conception intégrant une automatisation
- Conception intégrant des systèmes de sécurité

Il existe des tas de « **bonnes** » raisons pour construire des systèmes complexes.



Comment les systèmes deviennent-ils plus complexes?

Les systèmes deviennent plus complexes au fil du temps pour les raisons suivantes :

- Panne
- Vieillessement
- Entretien
- Nouvelle conception
- Installation en rattrapage

Les systèmes deviennent plus complexes à mesure que les accidents surviennent.



Reconnaître quand un système devient complexe

- Processus qui dépendent davantage du temps.
- Séquences fixes (X doit se produire avant Y).
- Processus qui ne fonctionnent que dans un sens (pas de solution de remplacement).
- Marge de manœuvre limitée (exige des quantités et un temps précis).
- Gain élevé : un événement mineur peut causer une réaction importante.



Gain élevé

Virginia Electric Power, 1980

Alors qu'un travailleur nettoyait un plancher dans un bâtiment secondaire, sa chemise s'est coincée autour de la poignée de 3 pouces d'un disjoncteur. En voulant se dégager, il a déclenché le disjoncteur, mettant hors tension les barres de commande du réacteur. Le réacteur s'est arrêté automatiquement et il a fallu 4 jours pour le remettre en marche, ce qui a coûté des centaines de milliers de dollars.

Défaillance mineure = problème majeur



Remplacement d'une ampoule en Californie, 1978

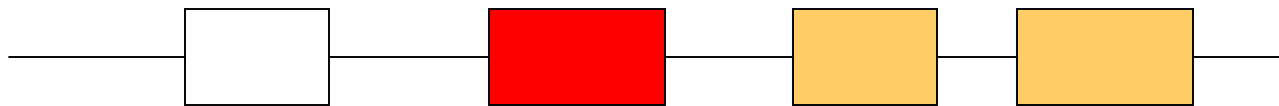
Un travailleur changeait une ampoule sur un tableau dans une salle de commande et l'a échappée. En s'écrasant, l'ampoule a créé un court-circuit dans des capteurs et des commandes. Le réacteur s'est arrêté automatiquement. Les capteurs étant inactifs, les opérateurs ne pouvaient plus surveiller l'usine. L'arrêt a provoqué un refroidissement trop rapide du cœur du réacteur. Les opérateurs ont failli provoquer la fissuration du caisson du réacteur et une fusion importante du cœur du réacteur.

Défaillance mineure = problème majeur



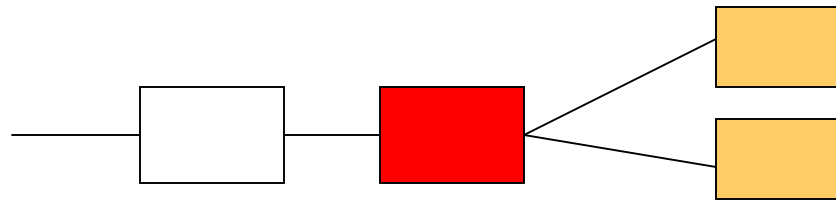
Comprendre la complexité

Interactions linéaires : un processus est effectué selon une séquence d'opérations. Une seule défaillance touche tout le système en « aval ».

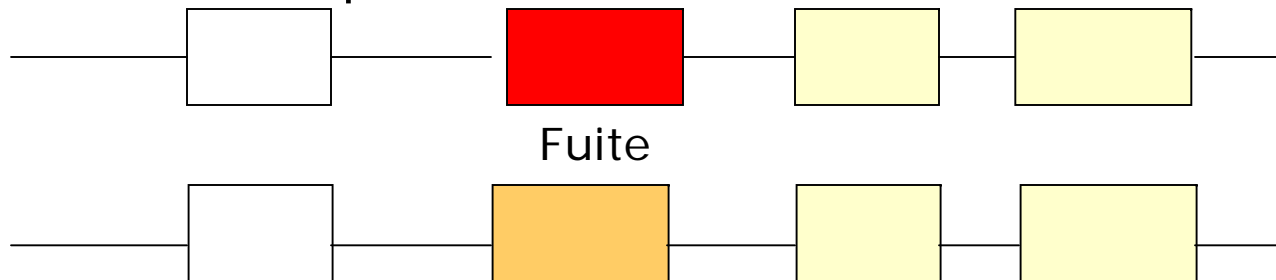


Interactions non linéaires complexes

Interaction en mode commun : un élément dessert deux ou plusieurs parties. Défaillance en mode commun.



Interaction de proximité : deux éléments qui normalement ne sont pas interdépendants interagissent uniquement en raison de leur emplacement.



-
- La plupart des systèmes sont fortement linéaires (> 99 %)
 - Le risque d'accidents est beaucoup plus important dans les systèmes caractérisés par seulement 90 % d'interactions linéaires et 10 % d'interactions non linéaires complexes.



Reconnaître (davantage) les systèmes linéaires

- Système plus étendu dans l'espace afin de réduire les interactions de proximité.
 - Les unités qui ne font pas partie du même procédé ne sont pas logées dans le même bâtiment.
- Les personnes occupent des emplois moins spécialisés et peuvent se remplacer les unes les autres.
- Les exigences relatives aux matériaux sont moins rigoureuses et ces derniers peuvent plus facilement être remplacés.
- Les boucles de rétroaction sont locales.
- Le contrôle est décentralisé.



Systemes complexes

- Loger les composants des différents sous-systèmes dans le même bâtiment ou au même endroit.
- Établir des liens en mode commun entre les composants qui ne font pas partie de la même séquence d'exploitation.
- Les employés sont spécialisés, hautement qualifiés, et ne peuvent facilement se remplacer les uns les autres.
- Les matériaux sont spécifiques et surveillés de façon rigoureuse.
- Les boucles de rétroaction sont globales.
- Le contrôle est centralisé.



Événements liés a la panne du réseau électrique de 2003

Contexte : Après-midi du mois d'août; facteurs de charge intermédiaires à cause des climatiseurs; deux unités sont en panne.

- 1 h 31** Une autre unité tombe en panne; facteurs de charge élevés.
- 3 h 05** Une autre ligne de transport d'énergie tombe en panne (la capacité tampon est maintenant disparue).
- 2 h 14-3 h 59** Pannes d'ordinateur dans la salle de commande de la FE Company (aucune connaissance de la situation).
- 3 h 15-3 h 39** Trois autres lignes tombent en panne à cause de branches et d'arbres cassés.
- 3 h 39-3 h 58** Sept autres lignes sont mises hors services à cause de la surcharge.
- 4 h 05-4 h 08** Quatre lignes importantes sont hors service à cause d'une surcharge en cascade dans l'est de l'Amérique du Nord.



Panne du réseau électrique

- Interaction linéaire : une ligne secondaire est mise hors service, puis une importante ligne interreliée est aussi mise hors service.
- Interaction de mode commun : une ligne importante est mise hors service et provoque la mise hors service de deux ou plusieurs lignes secondaires.
- Interaction de proximité : Des branches d'arbre heurtent les brides de fixation de câbles :
 - Les événements ne pouvaient être arrêtés.
 - Les événements en cascade ont provoqué d'autres événements.
 - Les événements se sont produits très rapidement.



2003 Power Grid Failure Events

Contexte : Après-midi du mois d'août; facteurs de charge intermédiaires à cause des climatiseurs; deux unités sont en panne.

1 h 31 Une autre unité tombe en panne; facteurs de charge élevés.

3 h 05 Une autre ligne de transport d'énergie tombe en panne (la capacité tampon est maintenant disparue).

2 h 14-3 h 59 **Pannes d'ordinateur** dans la salle de commande de la FE Company (aucune connaissance de la situation).

3 h 15-3 h 39 Trois autres lignes tombent en panne à cause de branches et d'arbres cassés.

3 h 39-3 h 58 Sept autres lignes sont mises hors services à cause de la surcharge.

4 h 05-4 h 08 Quatre lignes importantes sont hors service à cause d'une surcharge en cascade dans l'est de l'Amérique du Nord.

Le problème est de plus en plus complexe au fur et à mesure que l'accident progresse!



Beurre d'arachides

L'entreprise affirme que la bactérie *Salmonella* s'est répandue dans son usine de fabrication de beurre d'arachides en raison de l'humidité - 5 avril 2007

**Article fourni par : la Presse Canadienne
Auteur : JOSH FUNK**

OMAHA, Nebraska (AP) - ConAgra Foods a déclaré jeudi que l'humidité provenant d'une fuite dans le toit et d'un système d'extinction automatique défectueux étaient à l'origine de la bactérie *Salmonella* qui a contaminé le beurre d'arachides à son usine de la Géorgie l'an dernier, rendant malade plus de 400 personnes aux États-Unis.

L'entreprise, située à Omaha, a effectué une enquête de près de deux mois sur la contamination et a assuré que le beurre d'arachides Peter Pan sera sécuritaire lorsqu'il se trouvera de nouveau en magasin à la mi-juillet.



Comment est-ce arrivé?

- Stéphanie Childs a indiqué que l'entreprise a attribué l'éclosion de la bactérie *Salmonella* à son usine de Sylvester, Géorgie, en août dernier, à trois problèmes.
- Le toit de l'usine a coulé durant une tempête de pluie et le système d'extinction automatique qui s'est déclenché par deux fois à cause d'un gicleur défectueux, qui a depuis été réparé.
- L'humidité créée à la suite de ces *trois événements*, *mélangée à la bactérie Salmonella* en dormance dans l'usine, qui provenait probablement, selon S. Childs, d'arachides non traitées et de poussières d'arachides.



Le résultat

ConAgra a rappelé tous ses produits de beurre d'arachides en février après que des responsables des autorités américaines en matière de santé les aient liés aux cas d'infection à *Salmonella*. Au moins 425 personnes dans 44 États ont été malades et de nombreuses poursuites ont été intentées contre l'entreprise.

Les arachides poussent sous terre et la bactérie *Salmonella* est présente dans la terre, mais généralement la bactérie est tuée lorsque les arachides brutes sont rôties.



Solution

Selon certains experts, la bactérie *Salmonella* aurait fort probablement contaminé le beurre d'arachides au moment de son refroidissement et de sa mise en pot. Dans la plupart des usines, cette opération ne prend que quelques minutes.

S. Childs a indiqué que l'entreprise a l'intention de revoir la conception de l'usine afin de ménager une plus grande séparation entre les arachides brutes et le produit fini. L'usine sera dotée également d'un nouveau toit.

ConAgra prévoit rouvrir son usine au début d'août.



Pourquoi ça fonctionne

Le fait de séparer les procédés réduit leur complexité.



Stratégie 2

Réduire la complexité



Établir une marge de sécurité



Nouveaux enjeux de santé et de sécurité dans les
milieux de travail en constante évolution :
un débat canadien

Les méthodes et technologies naissantes

Catherine Burns
cburns@uwaterloo.ca

Tenir compte du facteur humain

- Les personnes font des erreurs.
- Les personnes évaluent mal les risques et les probabilités.
- Les personnes privilégient les avantages à court terme plutôt que les avantages à long terme.
- Les personnes font preuve de moins de vigilance après un certain temps.
- Les personnes surestiment ou sous-estiment les qualités de l'automatisation.



Une « marge de sécurité » pour le facteur humain

- Concevoir en intégrant une certaine marge de manœuvre et en respectant les limites que posent :
 - la perception humaine
 - l'attention chez l'être humain
 - les capacités physiques de l'être humain
- Concevoir en tenant compte des paramètres suivants liés au travail :
 - le stress
 - la charge de travail
 - la fatigue



Une histoire

Un matin, vous vous levez en retard parce que le volume de votre réveil-matin était trop bas (vous n'avez rien entendu). Vous avez réussi à reconduire les enfants à l'arrêt d'autobus et, à votre retour, vous réalisez que vous avez oublié de leur remettre un formulaire dont ils avaient besoin pour une sortie scolaire prochaine. Vous déposez le formulaire à l'école et arrivez au travail avec quelques minutes de retard. Malheureusement, votre patron avait prévu une réunion au début de la matinée cette journée-là. Normalement, vous seriez arrivé à temps pour lire vos courriels et vous présenter à temps à la réunion. Cependant, vous arrivez en retard à la réunion, qui ne se déroule pas bien.

Adaptée de « Normal Accidents », 1999, de Perrow.



La planification de marges de sécurité permettrait de...

- régler le réveil-matin plus tôt;
- régler un deuxième réveil ou prévoir un système d'avertissement;
- régler le volume à un niveau plus élevé;
- mettre les formulaires dans les sacs d'école la veille.



Tous les jours...

Nous prévoyons tous des marges de sécurité chaque jour lorsque nous :

- quittons un peu plus tôt;
- vérifions que le réservoir d'essence est plein;
- évitons de reporter ce qui doit être fait;
- achetons un petit extra pour une fête.
- discutons avec un collègue de ce qui l'attend dans sa sphère de travail.



Au travail...

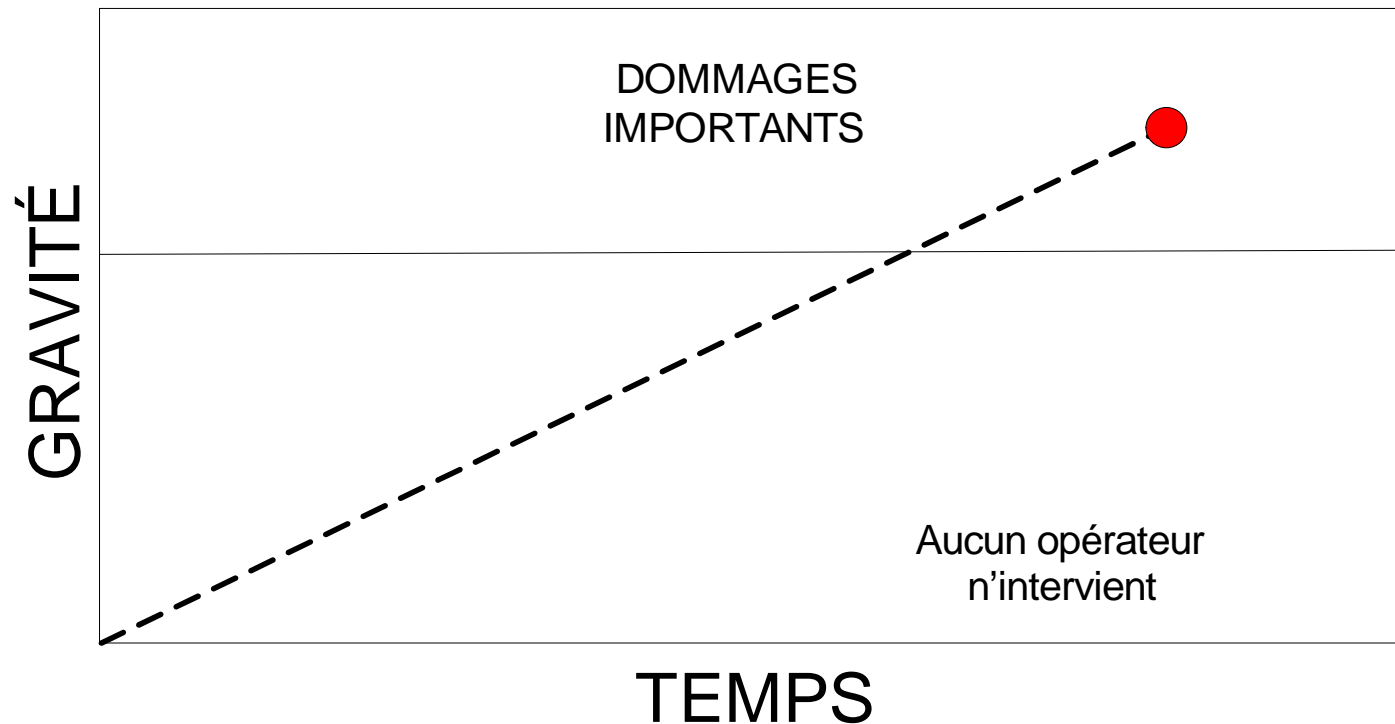
Aider les personnes à voir plus loin.

Donner aux personnes un peu plus de temps.

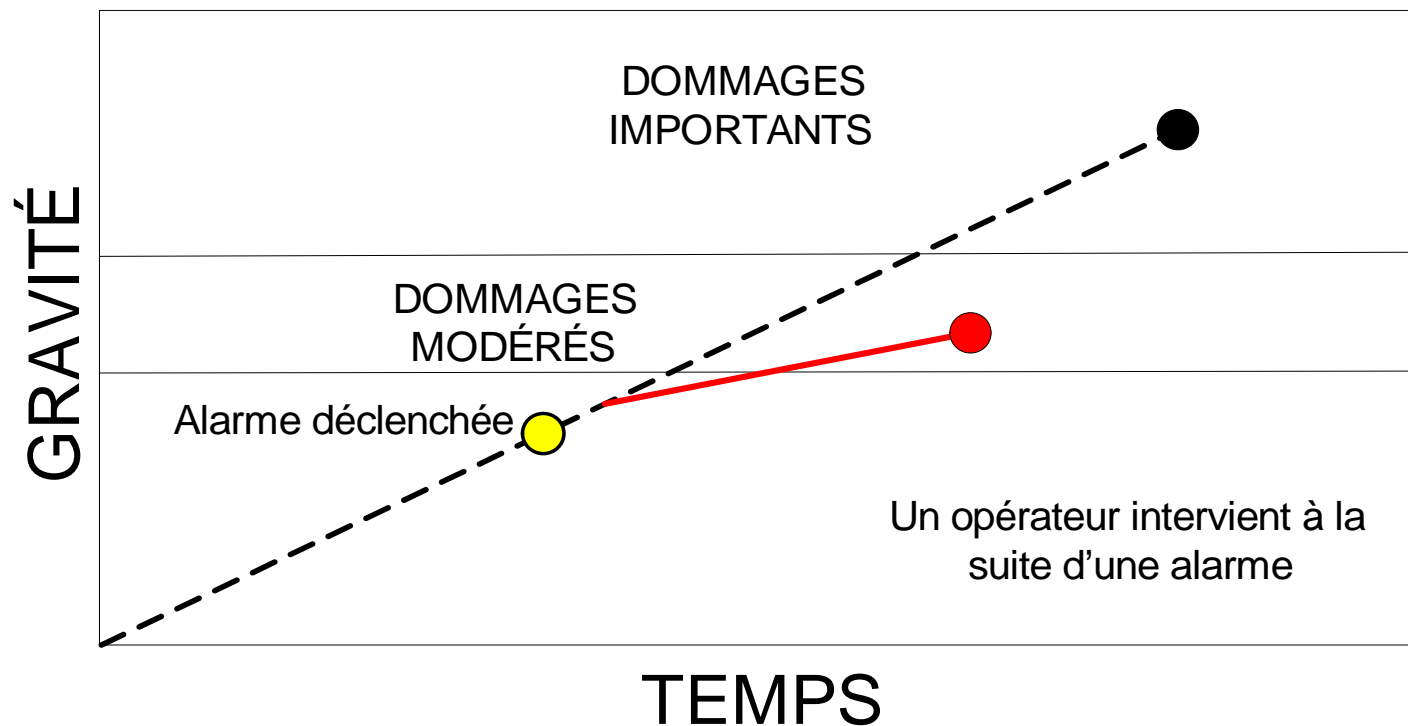
Ménager une certaine capacité de réserve.



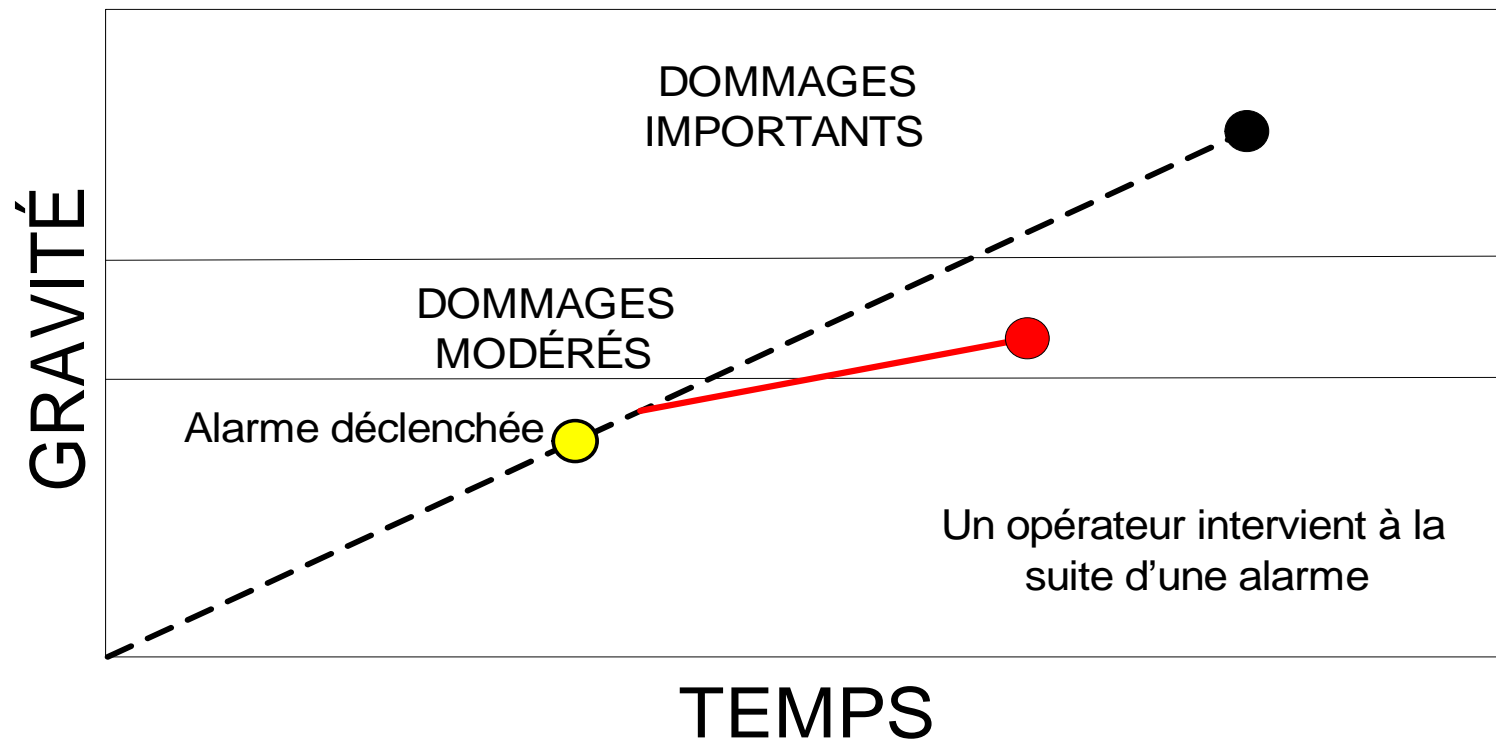
Être proactif permet de combattre la complexité



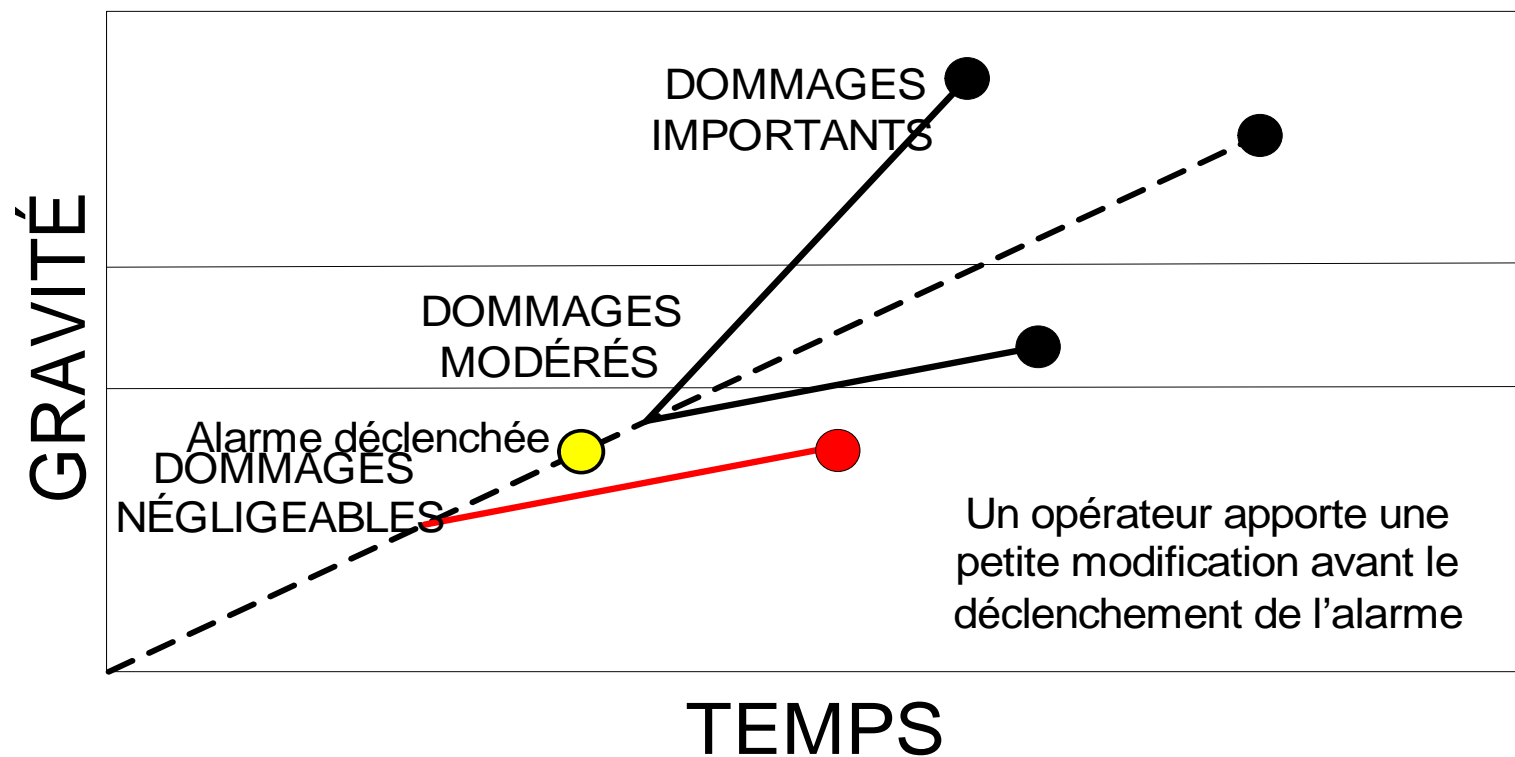
Être proactif permet de combattre la complexité



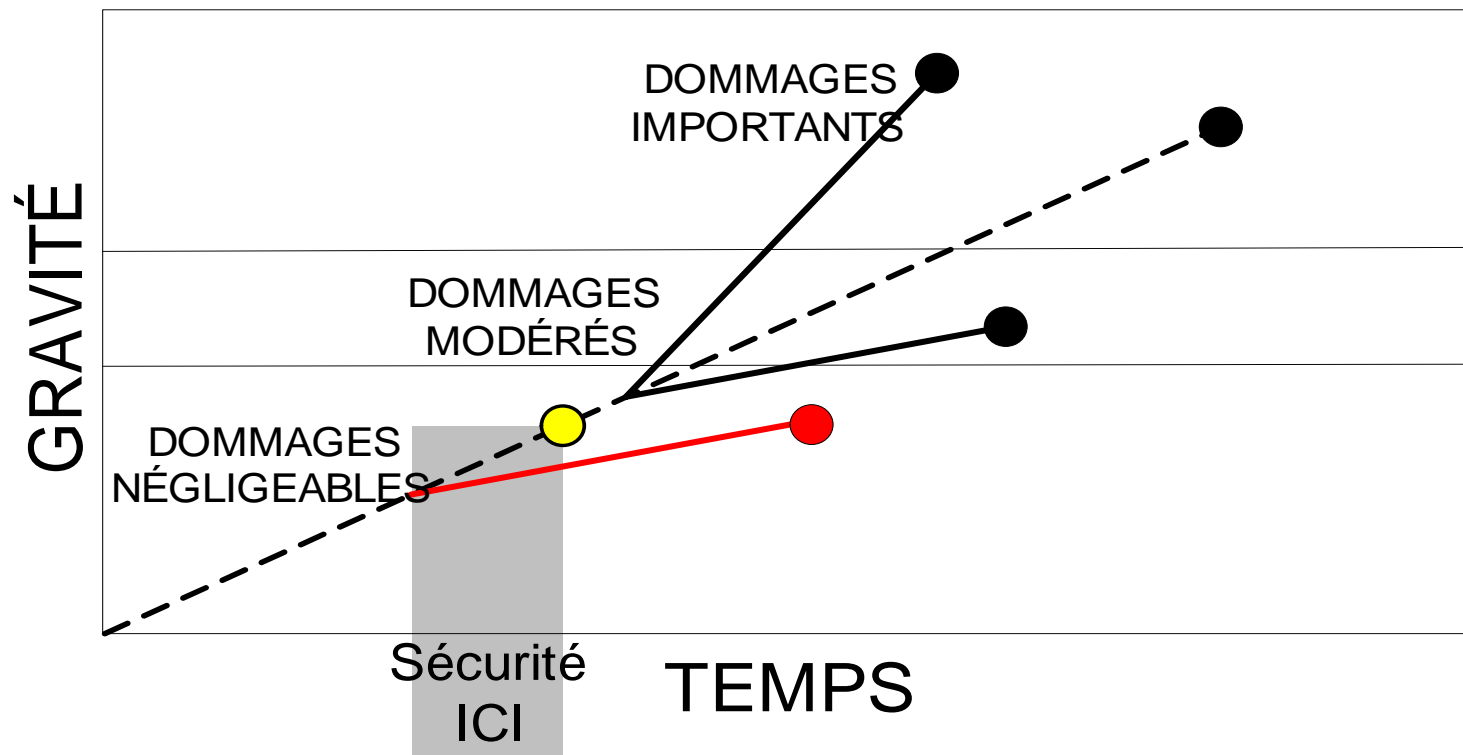
Être proactif permet de combattre la complexité



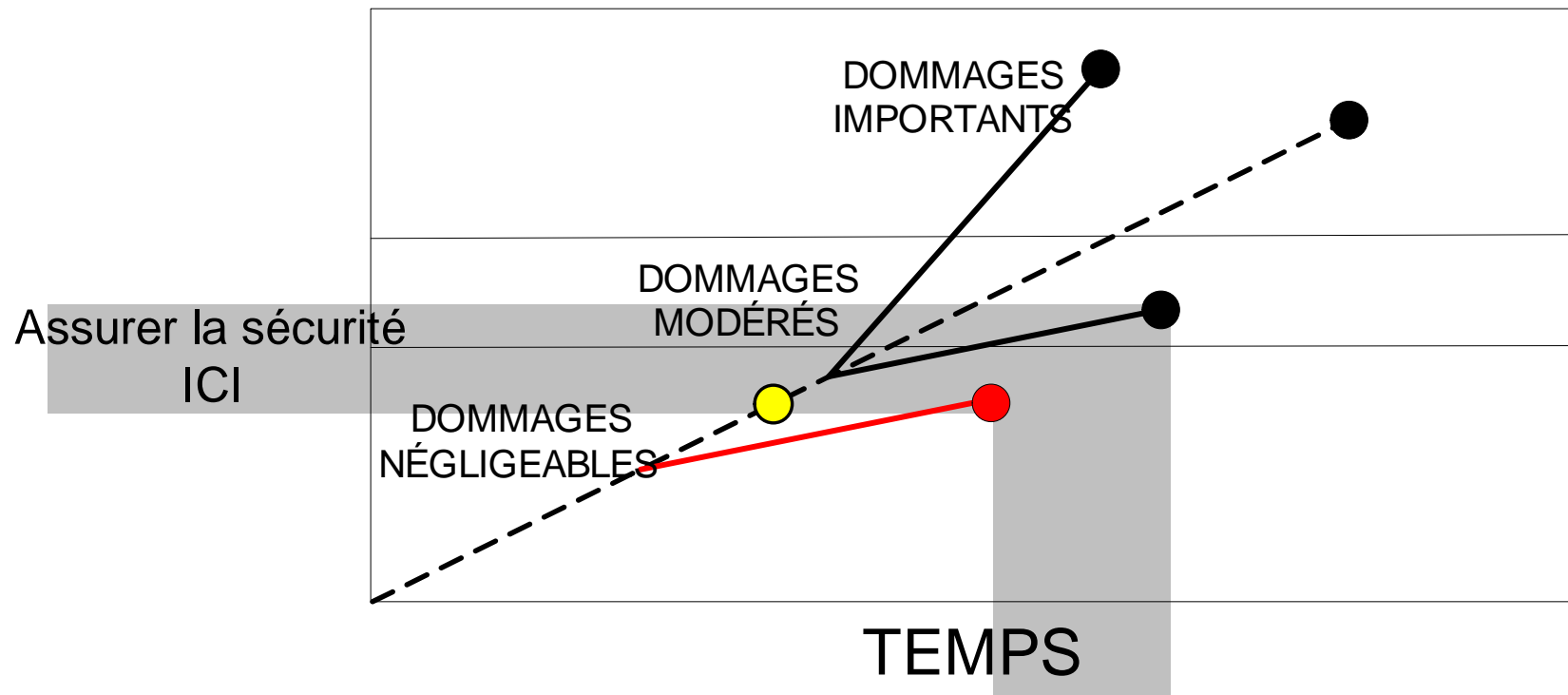
Être proactif permet de combattre la complexité



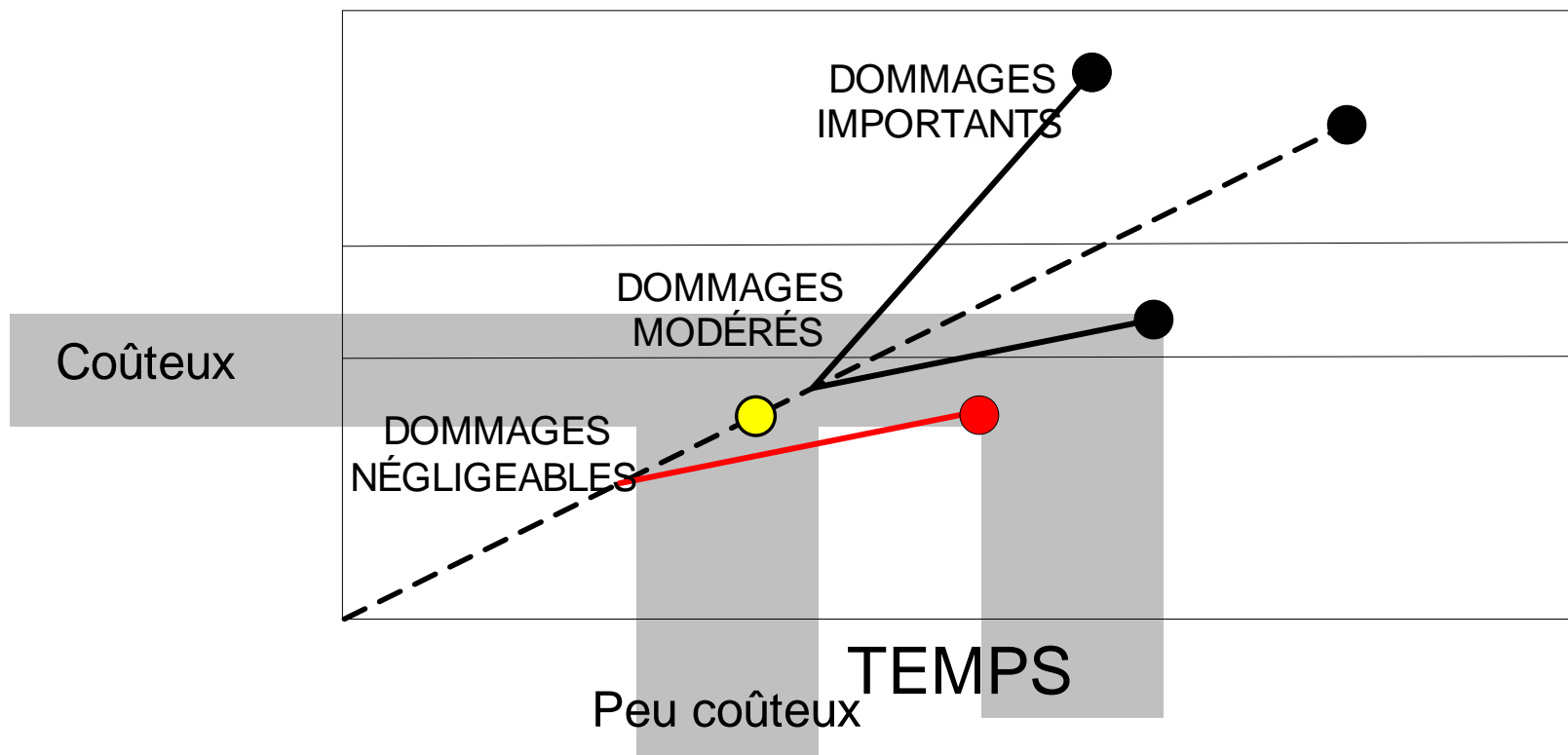
Être proactif permet de combattre la complexité



Être proactif permet de combattre la complexité



Être proactif est rentable



Aider les personnes à voir plus loin...

1. Améliorer leur perception de la situation.
 - En concevant de meilleurs systèmes d'affichage.
2. Réduire les bruits qui embrouillent la situation.
 - En adoptant des techniques perfectionnées de gestion des alertes.



Sortie en bout de piste d'Air France

- Orages; vents de surface; les équipages de 2 aéronefs avaient signalé un freinage peu efficace (donnée transmise de la tour de contrôle à l'équipage du vol).
- L'équipage a changé le réglage du frein de « faible » à « moyen ».
- L'alignement et la vitesse étaient appropriées; l'équipage a bien suivi les procédures.
- L'aéronef est passé au-dessus de la trajectoire de descente (100 pieds au lieu de 50 pieds); vitesse accrue.
- De fortes averses ont réduit la visibilité.
- La direction du vent a tourné à un vent arrière; la piste s'est recouverte de ¼ de po d'eau en quelques secondes.
- L'aéronef s'est posé à 4 000 pieds sur une piste de 9 000 pieds.



ACTUAL LANDING DISTANCE (from 50 feet above ground to complete stop)						
Runway Conditions	Dry		Wet		6.3 mm (1/4 inch) of water	
	metres	feet	metres	feet	metres	feet
No wind	1155	3788	1502	4927	1987	6519
5-knot tailwind	1264	4148	1682	5518	2265	7432
No wind, reversers operative	1155	3788	1397	4582	1768	5802
5-knot tailwind, reversers operative	1264	4148	1564	5132	2016	6614

Vent arrière plus ¼ pouce d'eau = 6614 pieds pour immobiliser l'aéronef

Les membres d'équipage disposaient de 5000 pieds.



Un affichage bien conçu aurait permis à l'équipage de...

- connaître la longueur de piste restante;
- connaître l'estimation de la distance d'immobilisation nécessaire;
- savoir que l'aéronef ne pouvait se poser sans problème.



La connaissance de la situation

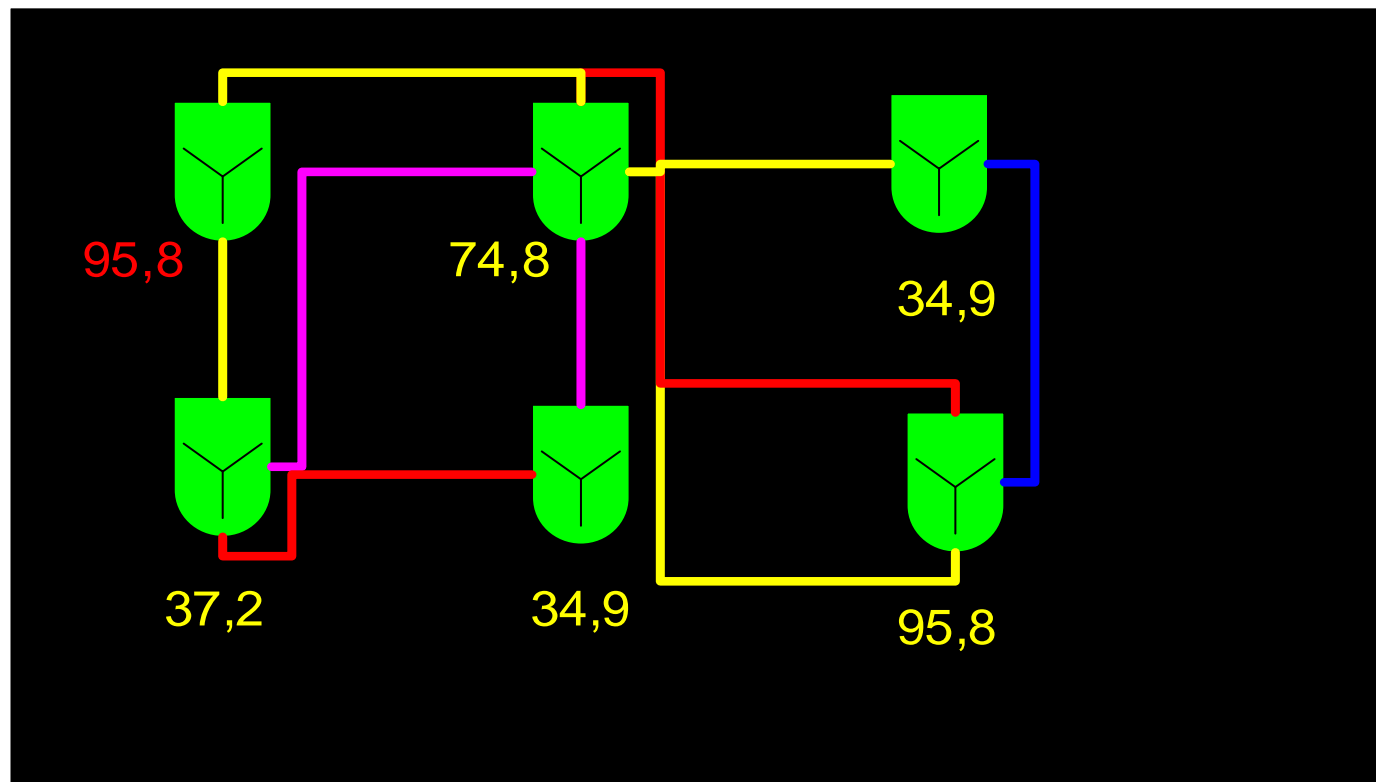
Améliore la perception : aurait informé l'équipage de la longueur de piste restante.

Améliore la compréhension : aurait informé l'équipage de l'estimation de la distance d'immobilisation nécessaire.

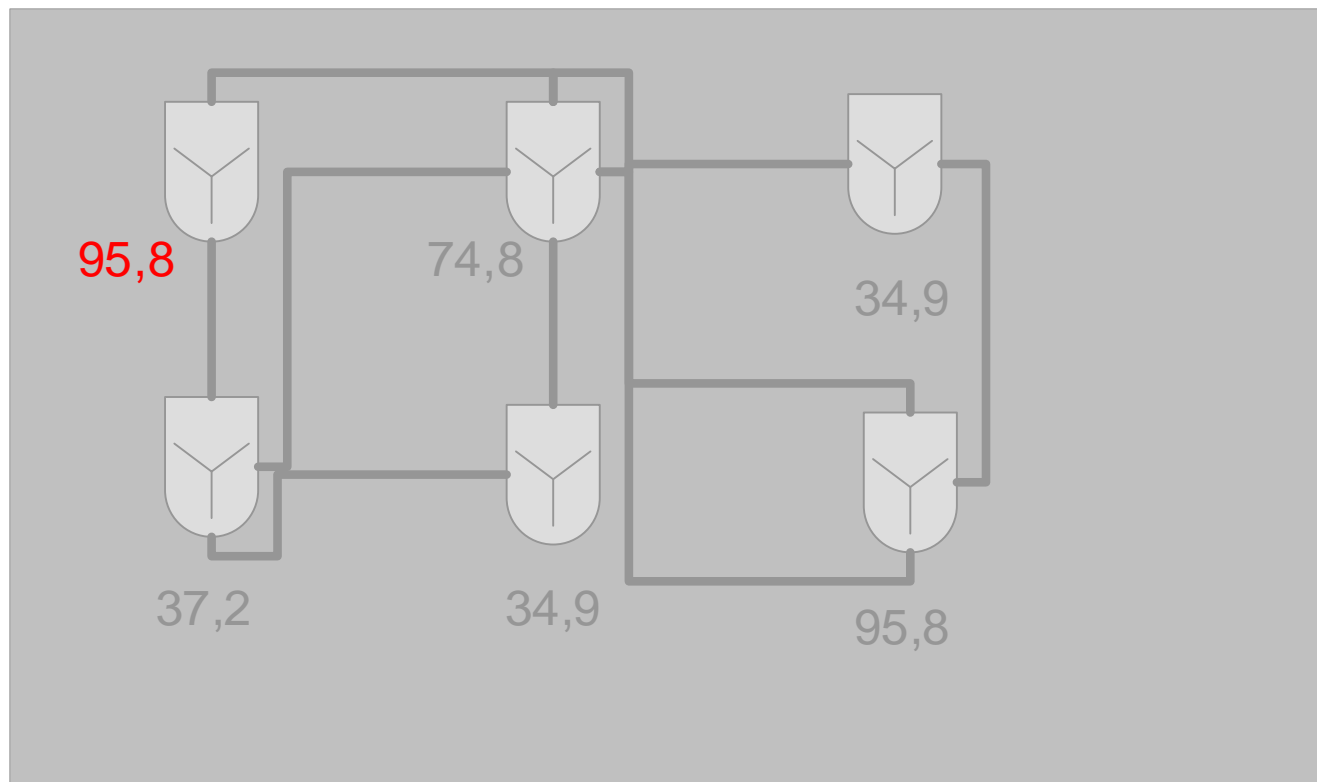
Améliore la prédiction : aurait informé l'équipage que l'aéronef ne pouvait se poser sans problème.



Améliorer la conception

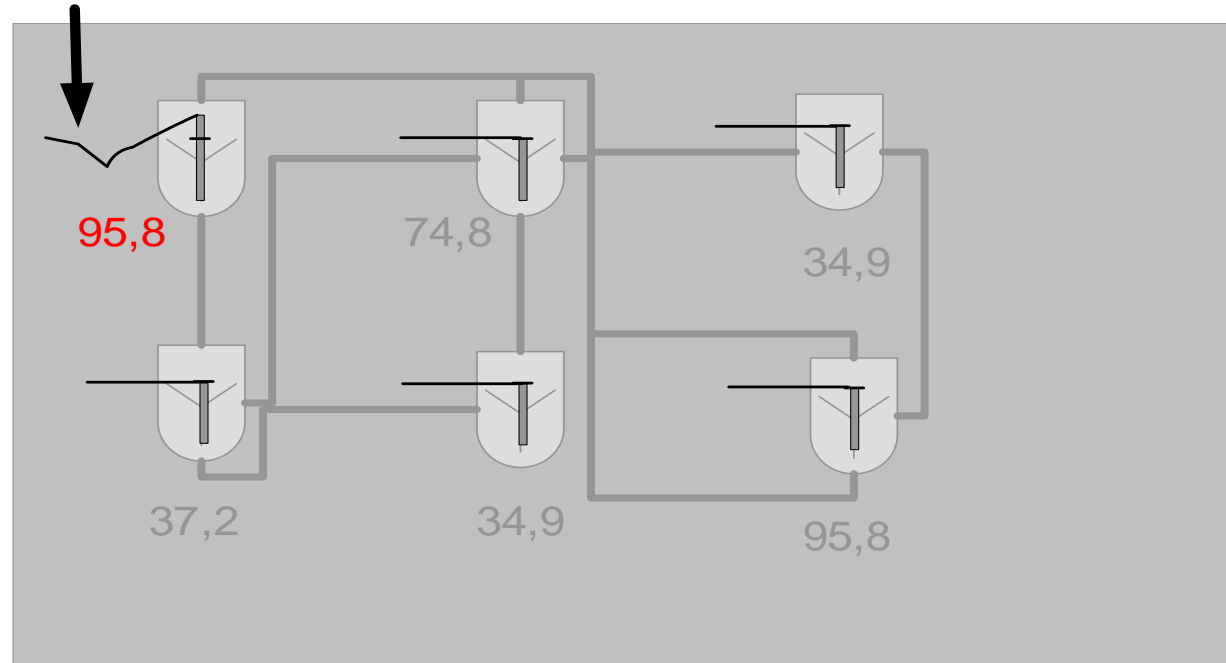


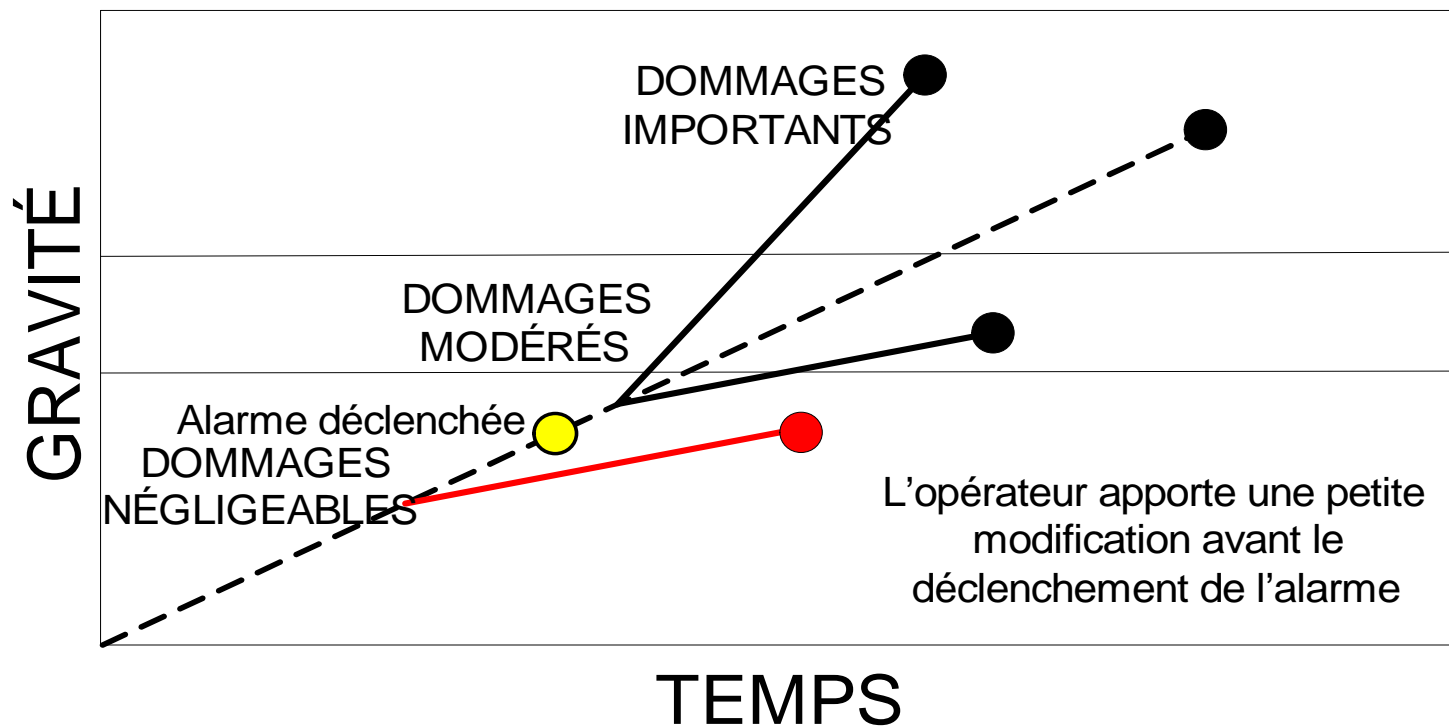
Faire ressortir le problème



Détecter le problème suffisamment tôt

L'opérateur a signalé le problème ici





Pourquoi ça fonctionne

Une meilleure conception permet d'établir une marge de sécurité en aidant les personnes à détecter le problème plus tôt.



Stratégie 3

Établir une marge de sécurité



Nouveaux enjeux de santé et de sécurité dans les
milieux de travail en constante évolution :
un débat canadien

Les méthodes et technologies naissantes

Catherine Burns
cburns@uwaterloo.ca

Les enjeux face à une complexité croissante

- Le problème est plus difficile à cerner.
- Les problèmes interagissent les uns avec les autres.
- Les solutions semblent moins évidentes.
- La preuve de l'efficacité d'une solution est difficile à établir.



Stratégies

1. Prévoir les défaillances
2. Réduire la complexité
3. Établir une marge de sécurité



Coordonnées de la conférencière

Catherine Burns
Génie d'étude de systèmes
Université de Waterloo
Waterloo (Ontario) N2L 3G1

c4burns@uwaterloo.ca

