

Sécurité industrielle: risques chimiques, pression et permis de travail



Équipage intervenant face à un incendie industriel dans un habitat martien.

Prévenir l'incident lors des opérations de **maintenance**, des procédés chimiques, des travaux chauds et des interventions sur systèmes sous énergie ou **pression**.

Comprendre le problème avant les équations

Question de départ — Sécurité industrielle: risques chimiques, pression et permis de travail: comment « Étude de cas calculée: durée minimale d'une préparation de permis de travail » agit-il sur « Mini-projet », et quel repère issu de « Danger, exposition et risque » permet de vérifier la décision?

Intuition. HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures d'atmosphère et de zone.



Étude de cas calculée: durée minimale d'une préparation de permis de travail

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures d'atmosphère et de zone.



Mini-projet

Créer le système de permis de travail de la colonie avec quatre catégories: énergie/pression, chimie, travail chaud et volume confiné.



Danger, exposition et risque

Objectif du module — comprendre les barrières de sécurité et la logique d'un permis de travail au niveau conceptuel, sans transformer le cours en procédure certifiante pour opérations dangereuses.

Repère concret. HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures d'atmosphère et de zone.

- Étude de cas calculée: durée minimale d'une préparation de permis de travail — **HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE** — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures...
- Mini-projet — Créer le système de permis de travail de la colonie avec quatre catégories: énergie/pression, chimie, travail chaud et volume confiné.
- Danger, exposition et risque — Objectif du module — comprendre les barrières de sécurité et la logique d'un permis de travail au niveau conceptuel, sans transformer le cours en procédure certifiante pour...

CARTE DE MAÎTRISE · MODULE 56

Quatre repères à maîtriser — Sécurité industrielle: risques chimiques, pression et permis de travail

Comprendre le problème avant les équations

Définition

Question de départ — Sécurité industrielle: risques chimiques, pression et permis de travail: comment « Étude de cas calculée: durée minimale d'une préparation de permis de travail » agit-il

Intuition ou cas concret

Repère quantitatif

Limite ou critère de vigilance

sur « Mini-projet », et quel repère issu de « Danger, exposition et risque » permet de vérifier la décision?

Intuition.

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures d'atmosphère et de zone.

Repère concret.

Exercice guidé — Comprendre le problème avant les équations

Cas « Comprendre le problème avant les équations » — Intuition. Repère: **HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE** — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Corrigé raisonné — Comprendre le problème avant les équations

Point de départ

Avant de chiffrer un permis de travail, l'équipe distingue le danger présent, l'exposition possible et les barrières qui empêchent le scénario accidentel.

Indice du cas

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures d'atmosphère et de zone.

Réserve à appliquer

La durée minimale n'est jamais un objectif à battre: si l'isolement, les vérifications indépendantes ou les mesures d'atmosphère exigent plus de temps, la sécurité prime sur le planning.

Conclusion

Le calcul sert à montrer qu'une intervention ne commence qu'après fermeture de toutes les barrières nécessaires, pas à compresser artificiellement la préparation.

Étude de cas calculée: durée minimale d'une préparation de permis de travail

Définition

Question de départ — Sécurité industrielle: risques chimiques, pression et permis de travail: comment « Étude de cas calculée: durée minimale d'une préparation de permis de travail » agit-il sur « Mini-projet », et quel repère issu de « Danger, exposition et risque » permet de vérifier la décision?

Intuition ou cas concret

Intuition.

Repère quantitatif

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures d'atmosphère et de zone.

Limite ou critère de vigilance

Repère concret.

Exercice guidé — Étude de cas calculée: durée minimale d'une préparation de permis de travail

Cas « Étude de cas calculée: durée minimale d'une préparation de permis de travail » — Intuition. Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures...

Réserve: Repère concret.

Corrigé raisonné — Étude de cas calculée: durée minimale d'une préparation de permis de travail

Point de départ

Le cas pédagogique additionne cinq isolements à 4 min, deux vérifications à 6 min et 15 min de mesures: chaque terme correspond à une action de sécurité distincte.

Indice du cas

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures d'atmosphère et de zone.

Réserve à appliquer

Ces durées ne sont pas universelles; elles représentent un scénario. Une source supplémentaire, une mesure anormale ou une vérification non indépendante doit prolonger la préparation.

Conclusion

Le temps minimal du scénario vaut $5 \times 4 + 2 \times 6 + 15 = 47$ min avant toute marge ou anomalie; démarrer plus tôt signifie qu'au moins une barrière prévue n'a pas été réalisée.

Mini-projet

Définition

Question de départ — Sécurité industrielle: risques chimiques, pression et permis de travail: comment « Étude de cas calculée: durée minimale d'une préparation de permis de travail » agit-il sur « Mini-projet », et quel repère issu de « Danger, exposition et risque » permet de vérifier la décision?

Intuition ou cas concret

Intuition.

Repère quantitatif

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures d'atmosphère et de zone.

Limite ou critère de vigilance

Repère concret.

Exercice guidé — Mini-projet

Cas « Mini-projet » — Intuition. Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Corrigé raisonné — Mini-projet

Point de départ

Le mini-projet doit transformer l'analyse de risque en procédure exécutable: responsables, isolements, mesures, seuils d'arrêt, autorisation et remise en service doivent être explicités.

Indice du cas

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures d'atmosphère et de zone.

Réserve à appliquer

Une procédure valide sur papier échoue si les points de mesure, les responsabilités ou les critères de reprise ne sont pas réalisables avec l'équipement et l'effectif disponibles.

Conclusion

La validation porte donc sur la capacité à exécuter et vérifier chaque barrière dans le monde réel, y compris lors d'une mesure anormale ou d'une indisponibilité d'équipement.

Danger, exposition et risque

Définition

Question de départ — Sécurité industrielle: risques chimiques, pression et permis de travail: comment « Étude de cas calculée: durée minimale d'une préparation de permis de travail » agit-il sur « Mini-projet », et quel repère issu de « Danger, exposition et risque » permet de vérifier la décision?

Intuition ou cas concret

Intuition.

Repère quantitatif

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures d'atmosphère et de zone.

Limite ou critère de vigilance

Repère concret.

Exercice guidé — Danger, exposition et risque

Cas « Danger, exposition et risque » — Intuition. Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Corrigé raisonné — Danger, exposition et risque**Point de départ**

Un danger est une propriété capable de causer un dommage; l'exposition décrit le contact avec ce danger; le risque combine scénario, probabilité et gravité des conséquences.

Indice du cas

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures d'atmosphère et de zone.

Réserve à appliquer

Réduire l'exposition peut réduire le risque sans supprimer le danger; inversement, un danger présent mais totalement isolé ne produit pas le même niveau de risque opérationnel.

Conclusion

La décision de travail doit donc agir sur le scénario réel: supprimer le danger si possible, sinon empêcher l'exposition puis vérifier que les barrières résiduelles sont suffisantes.

Pour aborder « Sécurité industrielle: risques chimiques, pression et permis de travail », les prérequis conseillés sont modules 00 à 52 selon le sujet. Pour « Sécurité industrielle: risques chimiques, pression et permis de travail », une notation technique n'est utilisée qu'après avoir été reliée à son sens physique ou opérationnel.

Objectifs de maîtrise

- Reconstruire avec ses propres mots le mécanisme étudié dans « Une colonie est aussi un site industriel ».
- Vérifier par un **ordre de grandeur** le résultat utilisé dans « Identifier toutes les formes d'énergie ».
- Proposer un **contrôle** indépendant avant de conclure sur « Permis de travail ».
- Justifier une action de mission à partir des limites observées dans « Atmosphères dangereuses ».

1. Une colonie est aussi un **site industriel**

Pompes, réservoirs, batteries, fours, machines-outils, gaz comprimés, solvants et procédés **ISRU** créent des risques comparables à ceux d'un site industriel terrestre, avec une différence majeure: l'évacuation et l'intervention extérieure sont presque inexistantes. La prévention doit

donc réduire la [probabilité](#) de l'événement et limiter sa propagation avec les moyens disponibles localement.

2. Identifier toutes les formes d'énergie

Avant maintenance, il faut regarder au-delà de l'électricité: pression hydraulique ou pneumatique, ressorts, gravité, chaleur, rotation, chimie, batteries et énergie stockée dans un condensateur peuvent rester dangereuses après arrêt de la commande principale. La consignation identifie chaque source, l'isole, dissipe l'énergie résiduelle puis vérifie réellement l'état sûr.

3. Permis de travail

Certaines tâches nécessitent une autorisation structurée: travail chaud, entrée dans volume confiné, ouverture d'une ligne chimique, intervention haute énergie ou contournement d'une protection. Le permis décrit lieu, tâche, isollements, mesures, équipements de protection, durée et conditions d'arrêt. Il cesse d'être valide si la [configuration](#) change.

4. Atmosphères dangereuses

Un volume peut devenir dangereux par manque d'[oxygène](#), enrichissement en oxygène, gaz toxique ou vapeur inflammable. La mesure doit être faite avec un capteur adapté et étalonné, au bon endroit. Une valeur prise près d'une trappe ne garantit pas que toute la cavité est sûre. La ventilation est vérifiée avant et pendant l'intervention lorsque le risque l'exige.

5. Travail chaud et incendie

Soudage, meulage ou opération générant une surface chaude peut enflammer poussières, [polymères](#) ou vapeurs. Le permis impose nettoyage de la zone, retrait ou protection des combustibles, surveillance, moyen d'extinction et contrôle après la fin du travail. Dans un habitat pressurisé, la composition atmosphérique et la ventilation ajoutent des contraintes spécifiques.

6. Produits chimiques et incompatibilités

La sécurité ne repose pas seulement sur l'étiquette. On sépare oxydants, combustibles, acides, bases et produits réactifs; on prévoit rétention et ventilation; on connaît les produits de décomposition possibles. Un déversement dans une petite base peut contaminer l'air, l'eau et les surfaces, donc le scénario de [récupération](#) doit être défini avant stockage.

7. Machines et zones de mouvement

Robot, tour, fraiseuse, bras de manutention ou véhicule autonome créent des risques de coincement et d'écrasement. Les zones dangereuses sont matérialisées et les modes maintenance réduisent [vitesse](#) et énergie lorsque possible. Un arrêt d'urgence ne remplace pas une architecture empêchant une remise en mouvement inattendue.

8. Remise en service contrôlée

La fin de maintenance est une [phase](#) de risque. On vérifie outils retirés, protections remises, vannes dans la bonne configuration, capteurs connectés et personnel hors zone. La remise sous énergie peut être progressive avec surveillance renforcée. Une réparation techniquement correcte mais remise en service sans contrôle peut déclencher une nouvelle panne.

Approfondissement: permis et charge cognitive

Un permis trop long et générique devient un rituel. Il doit faire apparaître les quelques risques réellement capables de tuer ou de dégrader la base, ainsi que les vérifications correspondantes. Les listes sont adaptées à la tâche et à la configuration. Le but est d'aider l'opérateur à penser, pas de lui faire signer une preuve administrative.

Approfondissement: barrière indépendante

Deux barrières ne sont pas indépendantes si la même panne peut les supprimer. Une alarme logicielle et une coupure logicielle alimentées par le même contrôleur ne constituent pas forcément deux niveaux de protection. L'analyse recherche la diversité: mécanique, électrique, [procédure](#), géométrie et surveillance humaine peuvent se compléter.

9. Exemple calculé: énergie pneumatique

Un réservoir de service contient 0,12 m³ de gaz à 600 kPa absolus. Une ligne aval doit être ouverte pour maintenance. Même sans détailler toute la thermodynamique, le volume et la pression montrent qu'il ne suffit pas de fermer une vanne amont: il faut isoler, purger jusqu'à une pression sûre puis vérifier la mesure avant ouverture. Le calcul de pression résiduelle et la [vérification](#) physique appartiennent au permis.

Étude de cas calculée: durée minimale d'une préparation de permis de travail

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures d'atmosphère et de zone.

On note N le nombre de sources; t_i le temps d'isolement par source, en minutes; n_v le nombre de vérifications; t_v leur durée; t_m la durée des mesures; T la durée totale de préparation.

$$T = N \times t_i + n_v \times t_v + t_m = 5 \times 4 + 2 \times 6 + 15 = 20 + 12 + 15 = 47 \text{ min.}$$

Les 47 minutes sont un modèle administratif pédagogique, pas un délai réglementaire. Elles rappellent qu'un permis sûr consomme du temps avant même que le travail technique commence.

10. Exercice

Préparer un permis de travail pour remplacer une pompe sur une ligne d'oxydant sous pression. Identifier au moins six dangers, les isollements, le contrôle atmosphérique, les équipements de protection et la séquence de remise en service.

11. Solution raisonnée

La ligne est arrêtée, isolée de part et d'autre si possible, dépressurisée vers une destination sûre, rincée ou inertée selon le [produit](#), puis vérifiée. Les sources électriques et mécaniques de la pompe sont consignées. La zone est contrôlée et la remise en service se fait progressivement avec recherche de fuite. Toute étape doit être attribuée à une personne identifiable.

12. Mini-projet

Créer le [système](#) de permis de travail de la colonie avec quatre catégories: énergie/pression, chimie, travail chaud et volume confiné. Pour chaque catégorie, définir déclencheurs, mesures obligatoires, signataires, durée de validité, conditions d'arrêt et archivage pour retour d'expérience.

Approfondissement du module 56: comprendre, calculer, vérifier et décider

Objectif du module — comprendre les barrières de sécurité et la logique d'un permis de travail au niveau conceptuel, sans transformer le cours en procédure certifiante pour opérations dangereuses.

1. Danger, exposition et risque

Dans ce module, danger, exposition et risque sert directement à comprendre les barrières de sécurité et la logique d'un permis de travail au niveau conceptuel, sans transformer le cours en procédure certifiante pour opérations dangereuses.

$\text{Risque_score} = \text{Probabilité} \times \text{Conséquence}$

Question de départ

Quel produit faut-il former pour calculer Risque_score au passage «1. Danger, exposition et risque»?

Lecture à voix haute

Formule lue sans abréviation: «Risque indice score égale Probabilité multiplié par Conséquence».

Symboles, prononciation et sens

Risque_score («Risque score»): score de risque obtenu en combinant probabilité et conséquence; Probabilité («Probabilité»): probabilité de l'événement analysé, comprise entre 0 et 1; Conséquence («Conséquence»): niveau de gravité associé à l'événement selon l'échelle du module

Unités

Risque score → sans dimension, sur l'échelle définie;
Probabilité → sans dimension [0;1]; Conséquence → sans dimension, sur l'échelle définie.

Origine et statut des valeurs

La traçabilité numérique impose de savoir d'où vient chaque valeur; une hypothèse de cours ne doit jamais être présentée comme une mesure de mission. Le passage documente comme provenance: les probabilités, conséquences, barrières et heures de travail.

Pourquoi cette opération

La relation met en chaîne les facteurs contenus dans Probabilité × Conséquence; on les multiplie pour former Risque_score. Le contrôle d'unités doit retrouver la dimension annoncée à gauche.

Substitution et calcul

Avant la multiplication, écrire la valeur et l'unité de chaque facteur de Probabilité × Conséquence. Les conversions sont effectuées avant de former Risque_score.

Saisie sur calculatrice

Après les conversions, entrer les facteurs de Probabilité $\times$ Conséquence avec la touche de multiplication; relire les parenthèses avant de valider le calcul de Risque_score.

Estimation mentale

Pour un contrôle mental, simplifier les facteurs de Probabilité $\times$ Conséquence sans changer leurs unités, puis multiplier ces valeurs grossières afin d'estimer Risque_score.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – Choisir un facteur mesuré de Probabilité $\times$ Conséquence; former le produit de tous les autres, puis vérifier que Risque_score divisé par ce produit restitue le facteur choisi.

Interprétation physique ou opérationnelle

Au passage «1. Danger, exposition et risque», «Risque_score = Probabilité $\times$ Conséquence» transforme des entrées en une grandeur à interpréter. Le chiffre doit rester attaché à son unité, à sa frontière de système et aux limites du modèle.

Traduction en français courant

Autrement dit, chaque facteur de Probabilité $\times$ Conséquence multiplie la contribution des autres; la quantité finale s'appelle Risque_score.

Variation / sensibilité

Le sens de variation est direct pour un facteur positif: augmenter ce terme de Probabilité $\times$ Conséquence augmente Risque_score; l'effet relatif est identique dans un produit simple.

Limite / hypothèse

La multiplication directe n'est justifiée que dans la frontière de «1. Danger, exposition et risque». Hors de ce domaine, un facteur de Probabilité $\times$ Conséquence peut cesser d'agir proportionnellement sur Risque_score.

On injecte maintenant l'événement suivant: un permis omet un travail simultané voisin.

2. Hiérarchie des barrières

Dans ce module, hiérarchie des barrières sert directement à comprendre les barrières de sécurité et la logique d'un permis de travail au niveau conceptuel, sans transformer le cours en procédure certifiante pour opérations dangereuses.

$$\text{Risque_résiduel} = \text{Risque_initial} \times \prod (1 - e_i)$$

Question de départ

Quel produit faut-il former pour calculer Risque_résiduel au passage «2. Hiérarchie des barrières»?

Lecture à voix haute

Formule lue sans abréviation: «Risque indice résiduel égale Risque indice initial multiplié par pi majuscule (1 - e indice i)».

Symboles, prononciation et sens

Risque_résiduel: score de risque restant après les barrières;
Risque_initial: score avant barrières sur la même échelle; e_i : efficacité fractionnaire de la barrière i; $\prod$: produit de tous les facteurs (1- e_i).

Unités

Risque_initial et Risque_résiduel utilisent la même échelle de score; chaque e_i et chaque 1- e_i sont sans dimension. Le produit ne change pas l'échelle du score.

Origine et statut des valeurs

La traçabilité numérique impose de savoir d'où vient chaque valeur; une hypothèse de cours ne doit jamais être présentée comme une mesure de mission. Le passage documente comme provenance: les probabilités, conséquences, barrières et heures de travail.

Pourquoi cette opération

Chaque facteur 1- e_i représente la fraction de risque restant après une barrière selon ce modèle multiplicatif; $\prod$ combine ces fractions puis les applique au risque initial.

Substitution et calcul

Avant la multiplication, écrire la valeur et l'unité de chaque facteur de $\text{Risque_initial} \times \prod (1 - e_i)$. Les conversions sont effectuées avant de former Risque_résiduel.

Saisie sur calculatrice

Après les conversions, entrer les facteurs de $\text{Risque_initial} \times \Pi(1 - e_i)$ avec la touche de multiplication; relire les parenthèses avant de valider le calcul de Risque_résiduel .

Estimation mentale

Pour un contrôle mental, simplifier les facteurs de $\text{Risque_initial} \times \Pi(1 - e_i)$ sans changer leurs unités, puis multiplier ces valeurs grossières afin d'estimer Risque_résiduel .

Contrôle indépendant

Avec une seule barrière e , le résultat doit être $\text{Risque_initial}(1-e)$. Si toutes les efficacités valent zéro, Risque_résiduel doit évaluer Risque_initial .

Interprétation physique ou opérationnelle

Au passage «2. Hiérarchie des barrières», « $\text{Risque_résiduel} = \text{Risque_initial} \times \Pi(1 - e_i)$ » transforme des entrées en une grandeur à interpréter. Le chiffre doit rester attaché à son unité, à sa frontière de système et aux limites du modèle.

Traduction en français courant

Autrement dit, chaque facteur de $\text{Risque_initial} \times \Pi(1 - e_i)$ multiplie la contribution des autres; la quantité finale s'appelle Risque_résiduel .

Variation / sensibilité

Le sens de variation est direct pour un facteur positif: augmenter ce terme de $\text{Risque_initial} \times \Pi(1 - e_i)$ augmente Risque_résiduel ; l'effet relatif est identique dans un produit simple.

Limite / hypothèse

La multiplication directe n'est justifiée que dans la frontière de «2. Hiérarchie des barrières». Hors de ce domaine, un facteur de $\text{Risque_initial} \times \Pi(1 - e_i)$ peut cesser d'agir proportionnellement sur Risque_résiduel .

On injecte maintenant l'événement suivant: une barrière dépend du même capteur que la commande.

3. Énergies dangereuses et isolement conceptuel

Dans ce module, énergies dangereuses et isolement conceptuel sert directement à comprendre les barrières de sécurité et la logique d'un permis de travail au niveau conceptuel, sans transformer le cours en procédure certifiante pour opérations dangereuses.

$$\text{Complétude_isolement} = \frac{\text{N_isolations_vérifiées}}{\text{N_isolations_requisés}}$$

Question de départ

Comment déterminer Complétude_isolement à partir du numérateur N_isolations_vérifiées et de la référence N_isolations_requisés dans «3. Énergies dangereuses et isolement conceptuel»?

Lecture à voix haute

Formule lue sans abréviation: «Complétude indice isolement égale N indice isolations indice vérifiées divisé par N indice isolations indice requisés».

Symboles, prononciation et sens

Complétude_isolement: fraction des éléments requis qui ont été validés; N_isolations_vérifiées: nombre validé; N_isolations_requisés: nombre total requis.

Unités

N_isolations_vérifiées et N_isolations_requisés sont des comptes; Complétude_isolement sans dimension entre 0 et 1.

Origine et statut des valeurs

La traçabilité numérique impose de savoir d'où vient chaque valeur; une hypothèse de cours ne doit jamais être présentée comme une mesure de mission.

Pourquoi cette opération

Le quotient rapporte le nombre validé au nombre requis.

Substitution et calcul

Aucune valeur nouvelle n'est requise: préparer N_isolations_vérifiées, préparer N_isolations_requisés dans un référentiel compatible, et effectuer la division prévue par «Complétude_isolement = N_isolations_vérifiées / N_isolations_requisés».

Saisie sur calculatrice

Fermer toutes les parenthèses contenues dans $N_{\text{isolations_vérifiées}}$ et $N_{\text{isolations_requisés}}$ avant la division finale; contrôler que l'écran représente bien $(N_{\text{isolations_vérifiées}})/(N_{\text{isolations_requisés}})$.

Estimation mentale

Une estimation rapide consiste à écrire $N_{\text{isolations_vérifiées}} \approx 10^m$ et $N_{\text{isolations_requisés}} \approx 10^n$; leur quotient est alors de l'ordre de $10^{(m-n)}$, ce qui borne $\text{Complétude_isolement}$.

Contrôle indépendant

$\text{Complétude_isolement} \times N_{\text{isolations_requisés}}$ doit redonner $N_{\text{isolations_vérifiées}}$.

Interprétation physique ou opérationnelle

Au passage «3. Énergies dangereuses et isolement conceptuel», « $\text{Complétude_isolement} = N_{\text{isolations_vérifiées}} / N_{\text{isolations_requisés}}$ » transforme des entrées en une grandeur à interpréter. Le chiffre doit rester attaché à son unité, à sa frontière de système et aux limites du modèle.

Traduction en français courant

La phrase associée au quotient est: «combien de $N_{\text{isolations_vérifiées}}$ pour un $N_{\text{isolations_requisés}}$?». La réponse numérique porte le nom $\text{Complétude_isolement}$.

Variation / sensibilité

Une hausse relative de $N_{\text{isolations_vérifiées}}$ se transmet directement au ratio; la même hausse relative de $N_{\text{isolations_requisés}}$ agit inversement sur $\text{Complétude_isolement}$.

Limite / hypothèse

Limite principale: $N_{\text{isolations_requisés}}=0$ interdit la division. Même avec $N_{\text{isolations_requisés}}$ non nul, une période ou une population différente entre $N_{\text{isolations_vérifiées}}$ et $N_{\text{isolations_requisés}}$ rendrait le ratio trompeur.

— « Énergies dangereuses et isolement conceptuel ».

On injecte maintenant l'événement suivant: un équipement est modifié sans mise à jour documentaire.

4. Pression et énergie stockée

Dans ce module, pression et énergie stockée sert directement à comprendre les barrières de sécurité et la logique d'un permis de travail au niveau conceptuel, sans transformer le cours en procédure certifiante pour opérations dangereuses.

Énergie_pression $\approx p \times V$

Question de départ

Quel produit faut-il former pour calculer Énergie_pression au passage «4. Pression et énergie stockée»?

Lecture à voix haute

Formule lue sans abréviation: «Énergie indice pression environ égal à p multiplié par V».

Symboles, prononciation et sens

Énergie_pression: échelle énergétique approximative associée au produit pression-volume; p («pé»): pression utilisée par le modèle; V («vé»): volume concerné.

Unités

p en Pa et V en m³ donnent pV en joules car Pa·m³=N·m=J. Pour afficher Wh ou kWh, convertir ensuite les joules. Le facteur exact d'énergie disponible dépend du processus thermodynamique.

Origine et statut des valeurs

La traçabilité numérique impose de savoir d'où vient chaque valeur; une hypothèse de cours ne doit jamais être présentée comme une mesure de mission. Le passage documente comme provenance: les probabilités, conséquences, barrières et heures de travail.

Pourquoi cette opération

Le produit pV possède la dimension d'une énergie et fournit ici une échelle simple, pas une énergie de détente universellement récupérable.

Substitution et calcul

Avant la multiplication, écrire la valeur et l'unité de chaque facteur de p $\times$ V. Les conversions sont effectuées avant de former Énergie_pression.

Saisie sur calculatrice

Après les conversions, entrer les facteurs de $p \times V$ avec la touche de multiplication; relire les parenthèses avant de valider le calcul de Énergie_pression.

Estimation mentale

Pour un contrôle mental, simplifier les facteurs de $p \times V$ sans changer leurs unités, puis multiplier ces valeurs grossières afin d'estimer Énergie_pression.

Contrôle indépendant

Contrôle dimensionnel: $\text{Pa} \times \text{m}^3 = \text{J}$. Comparer ensuite le résultat à un modèle thermodynamique approprié si une énergie de détente réelle est recherchée.

Interprétation physique ou opérationnelle

Au passage «4. Pression et énergie stockée», «Énergie_pression $\approx p \times V$ » transforme des entrées en une grandeur à interpréter. Le chiffre doit rester attaché à son unité, à sa frontière de système et aux limites du modèle.

Traduction en français courant

Autrement dit, chaque facteur de $p \times V$ multiplie la contribution des autres; la quantité finale s'appelle Énergie_pression.

Variation / sensibilité

Le sens de variation est direct pour un facteur positif: augmenter ce terme de $p \times V$ augmente Énergie_pression; l'effet relatif est identique dans un produit simple.

Limite / hypothèse

pV est une approximation d'échelle. Une détente isotherme, adiabatique ou un gaz réel conduit à une expression énergétique différente.

On injecte maintenant l'événement suivant: un quasi-accident n'est pas signalé.

5. Produits chimiques et incompatibilités

Dans ce module, produits chimiques et incompatibilités sert directement à comprendre les barrières de sécurité et la logique d'un permis de travail au niveau conceptuel, sans transformer le cours en procédure certifiante pour opérations dangereuses.

$\text{Score_incompatibilité} = \text{Probabilité} \times \text{Conséquence}$

Question de départ

Quel produit faut-il former pour calculer Score_incompatibilité au passage «5. Produits chimiques et incompatibilités»?

Lecture à voix haute

Formule lue sans abréviation: «Score indice incompatibilité égale Probabilité multiplié par Conséquence».

Symboles, prononciation et sens

Score_incompatibilité («Score incompatibilité»): score synthétique défini par les critères du module; Probabilité («Probabilité»): probabilité de l'événement analysé, comprise entre 0 et 1; Conséquence («Conséquence»): niveau de gravité associé à l'événement selon l'échelle du module

Unités

Score incompatibilité → sans dimension, sur l'échelle définie; Probabilité → sans dimension [0;1]; Conséquence → sans dimension, sur l'échelle définie.

Origine et statut des valeurs

La traçabilité numérique impose de savoir d'où vient chaque valeur; une hypothèse de cours ne doit jamais être présentée comme une mesure de mission. Le passage documente comme provenance: les probabilités, conséquences, barrières et heures de travail.

Pourquoi cette opération

La relation met en chaîne les facteurs contenus dans Probabilité × Conséquence; on les multiplie pour former Score_incompatibilité. Le contrôle d'unités doit retrouver la dimension annoncée à gauche.

Substitution et calcul

Avant la multiplication, écrire la valeur et l'unité de chaque facteur de Probabilité × Conséquence. Les conversions sont effectuées avant de former Score_incompatibilité.

Saisie sur calculatrice

Après les conversions, entrer les facteurs de Probabilité × Conséquence avec la touche de multiplication; relire les parenthèses avant de valider le calcul de Score_incompatibilité.

Estimation mentale

Pour un contrôle mental, simplifier les facteurs de Probabilité × Conséquence sans changer leurs unités, puis multiplier ces valeurs grossières afin d'estimer Score_incompatibilité.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – Choisir un facteur mesuré de Probabilité × Conséquence; former le produit de tous les autres, puis vérifier que Score_incompatibilité divisé par ce produit restitue le facteur choisi.

Interprétation physique ou opérationnelle

Au passage «5. Produits chimiques et incompatibilités», «Score_incompatibilité = Probabilité × Conséquence» transforme des entrées en une grandeur à interpréter. Le chiffre doit rester attaché à son unité, à sa frontière de système et aux limites du modèle.

Traduction en français courant

Autrement dit, chaque facteur de Probabilité × Conséquence multiplie la contribution des autres; la quantité finale s'appelle Score_incompatibilité.

Variation / sensibilité

Le sens de variation est direct pour un facteur positif: augmenter ce terme de Probabilité × Conséquence augmente Score_incompatibilité; l'effet relatif est identique dans un produit simple.

Limite / hypothèse

La multiplication directe n'est justifiée que dans la frontière de «5. Produits chimiques et incompatibilités». Hors de ce domaine, un facteur de Probabilité × Conséquence peut cesser d'agir proportionnellement sur Score_incompatibilité.

On injecte maintenant l'événement suivant: une zone confinée change d'état pendant l'intervention.

6. Espaces confinés comme système de risque

Dans ce module, espaces confinés comme système de risque sert directement à comprendre les barrières de sécurité et la logique d'un permis de travail au niveau conceptuel, sans transformer le cours en procédure certifiante pour opérations dangereuses.

$$ACH = 3600 \times Q_{\text{ventilation}} / V_{\text{local}}$$

Question de départ

Comment déterminer ACH à partir du numérateur $3600 \times Q_{\text{ventilation}}$ et de la référence V_{local} dans «6. Espaces confinés comme système de risque»?

Lecture à voix haute

Formule lue sans abréviation: «ACH égale 3600 multiplié par Q indice ventilation divisé par V indice local».

Symboles, prononciation et sens

ACH («a cé ache»): nombre de renouvellements d'air par heure;
 $Q_{\text{ventilation}}$ («ku ventilation»): débit volumique de ventilation;
 V_{local} («vé local»): volume intérieur du local;
3600: conversion des secondes en heures lorsque Q est en m^3/s .

Unités

ACH en h^{-1} ; $Q_{\text{ventilation}}$ en m^3/s ; V_{local} en m^3 ; 3600 en s/h.

Origine et statut des valeurs

La traçabilité numérique impose de savoir d'où vient chaque valeur; une hypothèse de cours ne doit jamais être présentée comme une mesure de mission.

Pourquoi cette opération

Dans «6. Espaces confinés comme système de risque», V_{local} constitue la base de comparaison et $3600 \times Q_{\text{ventilation}}$ la quantité comparée. Le rapport attendu est donc $3600 \times Q_{\text{ventilation}}$ divisé par V_{local} , non l'inverse.

Substitution et calcul

Aucune valeur nouvelle n'est requise: préparer $3600 \times Q_{\text{ventilation}}$, préparer V_{local} dans un référentiel compatible, et effectuer la division prévue par «ACH = $3600 \times Q_{\text{ventilation}} / V_{\text{local}}$ ».

Saisie sur calculatrice

Fermer toutes les parenthèses contenues dans $3600 \times Q_{\text{ventilation}}$ et V_{local} avant la division finale; contrôler que l'écran représente bien $(3600 \times Q_{\text{ventilation}})/(V_{\text{local}})$.

Estimation mentale

Une estimation rapide consiste à écrire $3600 \times Q_{\text{ventilation}} \approx 10^m$ et $V_{\text{local}} \approx 10^n$; leur quotient est alors de l'ordre de $10^{(m-n)}$, ce qui borne ACH.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – La relation inverse fournit le test: $3600 \times Q_{\text{ventilation}} \approx \text{ACH} \cdot V_{\text{local}}$. Un désaccord au-delà de l'arrondi signale une erreur de saisie ou d'unité.

Interprétation physique ou opérationnelle

Au passage «6. Espaces confinés comme système de risque», « $\text{ACH} = 3600 \times Q_{\text{ventilation}} / V_{\text{local}}$ » transforme des entrées en une grandeur à interpréter. Le chiffre doit rester attaché à son unité, à sa frontière de système et aux limites du modèle.

Traduction en français courant

La phrase associée au quotient est: «combien de $3600 \times Q_{\text{ventilation}}$ pour un V_{local} ?». La réponse numérique porte le nom ACH.

Variation / sensibilité

Une hausse relative de $3600 \times Q_{\text{ventilation}}$ se transmet directement au ratio; la même hausse relative de V_{local} agit inversement sur ACH.

Limite / hypothèse

Limite principale: $V_{\text{local}}=0$ interdit la division. Même avec V_{local} non nul, une période ou une population différente entre $3600 \times Q_{\text{ventilation}}$ et V_{local} rendrait le ratio trompeur.

On injecte maintenant l'événement suivant: un produit incompatible est stocké trop près.

7. Travaux simultanés

Dans ce module, travaux simultanés sert directement à comprendre les barrières de sécurité et la logique d'un permis de travail au niveau conceptuel, sans transformer le cours en procédure certifiante pour opérations dangereuses.

$f_{\text{interactions}} = N_{\text{interactions_non_maîtrisées}} / N_{\text{interactions}}$

Question de départ

Comment déterminer $f_{\text{interactions}}$ à partir du numérateur $N_{\text{interactions_non_maîtrisées}}$ et de la référence $N_{\text{interactions}}$ dans «7. Travaux simultanés»?

Lecture à voix haute

Formule lue sans abréviation: «f indice interactions égale N indice interactions indice non indice maîtrisées divisé par N indice interactions».

Symboles, prononciation et sens

$f_{\text{interactions}}$ («f interactions»): fraction «interactions» comprise entre 0 et 1; $N_{\text{interactions_non_maîtrisées}}$ («N interactions non maîtrisées»): nombre de interactions non maîtrisées; $N_{\text{interactions}}$ («N interactions»): nombre de interactions

Unités

f interactions → sans dimension [0;1]; N interactions non maîtrisées → compte; N interactions → compte.

Origine et statut des valeurs

La traçabilité numérique impose de savoir d'où vient chaque valeur; une hypothèse de cours ne doit jamais être présentée comme une mesure de mission.

Pourquoi cette opération

Dans «7. Travaux simultanés», $N_{\text{interactions}}$ constitue la base de comparaison et $N_{\text{interactions_non_maîtrisées}}$ la quantité comparée. Le rapport attendu est donc $N_{\text{interactions_non_maîtrisées}}$ divisé par $N_{\text{interactions}}$, non l'inverse.

Substitution et calcul

Aucune valeur nouvelle n'est requise: préparer $N_{\text{interactions_non_maîtrisées}}$, préparer $N_{\text{interactions}}$ dans un référentiel compatible, et effectuer la division prévue par « $f_{\text{interactions}} = N_{\text{interactions_non_maîtrisées}} / N_{\text{interactions}}$ ».

Saisie sur calculatrice

Fermer toutes les parenthèses contenues dans $N_{\text{interactions_non_maîtrisées}}$ et $N_{\text{interactions}}$ avant la division finale; contrôler que l'écran représente bien $(N_{\text{interactions_non_maîtrisées}})/(N_{\text{interactions}})$.

Estimation mentale

Une estimation rapide consiste à écrire $N_{\text{interactions_non_maîtrisées}} \approx 10^m$ et $N_{\text{interactions}} \approx 10^n$; leur quotient est alors de l'ordre de $10^{(m-n)}$, ce qui borne $f_{\text{interactions}}$.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – La relation inverse fournit le test: $N_{\text{interactions_non_maîtrisées}} \approx f_{\text{interactions}} \cdot N_{\text{interactions}}$. Un désaccord au-delà de l'arrondi signale une erreur de saisie ou d'unité.

Interprétation physique ou opérationnelle

Au passage «7. Travaux simultanés», « $f_{\text{interactions}} = N_{\text{interactions_non_maîtrisées}} / N_{\text{interactions}}$ » transforme des entrées en une grandeur à interpréter. Le chiffre doit rester attaché à son unité, à sa frontière de système et aux limites du modèle.

Traduction en français courant

La phrase associée au quotient est: «combien de $N_{\text{interactions_non_maîtrisées}}$ pour un $N_{\text{interactions}}$?». La réponse numérique porte le nom $f_{\text{interactions}}$.

Variation / sensibilité

Une hausse relative de $N_{\text{interactions_non_maîtrisées}}$ se transmet directement au ratio; la même hausse relative de $N_{\text{interactions}}$ agit inversement sur $f_{\text{interactions}}$.

Limite / hypothèse

Limite principale: $N_{\text{interactions}}=0$ interdit la division. Même avec $N_{\text{interactions}}$ non nul, une période ou une population différente entre $N_{\text{interactions_non_maîtrisées}}$ et $N_{\text{interactions}}$ rendrait le ratio trompeur.

On injecte maintenant l'événement suivant: un permis omet un travail simultané voisin.

8. Permis de travail et responsabilités

Dans ce module, permis de travail et responsabilités sert directement à comprendre les barrières de sécurité et la logique d'un permis de travail au niveau conceptuel, sans transformer le cours en procédure certifiante pour opérations dangereuses.

$\text{Complétude_permis} = \text{N_champs_validés} / \text{N_champs_requis}$

Question de départ

Comment déterminer Complétude_permis à partir du numérateur N_champs_validés et de la référence N_champs_requis dans «8. Permis de travail et responsabilités»?

Lecture à voix haute

Formule lue sans abréviation: «Complétude indice permis égale N indice champs indice validés divisé par N indice champs indice requis».

Symboles, prononciation et sens

Complétude_permis: fraction des éléments requis qui ont été validés; N_champs_validés: nombre validé; N_champs_requis: nombre total requis.

Unités

N_champs_validés et N_champs_requis sont des comptes;
Complétude_permis sans dimension entre 0 et 1.

Origine et statut des valeurs

La traçabilité numérique impose de savoir d'où vient chaque valeur; une hypothèse de cours ne doit jamais être présentée comme une mesure de mission.

Pourquoi cette opération

Le quotient rapporte le nombre validé au nombre requis.

Substitution et calcul

Aucune valeur nouvelle n'est requise: préparer N_champs_validés, préparer N_champs_requis dans un référentiel compatible, et effectuer la division prévue par «Complétude_permis = N_champs_validés / N_champs_requis».

Saisie sur calculatrice

Fermer toutes les parenthèses contenues dans N_champs_validés et N_champs_requis avant la division finale; contrôler que l'écran représente bien (N_champs_validés)/(N_champs_requis).

Estimation mentale

Une estimation rapide consiste à écrire $N_{\text{champs_validés}} \approx 10^m$ et $N_{\text{champs_requis}} \approx 10^n$; leur quotient est alors de l'ordre de $10^{(m-n)}$, ce qui borne Complétude_permis.

Contrôle indépendant

$\text{Complétude_permis} \times N_{\text{champs_requis}}$ doit redonner $N_{\text{champs_validés}}$.

Interprétation physique ou opérationnelle

Au passage «8. Permis de travail et responsabilités», « $\text{Complétude_permis} = N_{\text{champs_validés}} / N_{\text{champs_requis}}$ » transforme des entrées en une grandeur à interpréter. Le chiffre doit rester attaché à son unité, à sa frontière de système et aux limites du modèle.

Traduction en français courant

La phrase associée au quotient est: «combien de $N_{\text{champs_validés}}$ pour un $N_{\text{champs_requis}}$?». La réponse numérique porte le nom Complétude_permis.

Variation / sensibilité

Une hausse relative de $N_{\text{champs_validés}}$ se transmet directement au ratio; la même hausse relative de $N_{\text{champs_requis}}$ agit inversement sur Complétude_permis.

Limite / hypothèse

Limite principale: $N_{\text{champs_requis}}=0$ interdit la division. Même avec $N_{\text{champs_requis}}$ non nul, une période ou une population différente entre $N_{\text{champs_validés}}$ et $N_{\text{champs_requis}}$ rendrait le ratio trompeur.

— « Permis de travail et responsabilités ».

On injecte maintenant l'événement suivant: une barrière dépend du même capteur que la commande.

9. Modification improvisée et gestion du changement

Dans ce module, modification improvisée et gestion du changement sert directement à comprendre les barrières de sécurité et la logique d'un permis de travail au niveau conceptuel, sans transformer le cours en procédure certifiante pour opérations dangereuses.

$f_{\text{barrières}} = N_{\text{barrières validées}} / N_{\text{barrières requises}}$

Question de départ

Comment déterminer $f_{\text{barrières}}$ à partir du numérateur $N_{\text{barrières validées}}$ et de la référence $N_{\text{barrières requises}}$ dans «9. Modification improvisée et gestion du changement»?

Lecture à voix haute

Formule lue sans abréviation: «f indice barrières égale N indice barrières indice validées divisé par N indice barrières indice requises».

Symboles, prononciation et sens

$f_{\text{barrières}}$ («f barrières»): fraction «barrières» comprise entre 0 et 1; $N_{\text{barrières validées}}$ («N barrières validées»): nombre de barrières validées; $N_{\text{barrières requises}}$ («N barrières requises»): nombre de barrières requises

Unités

$f_{\text{barrières}}$ → sans dimension [0;1]; $N_{\text{barrières validées}}$ → compte; $N_{\text{barrières requises}}$ → compte.

Origine et statut des valeurs

La traçabilité numérique impose de savoir d'où vient chaque valeur; une hypothèse de cours ne doit jamais être présentée comme une mesure de mission.

Pourquoi cette opération

Dans «9. Modification improvisée et gestion du changement», $N_{\text{barrières requises}}$ constitue la base de comparaison et $N_{\text{barrières validées}}$ la quantité comparée. Le rapport attendu est donc $N_{\text{barrières validées}}$ divisé par $N_{\text{barrières requises}}$, non l'inverse.

Substitution et calcul

Aucune valeur nouvelle n'est requise: préparer $N_{\text{barrières validées}}$, préparer $N_{\text{barrières requises}}$ dans un référentiel compatible, et effectuer la division prévue par « $f_{\text{barrières}} = N_{\text{barrières validées}} / N_{\text{barrières requises}}$ ».

Saisie sur calculatrice

Fermer toutes les parenthèses contenues dans $N_{\text{barrières validées}}$ et $N_{\text{barrières requises}}$ avant la division finale; contrôler que l'écran représente bien $(N_{\text{barrières validées}})/(N_{\text{barrières requises}})$.

Estimation mentale

Une estimation rapide consiste à écrire $N_{\text{barrières_validées}} \approx 10^m$ et $N_{\text{barrières_requisés}} \approx 10^n$; leur quotient est alors de l'ordre de $10^{(m-n)}$, ce qui borne $f_{\text{barrières}}$.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – La relation inverse fournit le test: $N_{\text{barrières_validées}} \approx f_{\text{barrières}} \cdot N_{\text{barrières_requisés}}$. Un désaccord au-delà de l'arrondi signale une erreur de saisie ou d'unité.

Interprétation physique ou opérationnelle

Au passage «9. Modification improvisée et gestion du changement», « $f_{\text{barrières}} = N_{\text{barrières_validées}} / N_{\text{barrières_requisés}}$ » transforme des entrées en une grandeur à interpréter. Le chiffre doit rester attaché à son unité, à sa frontière de système et aux limites du modèle.

Traduction en français courant

La phrase associée au quotient est: «combien de $N_{\text{barrières_validées}}$ pour un $N_{\text{barrières_requisés}}$?». La réponse numérique porte le nom $f_{\text{barrières}}$.

Variation / sensibilité

Une hausse relative de $N_{\text{barrières_validées}}$ se transmet directement au ratio; la même hausse relative de $N_{\text{barrières_requisés}}$ agit inversement sur $f_{\text{barrières}}$.

Limite / hypothèse

Limite principale: $N_{\text{barrières_requisés}} = 0$ interdit la division. Même avec $N_{\text{barrières_requisés}}$ non nul, une période ou une population différente entre $N_{\text{barrières_validées}}$ et $N_{\text{barrières_requisés}}$ rendrait le ratio trompeur.

On injecte maintenant l'événement suivant: un équipement est modifié sans mise à jour documentaire.

10. Quasi-accident et retour d'expérience

Dans ce module, quasi-accident et retour d'expérience sert directement à comprendre les barrières de sécurité et la logique d'un permis de travail au niveau conceptuel, sans transformer le cours en procédure certifiante pour opérations dangereuses.

$$\text{Taux_quasi_accident} = \text{N_quasi_accidents} / \text{Heures_travail}$$

Question de départ

Comment déterminer Taux_quasi_accident à partir du numérateur N_quasi_accidents et de la référence Heures_travail dans «10. Quasi-accident et retour d'expérience»?

Lecture à voix haute

Formule lue sans abréviation: «Taux indice quasi indice accident égale N indice quasi indice accidents divisé par Heures indice travail».

Symboles, prononciation et sens

Taux_quasi_accident: fréquence de quasi-accidents rapportée au temps de travail; N_quasi_accidents: nombre de quasi-accidents observés; Heures_travail: nombre total d'heures d'exposition ou de travail correspondant.

Unités

N_quasi_accidents est un compte; Heures_travail en h; Taux_quasi_accident en événements/h, souvent renormalisé en événements pour 1 000 ou 10 000 heures.

Origine et statut des valeurs

La traçabilité numérique impose de savoir d'où vient chaque valeur; une hypothèse de cours ne doit jamais être présentée comme une mesure de mission. Le passage documente comme provenance: les probabilités, conséquences, barrières et heures de travail.

Pourquoi cette opération

Diviser le nombre d'événements par le temps d'exposition permet de comparer des périodes ou équipes ayant des volumes de travail différents.

Substitution et calcul

Aucune valeur nouvelle n'est requise: préparer $N_{\text{quasi_accidents}}$, préparer Heures_travail dans un référentiel compatible, et effectuer la division prévue par « $\text{Taux_quasi_accident} = N_{\text{quasi_accidents}} / \text{Heures_travail}$ ».

Saisie sur calculatrice

Fermer toutes les parenthèses contenues dans $N_{\text{quasi_accidents}}$ et Heures_travail avant la division finale; contrôler que l'écran représente bien $(N_{\text{quasi_accidents}})/(\text{Heures_travail})$.

Estimation mentale

Une estimation rapide consiste à écrire $N_{\text{quasi_accidents}} \approx 10^m$ et $\text{Heures_travail} \approx 10^n$; leur quotient est alors de l'ordre de $10^{(m-n)}$, ce qui borne $\text{Taux_quasi_accident}$.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: $\text{Taux_quasi_accident} \times \text{Heures_travail}$ doit redonner $N_{\text{quasi_accidents}}$.

Interprétation physique ou opérationnelle

Au passage «10. Quasi-accident et retour d'expérience», « $\text{Taux_quasi_accident} = N_{\text{quasi_accidents}} / \text{Heures_travail}$ » transforme des entrées en une grandeur à interpréter. Le chiffre doit rester attaché à son unité, à sa frontière de système et aux limites du modèle.

Traduction en français courant

La phrase associée au quotient est: «combien de $N_{\text{quasi_accidents}}$ pour un Heures_travail ?». La réponse numérique porte le nom $\text{Taux_quasi_accident}$.

Variation / sensibilité

Une hausse relative de $N_{\text{quasi_accidents}}$ se transmet directement au ratio; la même hausse relative de Heures_travail agit inversement sur $\text{Taux_quasi_accident}$.

Limite / hypothèse

Limite principale: $\text{Heures_travail}=0$ interdit la division. Même avec Heures_travail non nul, une période ou une population différente entre $N_{\text{quasi_accidents}}$ et Heures_travail rendrait le ratio trompeur.

On injecte maintenant l'événement suivant: un quasi-accident n'est pas signalé.

Exercices progressifs avec corrigés 1:1

Exercice 1: Danger, exposition et risque

Analysez danger, exposition et risque. Relation à tester: « $\text{Risque_score} = \text{Probabilité} \times \text{Conséquence}$ ». Cas dégradé: une barrière dépend du même capteur que la commande.
Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 1: Danger, exposition et risque

Données du cas

Exercice guidé — Danger, exposition et risque — Cas « Danger, exposition et risque » — Intuition. Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Relation

Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 1: Danger, exposition et risque

Résultat

Corrigé — Exercice 1: Danger, exposition et risque

Interprétation

Corrigé — Exercice 1: Danger, exposition et risque

Exercice 2: Hiérarchie des barrières

Relation à tester: « $\text{Énergie_pression} \propto p \times V$ ». Cas dégradé: un équipement est modifié sans mise à jour documentaire. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 2: Hiérarchie des barrières

Données du cas

Exercice guidé — Danger, exposition et risque — Cas « Danger, exposition et risque » — Intuition. Repère:

Relation

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Raisonnement

Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Résultat

Corrigé — Exercice 2: Hiérarchie des barrières
Corrigé — Exercice 2: Hiérarchie des barrières

Exercice 3: Énergies dangereuses et isolement conceptuel

Analysez énergies dangereuses et isolement conceptuel. Relation à tester: « Barrières_eff = $1 - \Pi(1 - e_i)$ ». Cas dégradé: un quasi-accident n'est pas signalé. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 3: Énergies dangereuses et isolement conceptuel**Données du cas**

Exercice guidé — Danger, exposition et risque — Cas « Danger, exposition et risque » — Intuition. Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Relation

Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 3: Énergies dangereuses et isolement conceptuel

Résultat

Corrigé — Exercice 3: Énergies dangereuses et isolement conceptuel

Repères numériques conservés. 80% · 96%.

Exercice 4: Pression et énergie stockée

Analysez pression et énergie stockée. Relation à tester: « Marge = Limite - Valeur_mesurée ». Cas dégradé: une zone confinée change d'état pendant l'intervention. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 4: Pression et énergie stockée

Données du cas

Exercice guidé — Danger, exposition et risque — Cas « Danger, exposition et risque » — Intuition. Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Relation

Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 4: Pression et énergie stockée

Résultat

Corrigé — Exercice 4: Pression et énergie stockée

Exercice 5: Produits chimiques et incompatibilités

Analysez produits chimiques et incompatibilités. Relation à tester: « Risque_score = Probabilité × Conséquence ». Cas dégradé: un produit incompatible est stocké trop près. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 5: Produits chimiques et incompatibilités

Données du cas

Exercice guidé — Danger, exposition et risque — Cas « Danger, exposition et risque » — Intuition. Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Relation

Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 5: Produits chimiques et incompatibilités

Résultat

Corrigé — Exercice 5: Produits chimiques et incompatibilités

Exercice 6: Espaces confinés comme système de risque

Analysez espaces confinés comme système de risque. Relation à tester: « Énergie_pression $\propto p \times V$ ». Cas dégradé: un permis omet un travail simultané voisin. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 6: Espaces confinés comme système de risque**Données du cas**

Exercice guidé — Danger, exposition et risque — Cas « Danger, exposition et risque » — Intuition. Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Relation

Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 6: Espaces confinés comme système de risque

Résultat

Corrigé — Exercice 6: Espaces confinés comme système de risque

Interprétation

Corrigé — Exercice 6: Espaces confinés comme système de risque

Exercice 7: Travaux simultanés

Relation à tester: « $\text{Barrières_eff} = 1 - \Pi(1 - e_i)$ ». Cas dégradé: une barrière dépend du même capteur que la commande. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 7: Travaux simultanés

Données du cas

Exercice guidé — Danger, exposition et risque — Cas « Danger, exposition et risque » — Intuition. Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Relation

Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 7: Travaux simultanés

Résultat

Corrigé — Exercice 7: Travaux simultanés

Repères numériques conservés. 80% · 96%.

Exercice 8: Permis de travail et responsabilités

Analysez permis de travail et responsabilités. Relation à tester: « $\text{Marge} = \text{Limite} - \text{Valeur_mesurée}$ ». Cas dégradé: un équipement est modifié sans mise à jour documentaire. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 8: Permis de travail et responsabilités

Données du cas

Exercice guidé — Danger, exposition et risque — Cas « Danger, exposition et risque » — Intuition. Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Relation

Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Une intervention exige l'isolement de 5 sources d'énergie à 4 min chacune, deux vérifications indépendantes de 6 min chacune et 15 min de mesures... Réserve: Repère concret.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 8: Permis de travail et responsabilités

Résultat

Corrigé — Exercice 8: Permis de travail et responsabilités

Mini-projet intégrateur et dossier de référence

Auditer un permis de travail fictif comportant plusieurs erreurs conceptuelles: périmètre incomplet, interfaces oubliées, barrière commune et conflit de travaux. L'exercice identifie les lacunes sans fournir d'instructions pratiques pour réaliser une opération dangereuse.

« Exercice 8: Permis de travail et responsabilités » — hypothèses, budget, marges.

« Exercice 8: Permis de travail et responsabilités » — interfaces et causes communes.

« Exercice 8: Permis de travail et responsabilités » — calculs, limites, critères.

Repères du passage: [inventaire](#)

Repères du passage: [sous-système](#) · [masse](#) · [redondance](#)

Vérification de maîtrise du module 56

- « Exercice 8: Permis de travail et responsabilités » — unités et ordre de grandeur.

- « Exercice 8: Permis de travail et responsabilités » — cas dégradé.
- « Exercice 8: Permis de travail et responsabilités » — marge décisionnelle.
- « Exercice 8: Permis de travail et responsabilités » — mesure de contrôle.

Repères du passage: [observation](#)

Repères du passage: [substitution](#)

Repères du passage: [validation](#)

Repères du passage: [marge](#)

Repères du passage: [Mode dégradé](#)

Repères du passage: [robustesse](#)

Repères du passage: [défaillance](#)

Repères du passage: [incertitude](#)

Sécurité industrielle : le permis de travail doit représenter physiquement le chantier

Un permis utile décrit la frontière de travail, les énergies accessibles, les produits présents, les activités voisines, les barrières, les vérifications et les conditions qui annulent l'autorisation. S'il ne modifie pas ce que l'équipe isole, mesure et contrôle, il n'est qu'un formulaire.

L'énergie résiduelle reste dangereuse après l'ordre d'arrêt

Pression piégée, condensateur, ressort, masse suspendue, chaleur ou froid cryogénique peuvent survivre à la coupure. La mise en sécurité exige dissipation, blocage ou confinement, puis mesure indépendante au point de travail.

La vérification ne doit pas dépendre uniquement de la commande

Un même capteur ne doit pas être la seule preuve qu'une vanne commandée fermée est réellement isolante. Selon le risque, on vérifie pression aval, position physique, absence de tension ou atmosphère sûre avec un moyen distinct.

Deux travaux sûrs séparément peuvent devenir dangereux ensemble

Soudage, purge, essais logiciels, coupure électrique et maintenance atmosphérique peuvent interagir. La coordination des travaux simultanés doit rendre visibles zones, utilités partagées et activités incompatibles.

Le retour en service est une seconde opération à risque

Outils, obturateurs temporaires, capteurs, protections, configuration logicielle et personnel doivent être vérifiés avant réénergisation progressive. Une maintenance bien menée peut encore échouer au redémarrage.

Énergie résiduelle à considérer

$$E_{\text{résiduelle}} = \sum E_{\text{stockée},i} \text{ après isolement}$$

Cette écriture rappelle qu'une isolation de commande n'annule pas les énergies déjà stockées. La sécurité dépend de leur inventaire, de leur dissipation et de la preuve de l'état sûr.

► Exercice — le chantier ne correspond plus au permis

Pour relier cet atelier aux références déjà utilisées par le module, consulter [NASA-STD-3001 Volume 2](#) et [NASA — Environmental Control and Life Support Systems](#).

Sources primaires et passerelles

- [NASA-STD-3001 Volume 2](#)
- [NASA — Environmental Control and Life Support Systems](#)
- [NASA JSC — Spaceflight Operations](#)

IDENTIFIER

énergie · chimie ·
pression

ISOLER

vannes · disjoncteurs ·
frontières

VÉRIFIER ZÉRO

mesurer · contrôle
indépendant

REMETTRE EN

SERVICE

redémarrage par étapes
· abandon

Composite pédagogique : un travail sûr suit une chaîne explicite de barrières, de l'identification du danger jusqu'à la remise en service contrôlée.