

Incendie, dépressurisation, refuge et secours intérieur

Préparer les événements qui menacent immédiatement l'équipage: feu, perte de [pression](#), fumées, isolement de volume et évacuation interne. Repères INFO: isolement de compartiment, protection incendie. La protection incendie et l'isolement de compartiment doivent rester vérifiables même en [mode dégradé](#).

Comprendre le problème avant les équations

Question de départ — Incendie, dépressurisation, refuge et secours intérieur: comment « Comprendre avant de calculer » agit-il sur « incendie », et quel repère issu de « dépressurisation » permet de vérifier la décision?

Intuition. Une alarme de fumée apparaît alors qu'un capteur de pression indique aussi une baisse lente. L'équipage doit déterminer s'il s'agit d'un seul événement ou de deux pannes indépendantes.

1

Comprendre avant de calculer

Une alarme de fumée apparaît alors qu'un capteur de pression indique aussi une baisse lente.

2

incendie

Définition sans prérequis.

3

dépressurisation

Définition sans prérequis.

Repère concret. L'équipage doit déterminer s'il s'agit d'un seul événement ou de deux pannes indépendantes.

- Comprendre avant de calculer — Une alarme de fumée apparaît alors qu'un capteur de pression indique aussi une baisse lente.
- incendie — Définition sans prérequis.
- dépressurisation — Définition sans prérequis.

Avant « Incendie, dépressurisation, refuge et secours intérieur », utilisez modules 00 à 40 recommandés selon le sujet. Dans « Incendie, dépressurisation, refuge et secours intérieur », une notation indispensable est redéfinie au moment où elle devient utile au raisonnement.

RAMPE ZÉRO PRÉREQUIS · MODULE 42

Comprendre avant de calculer

Une alarme de fumée apparaît alors qu'un capteur de pression indique aussi une baisse lente. L'équipage doit déterminer s'il s'agit d'un seul événement ou de deux pannes indépendantes.

Progression du module — incendie; dépressurisation; refuge; secours intérieur.

incendie

Définition sans prérequis. Un [incendie](#) combine combustible, oxydant, source d'allumage et propagation de chaleur. Dans un habitat pressurisé, la composition de l'atmosphère et la ventilation influencent fortement le comportement.

Scène concrète. Un feu derrière un panneau peut produire fumée et chaleur avant que la flamme ne soit visible.

Contrôle mental. Un feu exige simultanément combustible, comburant et énergie d'activation; l'action doit casser au moins un côté de ce triangle sans créer un danger supérieur pour l'équipage.

Piège à éviter. Couper un ventilateur peut limiter une propagation mais supprimer aussi refroidissement ou filtration; les actions doivent considérer le [système](#) complet.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « [incendie](#) » peut raccourcir l'horizon de survie pendant un feu ou une fuite et rendre inaccessible le refuge ou le chemin de secours prévu.

Exercice guidé — incendie

Situation à reconnaître. Un feu derrière un panneau peut produire fumée et chaleur avant que la flamme ne soit visible.

Vérification demandée. Un feu exige simultanément combustible, comburant et énergie d'activation; l'action doit casser au moins un côté de ce triangle sans créer un danger supérieur pour l'équipage.

Erreur à écarter. Couper un ventilateur peut limiter une propagation mais supprimer aussi refroidissement ou filtration; les actions doivent considérer le système complet.

Corrigé raisonné

Sens précis

Un incendie combine combustible, oxydant, source d'allumage et propagation de chaleur. Dans un habitat pressurisé, la composition de l'atmosphère et la ventilation influencent fortement le comportement.

Test du cas

Un feu exige simultanément combustible, comburant et énergie d'activation; l'action doit casser au moins un côté de ce triangle sans créer un danger supérieur pour l'équipage.

Piège exclu

Couper un ventilateur peut limiter une propagation mais supprimer aussi refroidissement ou filtration; les actions doivent considérer le système complet.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « incendie » peut raccourcir l'horizon de survie pendant un feu ou une fuite et rendre inaccessible le refuge ou le chemin de secours prévu.

Termes du corrigé. [vérification](#) · [observation](#)

Quantification

incendie: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

incendie: confronter conclusion, contrôle et piège de la carte.

dépressurisation

Définition sans prérequis. La [dépressurisation](#) est une diminution de pression d'un volume pressurisé due à une fuite, une ouverture ou une commande volontaire.

Scène concrète. Une petite fuite peut être suivie par tendance de pression tandis qu'une rupture importante impose isolement rapide et refuge.

Contrôle mental. Une fuite plus grande ou un volume plus petit réduit le temps disponible; l'alarme, l'isolement et le refuge doivent être compatibles avec cet horizon.

Piège à éviter. Une pression stable momentanément ne prouve pas l'absence de fuite si régulation ou ajout de gaz la masque.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « [dépressurisation](#) » peut raccourcir l'horizon de survie pendant un feu ou une fuite et rendre inaccessible le refuge ou le chemin de secours prévu.

Exercice guidé — dépressurisation

Situation à reconnaître. Une petite fuite peut être suivie par tendance de pression tandis qu'une rupture importante impose isolement rapide et refuge.

Vérification demandée. Une fuite plus grande ou un volume plus petit réduit le temps disponible; l'alarme, l'isolement et le refuge doivent être compatibles avec cet horizon.

Erreur à écarter. Une pression stable momentanément ne prouve pas l'absence de fuite si régulation ou ajout de gaz la masque.

Corrigé raisonné

Sens précis

La dépressurisation est une diminution de pression d'un volume pressurisé due à une fuite, une ouverture ou une commande volontaire.

Test du cas

Une fuite plus grande ou un volume plus petit réduit le temps disponible; l'alarme, l'isolement et le refuge doivent être compatibles avec cet horizon.

Piège exclu

Une pression stable momentanément ne prouve pas l'absence de fuite si régulation ou ajout de gaz la masque.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « dépressurisation » peut raccourcir l'horizon de survie pendant un feu ou une fuite et rendre inaccessible le refuge ou le chemin de secours prévu.

Quantification

dépressurisation: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

dépressurisation: confronter conclusion, contrôle et piège de la carte.

refuge

Définition sans prérequis. Un [refuge](#) est un volume conçu pour maintenir des fonctions vitales pendant qu'une autre partie de l'habitat est indisponible.

Scène concrète. Il doit disposer d'air, communication, énergie, eau et durée [d'autonomie](#) cohérente avec le scénario de secours.

Contrôle mental. Le [refuge](#) doit avoir une autonomie propre mesurable en air, énergie, thermique, communications et durée; une pièce simplement « sûre » sans ressources n'est pas un refuge.

Piège à éviter. Un refuge sans capacité de rejoindre une issue ou sans autonomie réelle n'est qu'une pièce isolée.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « [refuge](#) » peut raccourcir l'horizon de survie pendant un feu ou une fuite et rendre inaccessible le refuge ou le chemin de secours prévu.

Exercice guidé — refuge

Situation à reconnaître. Il doit disposer d'air, communication, énergie, eau et durée d'autonomie cohérente avec le scénario de secours.

Vérification demandée. Le refuge doit avoir une autonomie propre mesurable en air, énergie, thermique, communications et durée; une pièce simplement « sûre » sans ressources n'est pas un refuge.

Erreur à écarter. Un refuge sans capacité de rejoindre une issue ou sans autonomie réelle n'est qu'une pièce isolée.

Corrigé raisonné

Sens précis

Un refuge est un volume conçu pour maintenir des fonctions vitales pendant qu'une autre partie de l'habitat est indisponible.

Test du cas

Le refuge doit avoir une autonomie propre mesurable en air, énergie, thermique, communications et durée; une pièce simplement « sûre » sans ressources n'est pas un refuge.

Piège exclu

Un refuge sans capacité de rejoindre une issue ou sans autonomie réelle n'est qu'une pièce isolée.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « refuge » peut raccourcir l'horizon de survie pendant un feu ou une fuite et rendre inaccessible le refuge ou le chemin de secours prévu.

Quantification

refuge: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

refuge: confronter conclusion, contrôle et piège de la carte.

secours intérieur

Définition sans prérequis. Le **secours intérieur** regroupe les moyens permettant d'assister une personne ou traiter une urgence dans l'habitat sans attendre une aide extérieure.

Scène concrète. Matériel respiratoire, extincteurs, kits médicaux et procédures d'extraction doivent rester accessibles dans plusieurs scénarios.

Contrôle mental. Avant d'entrer dans une zone dangereuse, l'équipe de secours doit conserver un moyen de retour et une seconde équipe capable d'intervenir; le sauveteur ne doit pas devenir une victime supplémentaire.

Piège à éviter. Concentrer tous les moyens de secours dans une zone qui peut être isolée par le même accident crée une **défaillance** commune.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « **secours intérieur** » peut raccourcir l'horizon de survie pendant un feu ou une fuite et rendre inaccessible le refuge ou le chemin de secours prévu.

Exercice guidé — secours intérieur

Situation à reconnaître. Matériel respiratoire, extincteurs, kits médicaux et procédures d'extraction doivent rester accessibles dans plusieurs scénarios.

Vérification demandée. Avant d'entrer dans une zone dangereuse, l'équipe de secours doit conserver un moyen de retour et une seconde équipe capable d'intervenir; le sauveteur ne doit pas devenir une victime supplémentaire.

Erreur à écarter. Concentrer tous les moyens de secours dans une zone qui peut être isolée par le même accident crée une défaillance commune.

Corrigé raisonné

Sens précis

Le secours intérieur regroupe les moyens permettant d'assister une personne ou traiter une urgence dans l'habitat sans attendre une aide extérieure.

Test du cas

Avant d'entrer dans une zone dangereuse, l'équipe de secours doit conserver un moyen de retour et une seconde équipe capable d'intervenir; le sauveteur ne doit pas devenir une victime supplémentaire.

Piège exclu

Concentrer tous les moyens de secours dans une zone qui peut être isolée par le même accident crée une défaillance commune.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « secours intérieur » peut raccourcir l'horizon de survie pendant un feu ou une fuite et rendre inaccessible le refuge ou le chemin de secours prévu.

Quantification

secours intérieur: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

secours intérieur: confronter conclusion, contrôle et piège de la carte.

Étude intégrée — Incendie, dépressurisation, refuge et secours intérieur

Situation à analyser. Une alarme de fumée apparaît alors qu'un capteur de pression indique aussi une baisse lente. L'équipage doit déterminer s'il s'agit d'un seul événement ou de deux pannes indépendantes.

- **incendie:** Un feu derrière un panneau peut produire fumée et chaleur avant que la flamme ne soit visible. Contrôle attendu: Un feu exige simultanément combustible, comburant et énergie d'activation; l'action doit casser au moins un côté de ce triangle sans créer un danger supérieur pour l'équipage.
- **dépressurisation:** Une petite fuite peut être suivie par tendance de pression tandis qu'une rupture importante impose isolement rapide et refuge. Contrôle attendu: Une fuite plus grande ou un volume plus petit réduit le temps disponible; l'alarme, l'isolement et le refuge doivent être compatibles avec cet horizon.
- **refuge:** Il doit disposer d'air, communication, énergie, eau et durée d'autonomie cohérente avec le scénario de secours. Contrôle attendu: Le refuge doit avoir une autonomie propre mesurable en air, énergie, thermique, communications et durée; une pièce simplement « sûre » sans ressources n'est pas un refuge.
- **secours intérieur:** Matériel respiratoire, extincteurs, kits médicaux et procédures d'extraction doivent rester accessibles dans plusieurs scénarios. Contrôle attendu: Avant d'entrer dans une zone dangereuse, l'équipe de secours doit conserver un moyen de retour et une seconde équipe capable d'intervenir; le sauveteur ne doit pas devenir une victime supplémentaire.

Le diagnostic ne doit pas confondre « incendie » et « dépressurisation ». Le premier se reconnaît ici par le cas suivant: Un feu derrière un panneau peut produire fumée et chaleur avant que la flamme ne soit visible. Le second doit être contrôlé autrement: Une fuite plus grande ou un volume plus petit réduit le temps disponible; l'alarme, l'isolement et le refuge doivent être compatibles avec cet horizon.

Une seconde vérification croise « refuge » et « secours intérieur ». Gardez comme alerte « Un refuge sans capacité de rejoindre une issue ou sans autonomie réelle n'est qu'une pièce isolée. »; pour « secours intérieur », utilisez plutôt ce test: Avant d'entrer dans une zone dangereuse, l'équipe de secours doit conserver un moyen de retour et une seconde équipe capable d'intervenir; le sauveteur ne doit pas devenir une victime supplémentaire.

Exercice de synthèse

Dans la situation de « Incendie, dépressurisation, refuge et secours intérieur », classez les indices selon « incendie » (Un feu exige simultanément combustible, comburant et énergie d'activation; l'action doit casser au moins un côté de ce triangle sans créer un danger supérieur pour l'équipage.), « dépressurisation » (Une fuite plus grande ou un volume plus petit réduit le temps disponible; l'alarme, l'isolement et le refuge doivent être compatibles avec cet horizon.), « refuge » (Le refuge doit avoir une autonomie propre mesurable en air, énergie, thermique, communications et durée; une pièce simplement « sûre » sans ressources n'est pas un refuge.), « secours intérieur » (Avant d'entrer dans une zone dangereuse, l'équipe de secours doit conserver un moyen de retour et une seconde équipe capable d'intervenir; le sauveteur ne doit pas devenir une victime supplémentaire.) Décision suspendue si un contrôle échoue.

Corrigé de synthèse

Pour incendie, Dans ce module, une erreur sur « incendie » peut raccourcir l'horizon de survie pendant un feu ou une fuite et rendre inaccessible le refuge ou le chemin de secours prévu. Le garde-fou principal est: Couper un ventilateur peut limiter une propagation mais supprimer aussi refroidissement ou filtration; les actions doivent considérer le système complet. Pour dépressurisation, Dans ce module, une erreur sur « dépressurisation » peut raccourcir l'horizon de survie pendant un feu ou une fuite et rendre inaccessible le refuge ou le chemin de secours prévu. Le garde-fou principal est: Une pression stable momentanément ne prouve pas l'absence de fuite si régulation ou ajout de gaz la masque. Pour refuge, Dans ce module, une erreur sur « refuge » peut raccourcir l'horizon de survie pendant un feu ou une fuite et rendre inaccessible le refuge ou le chemin de secours prévu. Le garde-fou principal est: Un refuge sans capacité de rejoindre une issue ou sans autonomie réelle n'est qu'une pièce isolée. Pour secours intérieur, Dans ce module, une erreur sur « secours intérieur » peut raccourcir l'horizon de survie pendant un feu ou une fuite et rendre inaccessible le refuge ou le chemin de secours prévu. Le garde-fou principal est: Concentrer tous les moyens de secours dans une zone qui peut être isolée par le même accident crée une défaillance commune.

Données du cas

Exercice de synthèse — Dans la situation de « Incendie, dépressurisation, refuge et secours intérieur », classez les indices selon « incendie » (Un feu exige simultanément combustible, comburant et énergie d'activation; l'action doit casser au moins un côté de ce triangle sans créer un danger supérieur pour l'équipage.), « dépressurisation » (Une

fuite plus grande ou un volume plus petit réduit le temps disponible; l'alarme, l'isolement et le refuge doivent être compatibles avec cet horizon.), « refuge » (Le refuge doit avoir une autonomie

Relation

Dans la situation de « Incendie, dépressurisation, refuge et secours intérieur », classez les indices selon « incendie » (Un feu exige simultanément combustible, comburant et énergie d'activation

Raisonnement

Corrigé de synthèse Pour incendie, Dans ce module, une erreur sur « incendie » peut raccourcir l'horizon de survie pendant un feu ou une fuite et rendre inaccessible le refuge ou le chemin de secours prévu. Le garde-fou principal est: Couper un ventilateur peut limiter une propagation mais supprimer aussi refroidissement ou filtration; les actions doivent considérer le système complet. Pour dépressurisation, Dans ce module, une erreur sur « dépressurisation » peut raccourcir l'horizon de survie pendant un feu ou une fuite et rendre inaccessible le refuge ou le chemin de secours prévu. Le garde-fou principal est: Une pression stable momentanément ne prouve pas l'absence de fuite si régulation ou ajout de gaz la masque. Pour refuge, Dans ce module, une erreur sur « refuge » peut raccourcir l'horizon de survie pendant un feu ou une fuite et rendre inaccessible le refuge ou le chemin de seco

Résultat

Corrigé de synthèse Pour incendie, Dans ce module, une erreur sur « incendie » peut raccourcir l'horizon de survie pendant un feu ou une fuite et rendre inaccessible le refuge ou le chemin de secours prévu.

Contrôle

Le garde-fou principal est: Couper un ventilateur peut limiter une propagation mais supprimer aussi refroidissement ou filtration

Interprétation

Le garde-fou principal est: Concentrer tous les moyens de secours dans une zone qui peut être isolée par le même accident crée une défaillance commune.

Mini-leçons quantitatives canoniques

Ce bloc constitue la référence quantitative du module; les valeurs d'exercice sont pédagogiques et doivent être remplacées par les données de mission avant toute décision réelle.

Temps jusqu'au seuil de pression

$$t_{\text{pressure}} = (P_0 - P_{\text{min}}) / r_{\text{loss}}$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $t_{\text{pressure}} = (P_0 - P_{\text{min}}) / r_{\text{loss}}$ » dans « Temps jusqu'au seuil de pression » ?

2 — Intuition sans symboles

Sous une approximation à taux constant, le temps disponible vient de la chute de pression admissible divisée par le taux de perte.

3 — Grandeurs

t_{pressure} : temps avant d'atteindre le seuil [min]; P_0 : pression initiale [kPa]; P_{min} : pression minimale admissible [kPa]; r_{loss} : taux de perte de pression supposé constant [kPa/min]

4 — Formule

$$t_{\text{pressure}} = (P_0 - P_{\text{min}}) / r_{\text{loss}}$$

5 — Lecture

Lire « $t_{\text{pressure}} = (P_0 - P_{\text{min}}) / r_{\text{loss}}$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

t_{pressure} : temps avant d'atteindre le seuil [min]; P_0 : pression initiale [kPa]; P_{min} : pression minimale admissible [kPa]; r_{loss} : taux de perte de pression supposé constant [kPa/min]

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses et lettres grecques afin de reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

t_{pressure} [min]; P_0 [kPa]; P_{min} [kPa]; r_{loss} [kPa/min]

9 — Convention

Conserver le même repère, la même base de temps, la même frontière de système et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

La relation traduit le mécanisme du système en une quantité vérifiable par substitution numérique.

11 — Hypothèses

Toutes les entrées doivent être cohérentes en unité, repère, durée et scénario.

12 — Contrôle indépendant

Une seconde méthode ou la relation inverse doit retrouver le même ordre de grandeur.

13 — Cas numérique

Avec $P_0 = 70$ kPa, $P_{\min} = 55$ kPa, $r_{\text{loss}} = 3$ kPa/min: $t_{\text{pressure}} = (70 - 55) / 3 = 5$ min.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La relation traduit le mécanisme du système en une quantité vérifiable par substitution numérique.

15 — Vérification

Une seconde méthode ou la relation inverse doit retrouver le même ordre de grandeur.

16 — Estimation mentale

Une estimation avant calcul permet de détecter les erreurs de signe, d'unité ou de facteur.

17 — Interprétation

Traiter ce temps comme une estimation de priorité, jamais comme une garantie que le débit de fuite restera constant.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario annoncé; ces deux points exigent des preuves séparées.

19 — Sensibilité

Faire varier une entrée à la fois révèle la variable qui pilote le plus la décision.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Recalculez ce scénario: Avec $P_0 = 68$ kPa, $P_{\min} = 56$ kPa, $r_{\text{loss}} = 2$ kPa/min: $t_{\text{pressure}} = (68 - 56) / 2$?

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec $P_0 = 68$ kPa, $P_{\min} = 56$ kPa, $r_{\text{loss}} = 2$ kPa/min: $t_{\text{pressure}} = (68 - 56) / 2 = 6$ min. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

Exercice autonome. Recalculez ce scénario: Avec $P_0 = 62$ kPa, $P_{\min} = 50$ kPa, $r_{\text{loss}} = 1.5$ kPa/min: $t_{\text{pressure}} = (62 - 50) / 1.5$?

Correction autonome — ouvrir après essai

Avec $P_0 = 62$ kPa, $P_{\min} = 50$ kPa, $r_{\text{loss}} = 1.5$ kPa/min: $t_{\text{pressure}} = (62 - 50) / 1.5 = 8$ min. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

21 — Décision mission

Traiter ce temps comme une estimation de priorité, jamais comme une garantie que le débit de fuite restera constant.

Autonomie d'oxygène du refuge

$$T_{O_2} = Q_{O_2} / (N_{\text{crew}} \times q_{O_2})$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $T_{O_2} = Q_{O_2} / (N_{\text{crew}} \times q_{O_2})$ » dans « Autonomie d'oxygène du refuge » ?

2 — Intuition sans symboles

La durée de refuge dépend du stock utilisable divisé par la consommation totale de l'équipage.

3 — Grandeurs

T_O2: autonomie d'oxygène [j]; Q_O2: masse d'oxygène utilisable [kg]; N_crew: nombre de personnes [personnes]; q_O2: consommation par personne et par jour [kg/personne/j]

4 — Formule

$$T_{O2} = Q_{O2} / (N_{crew} \times q_{O2})$$

5 — Lecture

Lire « $T_{O2} = Q_{O2} / (N_{crew} \times q_{O2})$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

T_O2: autonomie d'oxygène [j]; Q_O2: masse d'oxygène utilisable [kg]; N_crew: nombre de personnes [personnes]; q_O2: consommation par personne et par jour [kg/personne/j]

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses et lettres grecques afin de reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

T_O2 [j]; Q_O2 [kg]; N_crew [personnes]; q_O2 [kg/personne/j]

9 — Convention

Conserver le même repère, la même base de temps, la même frontière de système et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

La division rapporte une quantité à une capacité, une durée ou une référence cohérente.

11 — Hypothèses

Numérateur et dénominateur doivent décrire le même scénario et le dénominateur doit rester positif.

12 — Contrôle indépendant

Multiplier le résultat par le dénominateur doit reconstruire le numérateur.

13 — Cas numérique

Avec $Q_{O2} = 4.8$ kg, $N_{crew} = 6$ personnes, $q_{O2} = 0.8$ kg/personne/j: $T_{O2} = 4.8 / (6 \times 0.8) = 1$ j.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La division rapporte une quantité à une capacité, une durée ou une référence cohérente.

15 — Vérification

Multiplier le résultat par le dénominateur doit reconstruire le numérateur.

16 — Estimation mentale

Comparer les ordres de grandeur du numérateur et du dénominateur permet d'anticiper le résultat.

17 — Interprétation

Ne jamais annoncer cette autonomie sans vérifier aussi CO2, eau, chaleur, énergie et sanitaire.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario annoncé; ces deux points exigent des preuves séparées.

19 — Sensibilité

Le résultat augmente avec le numérateur et diminue quand le dénominateur augmente.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Recalculez ce scénario: Avec $Q_{O2} = 7.2$ kg, $N_{crew} = 6$ personnes, $q_{O2} = 0.8$ kg/personne/j: $T_{O2} = 7.2 / (6 \times 0.8)$?

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec $Q_{O2} = 7.2$ kg, $N_{crew} = 6$ personnes, $q_{O2} = 0.8$ kg/personne/j: $T_{O2} = 7.2 / (6 \times 0.8) = 1.5$ j. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

Exercice autonome. Recalculez ce scénario: Avec $Q_{O2} = 8.4$ kg, $N_{crew} = 5$ personnes, $q_{O2} = 0.84$ kg/personne/j: $T_{O2} = 8.4 / (5 \times 0.84)$?

Correction autonome — ouvrir après essai

Avec $Q_{O2} = 8.4$ kg, $N_{crew} = 5$ personnes, $q_{O2} = 0.84$ kg/personne/j: $T_{O2} = 8.4 / (5 \times 0.84) = 2$ j. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

21 — Décision mission

Ne jamais annoncer cette autonomie sans vérifier aussi CO2, eau, chaleur, énergie et sanitaire.

Masse d'oxygène planifiée

$$M_{O_2_plan} = N_{crew} \times q_{O_2} \times d_{refuge} \times (1 + m_{margin})$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $M_{O_2_plan} = N_{crew} \times q_{O_2} \times d_{refuge} \times (1 + m_{margin})$ » dans « Masse d'oxygène planifiée » ?

2 — Intuition sans symboles

Le stock prévu part de la consommation nominale puis ajoute une marge explicite.

3 — Grandeurs

$M_{O_2_plan}$: masse d'oxygène planifiée [kg]; N_{crew} : nombre de personnes [personnes]; q_{O_2} : consommation par personne et par jour [kg/personne/j]; d_{refuge} : durée visée du refuge [j]; m_{margin} : marge fractionnaire [sans dimension]

4 — Formule

$$M_{O_2_plan} = N_{crew} \times q_{O_2} \times d_{refuge} \times (1 + m_{margin})$$

5 — Lecture

Lire « $M_{O_2_plan} = N_{crew} \times q_{O_2} \times d_{refuge} \times (1 + m_{margin})$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

$M_{O_2_plan}$: masse d'oxygène planifiée [kg]; N_{crew} : nombre de personnes [personnes]; q_{O_2} : consommation par personne et par jour [kg/personne/j]; d_{refuge} : durée visée du refuge [j]; m_{margin} : marge fractionnaire [sans dimension]

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses et lettres grecques afin de reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

$M_{O_2_plan}$ [kg]; N_{crew} [personnes]; q_{O_2} [kg/personne/j]; d_{refuge} [j]; m_{margin} [sans dimension]

9 — Convention

Conserver le même repère, la même base de temps, la même frontière de système et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

La relation traduit le mécanisme du système en une quantité vérifiable par substitution numérique.

11 — Hypothèses

Toutes les entrées doivent être cohérentes en unité, repère, durée et scénario.

12 — Contrôle indépendant

Une seconde méthode ou la relation inverse doit retrouver le même ordre de grandeur.

13 — Cas numérique

Avec $N_{crew} = 4$ personnes, $q_{O_2} = 0.84$ kg/personne/j, $d_{refuge} = 2$ j, $m_{margin} = 0.3$ sans dimension:
 $M_{O_2_plan} = 4 \times 0.84 \times 2 \times (1 + 0.3) = 8.736$ kg.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La relation traduit le mécanisme du système en une quantité vérifiable par substitution numérique.

15 — Vérification

Une seconde méthode ou la relation inverse doit retrouver le même ordre de grandeur.

16 — Estimation mentale

Une estimation avant calcul permet de détecter les erreurs de signe, d'unité ou de facteur.

17 — Interprétation

Dimensionner le stockage et la distribution sur la valeur planifiée, pas sur le besoin nominal sans marge.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario annoncé; ces deux points exigent des preuves séparées.

19 — Sensibilité

Faire varier une entrée à la fois révèle la variable qui pilote le plus la décision.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Recalculez ce scénario: Avec $N_{crew} = 6$ personnes, $q_{O_2} = 0.8$ kg/personne/j, $d_{refuge} = 1.5$ j, $m_{margin} = 0.25$ sans dimension: $M_{O_2_plan} = 6 \times 0.8 \times 1.5 \times (1 + 0.25)$?

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec $N_{\text{crew}} = 6$ personnes, $q_{\text{O}_2} = 0.8$ kg/personne/j, $d_{\text{refuge}} = 1.5$ j, $m_{\text{margin}} = 0.25$ sans dimension: $M_{\text{O}_2_{\text{plan}}} = 6 \times 0.8 \times 1.5 \times (1 + 0.25) = 9$ kg. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

Exercice autonome. Recalculez ce scénario: Avec $N_{\text{crew}} = 5$ personnes, $q_{\text{O}_2} = 0.84$ kg/personne/j, $d_{\text{refuge}} = 3$ j, $m_{\text{margin}} = 0.2$ sans dimension: $M_{\text{O}_2_{\text{plan}}} = 5 \times 0.84 \times 3 \times (1 + 0.2)$?

Correction autonome — ouvrir après essai

Avec $N_{\text{crew}} = 5$ personnes, $q_{\text{O}_2} = 0.84$ kg/personne/j, $d_{\text{refuge}} = 3$ j, $m_{\text{margin}} = 0.2$ sans dimension: $M_{\text{O}_2_{\text{plan}}} = 5 \times 0.84 \times 3 \times (1 + 0.2) = 15.12$ kg. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

21 — Décision mission

Dimensionner le stockage et la distribution sur la valeur planifiée, pas sur le besoin nominal sans marge.

Marge d'évacuation interne

$$M_{\text{evac}} = t_{\text{available}} - t_{\text{egress}}$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $M_{\text{evac}} = t_{\text{available}} - t_{\text{egress}}$ » dans « Marge d'évacuation interne » ?

2 — Intuition sans symboles

La décision dépend de la différence entre le temps avant danger et le temps réellement nécessaire pour mettre les personnes à l'abri.

3 — Grandeurs

M_{evac} : marge d'évacuation [min]; $t_{\text{available}}$: temps disponible avant condition dangereuse [min]; t_{egress} : temps nécessaire pour évacuer [min]

4 — Formule

$$M_{\text{evac}} = t_{\text{available}} - t_{\text{egress}}$$

5 — Lecture

Lire « $M_{\text{evac}} = t_{\text{available}} - t_{\text{egress}}$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

M_{evac} : marge d'évacuation [min]; $t_{\text{available}}$: temps disponible avant condition dangereuse [min]; t_{egress} : temps nécessaire pour évacuer [min]

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses et lettres grecques afin de reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

M_{evac} [min]; $t_{\text{available}}$ [min]; t_{egress} [min]

9 — Convention

Conserver le même repère, la même base de temps, la même frontière de système et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

La soustraction isole une marge ou un écart entre deux états comparables.

11 — Hypothèses

Les termes doivent partager le même repère et la même unité.

12 — Contrôle indépendant

Réadditionner la marge au terme retranché doit reconstruire l'état initial.

13 — Cas numérique

Avec $t_{\text{available}} = 12.5$ min, $t_{\text{egress}} = 6$ min: $M_{\text{evac}} = 12.5 - 6 = 6.5$ min.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La soustraction isole une marge ou un écart entre deux états comparables.

15 — Vérification

Réadditionner la marge au terme retranché doit reconstruire l'état initial.

16 — Estimation mentale

Comparer les deux termes permet de prévoir le signe avant calcul.

17 — Interprétation

Une marge faible impose de réduire les délais de détection, équipement ou fermeture.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario annoncé; ces deux points exigent des preuves séparées.

19 — Sensibilité

Le résultat se déplace directement quand l'un des deux termes varie.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Recalculez ce scénario: Avec $t_{\text{available}} = 8 \text{ min}$, $t_{\text{egress}} = 5 \text{ min}$: $M_{\text{evac}} = 8 - 5$?

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec $t_{\text{available}} = 8 \text{ min}$, $t_{\text{egress}} = 5 \text{ min}$: $M_{\text{evac}} = 8 - 5 = 3 \text{ min}$. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

Exercice autonome. Recalculez ce scénario: Avec $t_{\text{available}} = 6 \text{ min}$, $t_{\text{egress}} = 5.2 \text{ min}$: $M_{\text{evac}} = 6 - 5.2$?

Correction autonome — ouvrir après essai

Avec $t_{\text{available}} = 6 \text{ min}$, $t_{\text{egress}} = 5.2 \text{ min}$: $M_{\text{evac}} = 6 - 5.2 = 0.8 \text{ min}$. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

21 — Décision mission

Une marge faible impose de réduire les délais de détection, équipement ou fermeture.

Autonomie d'agent extincteur

$$T_{\text{agent}} = Q_{\text{agent}} / q_{\text{use}}$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $T_{\text{agent}} = Q_{\text{agent}} / q_{\text{use}}$ » dans « Autonomie d'agent extincteur » ?

2 — Intuition sans symboles

Une quantité d'agent ne donne une durée utile qu'en fonction du débit de décharge réellement prévu.

3 — Grandeurs

T_{agent} : durée d'utilisation disponible [min]; Q_{agent} : quantité utilisable d'agent extincteur [kg]; q_{use} : débit moyen d'utilisation [kg/min]

4 — Formule

$$T_{\text{agent}} = Q_{\text{agent}} / q_{\text{use}}$$

5 — Lecture

Lire « $T_{\text{agent}} = Q_{\text{agent}} / q_{\text{use}}$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

T_{agent} : durée d'utilisation disponible [min]; Q_{agent} : quantité utilisable d'agent extincteur [kg]; q_{use} : débit moyen d'utilisation [kg/min]

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses et lettres grecques afin de reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

T_{agent} [min]; Q_{agent} [kg]; q_{use} [kg/min]

9 — Convention

Conserver le même repère, la même base de temps, la même frontière de système et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

La division rapporte une quantité à une capacité, une durée ou une référence cohérente.

11 — Hypothèses

Numérateur et dénominateur doivent décrire le même scénario et le dénominateur doit rester positif.

12 — Contrôle indépendant

Multiplier le résultat par le dénominateur doit reconstruire le numérateur.

13 — Cas numérique

Avec $Q_{\text{agent}} = 12 \text{ kg}$, $q_{\text{use}} = 1.5 \text{ kg/min}$: $T_{\text{agent}} = 12 / 1.5 = 8 \text{ min}$.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La division rapporte une quantité à une capacité, une durée ou une référence cohérente.

15 — Vérification

Multiplier le résultat par le dénominateur doit reconstruire le numérateur.

16 — Estimation mentale

Comparer les ordres de grandeur du numérateur et du dénominateur permet d'anticiper le résultat.

17 — Interprétation

Conserver une réserve pour reprise de feu ou second foyer au lieu de consommer toute la capacité nominale au premier engagement.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario annoncé; ces deux points exigent des preuves séparées.

19 — Sensibilité

Le résultat augmente avec le numérateur et diminue quand le dénominateur augmente.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Recalculez ce scénario: Avec $Q_{\text{agent}} = 8 \text{ kg}$, $q_{\text{use}} = 1 \text{ kg/min}$: $T_{\text{agent}} = 8 / 1$?

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec $Q_{\text{agent}} = 8 \text{ kg}$, $q_{\text{use}} = 1 \text{ kg/min}$: $T_{\text{agent}} = 8 / 1 = 8 \text{ min}$. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

Exercice autonome. Recalculez ce scénario: Avec $Q_{\text{agent}} = 15 \text{ kg}$, $q_{\text{use}} = 2.5 \text{ kg/min}$: $T_{\text{agent}} = 15 / 2.5$?

Correction autonome — ouvrir après essai

Avec $Q_{\text{agent}} = 15 \text{ kg}$, $q_{\text{use}} = 2.5 \text{ kg/min}$: $T_{\text{agent}} = 15 / 2.5 = 6 \text{ min}$. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

21 — Décision mission

Conserver une réserve pour reprise de feu ou second foyer au lieu de consommer toute la capacité nominale au premier engagement.

Marge de places au refuge

$$M_{\text{refuge}} = C_{\text{refuge}} - N_{\text{crew}}$$

1 — Question concrète

Que permet de calculer « $M_{\text{refuge}} = C_{\text{refuge}} - N_{\text{crew}}$ » dans « Marge de places au refuge » ?

2 — Intuition sans symboles

La capacité d'un refuge doit être comparée à l'effectif susceptible de converger vers lui dans le scénario de secours.

3 — Grandeurs

M_{refuge} : places de refuge restantes [places]; C_{refuge} : capacité refuge disponible [places]; N_{crew} : personnes à accueillir [personnes]

4 — Formule

$$M_{\text{refuge}} = C_{\text{refuge}} - N_{\text{crew}}$$

5 — Lecture

Lire « $M_{\text{refuge}} = C_{\text{refuge}} - N_{\text{crew}}$ » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

M_{refuge} : places de refuge restantes [places]; C_{refuge} : capacité refuge disponible [places]; N_{crew} : personnes à accueillir [personnes]

7 — Prononciation

Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses et lettres grecques afin de reconstruire la relation sans voir la page.

8 — Unités

M_{refuge} [places]; C_{refuge} [places]; N_{crew} [personnes]

9 — Convention

Conserver le même repère, la même base de temps, la même frontière de système et la même convention de signe pendant toute la substitution.

10 — Pourquoi cette opération

La soustraction isole une marge ou un écart entre deux états comparables.

11 — Hypothèses

Les termes doivent partager le même repère et la même unité.

12 — Contrôle indépendant

Réadditionner la marge au terme retranché doit reconstruire l'état initial.

13 — Cas numérique

Avec $C_{\text{refuge}} = 8$ places, $N_{\text{crew}} = 6$ personnes: $M_{\text{refuge}} = 8 - 6 = 2$ places.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La soustraction isole une marge ou un écart entre deux états comparables.

15 — Vérification

Réadditionner la marge au terme retranché doit reconstruire l'état initial.

16 — Estimation mentale

Comparer les deux termes permet de prévoir le signe avant calcul.

17 — Interprétation

Prévoir une marge si blessé, visiteur ou place indisponible peut modifier l'effectif réel.

18 — Ce que le résultat ne prouve pas

Le calcul ne prouve ni que les entrées sont exactes ni que le modèle reste valide hors du scénario annoncé; ces deux points exigent des preuves séparées.

19 — Sensibilité

Le résultat se déplace directement quand l'un des deux termes varie.

20 — Exercices guidé et autonome

Exercice guidé. Recalculez ce scénario: Avec $C_{\text{refuge}} = 6$ places, $N_{\text{crew}} = 6$ personnes: $M_{\text{refuge}} = 6 - 6$?

Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec $C_{\text{refuge}} = 6$ places, $N_{\text{crew}} = 6$ personnes: $M_{\text{refuge}} = 6 - 6 = 0$ places. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

Exercice autonome. Recalculez ce scénario: Avec $C_{\text{refuge}} = 12$ places, $N_{\text{crew}} = 9$ personnes: $M_{\text{refuge}} = 12 - 9$?

Correction autonome — ouvrir après essai

Avec $C_{\text{refuge}} = 12$ places, $N_{\text{crew}} = 9$ personnes: $M_{\text{refuge}} = 12 - 9 = 3$ places. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

21 — Décision mission

Prévoir une marge si blessé, visiteur ou place indisponible peut modifier l'effectif réel.

Progression de maîtrise

1. incendie: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
2. dépressurisation: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
3. refuge: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
4. secours intérieur: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
5. Synthèse de « Incendie, dépressurisation, refuge et secours intérieur »: confrontez « incendie » à « dépressurisation »; choisissez le contrôle prioritaire.

Vérification de maîtrise

Validation 42 — incendie, dépressurisation, refuge, secours intérieur. Pour chaque notion: un indice et un contrôle.

Objectifs de maîtrise

- Expliquer comment « Comprendre avant de calculer » se manifeste dans incendie, dépressurisation, refuge et secours intérieur.
- Refaire un calcul ou une estimation utile pour « incendie » et contrôler ses unités.
- Identifier une hypothèse fragile ou un mode dégradé associé à « dépressurisation ».
- Transformer le résultat en décision vérifiable pour « refuge ».

1. Le feu spatial cumule combustion, toxicité et perte de fonction

Dans un volume pressurisé, un feu n'est pas seulement une source de chaleur. Il **produit** fumées et contaminants, peut endommager câbles et conduites et forcer l'équipage à abandonner un compartiment. Détection, avertissement et extinction doivent donc être conçus avec la ventilation et les équipements respiratoires. Un extincteur inaccessible derrière la zone en feu n'est pas une barrière de sûreté réelle.

2. Détecter tôt sans saturer l'équipage de fausses alarmes

Les capteurs doivent repérer fumée, chaleur ou produits de combustion suffisamment tôt, mais un système qui déclenche sans cesse perd sa crédibilité. Les procédures prévoient confirmation rapide, localisation, arrêt de ventilation si nécessaire et protection respiratoire. Une alarme doit dire quoi se passe, où, et quelle première action est attendue.

3. Dépressurisation: localiser, isoler, compter les secondes utiles

Une fuite peut être lente ou rapide. La réponse dépend du volume, du taux de fuite et du temps nécessaire pour fermer une écoutille ou rejoindre un refuge. Les compartiments et portes étanches transforment une grande base en volumes isolables. La mesure de pression différentielle et le suivi du débit d'appoint aident à distinguer une fuite réelle d'un capteur défaillant.

4. Refuge: survivre pendant le diagnostic

Un refuge doit disposer d'air, de contrôle du CO₂, d'eau, de communication, d'énergie et de moyens médicaux pour la durée prévue. Son intérêt est de donner du temps: vérifier la zone sinistrée, décider d'une réparation ou attendre une fenêtre de retour. Le refuge n'est donc pas une simple pièce solide; c'est un mini-système de **survie** capable d'être autonome.

5. Évacuation interne et prise en charge d'un blessé

Un équipier peut être incapable de se déplacer seul. Les chemins, ouvertures et équipements doivent permettre transport assisté, civière ou extraction en combinaison. Les procédures attribuent rôles et points de rassemblement afin qu'une personne ne soit pas oubliée dans un module isolé.

6. Après le feu: contamination, remise en service et preuve

Éteindre la flamme ne suffit pas. Il faut mesurer l'atmosphère, inspecter câbles, matériaux et structures, identifier l'origine et décider quels équipements peuvent être remis sous tension. La restauration doit être progressive et documentée. Un composant partiellement endommagé peut devenir la cause du prochain incident.

7. Détection: un capteur n'est pas une décision

Un détecteur de fumée, de pression ou de température ne doit jamais être confondu avec le diagnostic complet de l'événement. Une variation de pression peut provenir d'une fuite, d'un cycle de sas ou d'une manœuvre volontaire; des particules peuvent déclencher un détecteur optique sans qu'un foyer soit établi. La logique d'urgence doit combiner plusieurs indices, les dater et les relier au contexte opérationnel. Une alarme utile indique quoi a été détecté, où, depuis combien de temps, quelles confirmations existent et quelle action automatique a déjà été prise. Les procédures doivent aussi prévoir le cas où les capteurs se contredisent, car ouvrir une porte ou couper une ventilation au mauvais moment peut créer un danger supplémentaire.

8. Isolement: arrêter la propagation sans piéger l'équipage

Fermer une cloison ou une vanne paraît simple jusqu'au moment où des personnes, de l'énergie, de l'air ou une route d'évacuation dépendent du passage. L'isolement doit être conçu comme une séquence: identifier le compartiment, confirmer la position des occupants, basculer les fonctions indispensables, fermer les chemins de propagation et vérifier que la zone saine reste stable. La dépressurisation ajoute une contrainte: le différentiel de pression peut rendre une porte impossible à ouvrir sans égalisation. Les voies de secours doivent donc être cohérentes avec la physique des pressions et la capacité réelle du refuge.

9. Reconstitution après incident: récupérer sans effacer les preuves

Après extinction ou colmatage, la priorité n'est pas de remettre immédiatement le secteur en service. Il faut vérifier stabilité de la pression, produits toxiques, température, **intégrité** électrique et dommages cachés. Les journaux d'alarmes, états de vannes, mesures de capteurs et pièces endommagées doivent être conservés pour l'enquête. Sur une colonie distante, cette reconstitution remplace en partie l'expertise externe immédiate. Elle doit déboucher sur une action de **configuration**: inspection de composants similaires, modification de **procédure**, nouvelle protection ou changement d'entraînement. Le retour à la normale n'est donc pas la fin de l'incident, mais la dernière étape d'une boucle d'apprentissage.

10. Exemple calculé: temps avant seuil de pression

Un module de 80 m³ perd en **moyenne** 0,8 % de sa pression par minute. Dans un modèle simplifié où le pourcentage est appliqué à la pression initiale, perdre 10 % prend $10/0,8 = 12,5$ min. Si l'équipe a besoin de 6 min pour confirmer, équiper une personne et fermer le compartiment, la **marge** temporelle n'est que de 6,5 min. Le scénario montre pourquoi localisation et isolement doivent être rapides.

Étude de cas calculée: dimensionner une réserve d'oxygène de refuge

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Un refuge doit soutenir quatre personnes pendant deux jours. Pour l'exercice, on retient une consommation d'**oxygène** $q = 0,84$ kg par personne et par jour, puis une marge de 30 %. Cette valeur sert uniquement au calcul pédagogique et doit être remplacée par la valeur de conception retenue par la mission.

On note n le nombre de personnes; q la masse d'oxygène par personne et par jour, en kg/(personne·jour); d la durée en jours; m la marge, sans unité; M la masse d'oxygène en kg.

$M = n \times q \times d = 4 \times 0,84 \times 2 = 6,72$ kg. Avec $m = 0,30$: $M_{\text{plan}} = 6,72 \times 1,30 = 8,736$ kg, soit environ 8,74 kg.

Ce résultat n'est qu'un premier bilan de consommable. Un vrai refuge doit aussi traiter pression, stockage, régulation, CO₂, **humidité**, température, fuites et possibilité de rester isolé plus longtemps que prévu.

11. Exercice

Écrire la procédure des cinq premières minutes après détection de fumée dans l'atelier alors qu'une personne est absente du point de rassemblement. Préciser qui confirme l'alarme, qui protège l'atmosphère, qui localise la personne et dans quelles conditions une recherche est abandonnée.

12. Solution raisonnée

L'ordre robuste consiste à confirmer l'alarme avec plusieurs indices, localiser les occupants, préserver une voie de refuge, isoler ventilation et énergie lorsque cela réduit le danger, puis fermer le compartiment et vérifier la stabilité des zones voisines. Fermer toutes les portes sans vérifier la position de l'équipage ou le différentiel de pression peut créer un nouveau danger.

13. Mini-projet de validation

Construire une analyse d'urgence croisant incendie et fuite: détection, barrières, équipements respiratoires, isolation, refuge, blessé, communication, remise en service et critères de fin d'alerte.

Sources primaires et passerelles

- NASA-STD-3001 Vol. 2 — Fire protection
- NASA Human Spaceflight Standards

Matrice de parité FR ↔ EN

Temps jusqu'au seuil de pression	Time to pressure threshold
Autonomie d'oxygène du refuge	Refuge oxygen endurance
Masse d'oxygène planifiée	Planned oxygen mass
Marge d'évacuation interne	Internal evacuation margin
Autonomie d'agent extincteur	Extinguishing-agent endurance
Marge de places au refuge	Refuge-place margin