

# Mission Control, procédures et opérations avec délai

Transformer une architecture technique en mission exploitable: règles de vol, télémesure, procédures, simulations, passage de consigne et décisions lorsque Houston ne peut plus répondre en temps réel.

## Comprendre le problème avant les équations

Question de départ — Mission Control, procédures et opérations avec délai: comment « Comprendre avant de calculer » agit-il sur « procédure », et quel repère issu de « console » permet de vérifier la décision?

**Intuition.** Une anomalie survient sur Mars à 12 minutes-lumière de la Terre. L'équipage doit agir immédiatement tandis que Mission Control construit une compréhension plus lente mais plus large.

1

### Comprendre avant de calculer

Une anomalie survient sur Mars à 12 minutes-lumière de la Terre.

2

### procédure

Définition sans prérequis.

3

### console

Définition sans prérequis.

**Repère concret.** Une anomalie survient sur Mars à 12 minutes-lumière de la Terre.

- Comprendre avant de calculer — Une anomalie survient sur Mars à 12 minutes-lumière de la Terre.
- procédure — Définition sans prérequis.
- console — Définition sans prérequis.

Ce module s'appuie sur modules 00 à 28 recommandés selon le sujet, mais il reste lisible isolément: les symboles déterminants pour mission control, procédures et opérations avec délai sont explicités au premier calcul.

RAMPE ZÉRO PRÉREQUIS · MODULE 33

## Comprendre avant de calculer

Une anomalie survient sur Mars à 12 minutes-lumière de la Terre. L'équipage doit agir immédiatement tandis que Mission Control construit une compréhension plus lente mais plus large.

Progression du module — procédure; console; anomalie; autorité de décision.

### procédure

**Définition sans prérequis.** Une [procédure](#) décrit une séquence d'actions, de vérifications et de décisions pour atteindre un objectif de façon reproductible.

**Scène concrète.** Une procédure de fuite peut demander confirmation de capteurs, isolement de zones, comptage équipage et décision de [refuge](#).

**Contrôle mental.** Simulez une étape impossible ou une information manquante: la [procédure](#) doit donner un critère d'arrêt, une branche ou une escalade plutôt que pousser l'opérateur à continuer aveuglément.

**Piège à éviter.** Une procédure n'est pas un substitut au jugement: elle doit indiquer ses conditions d'application, limites et points d'arrêt.

**Pourquoi cela compte en mission.** Dans ce module, une erreur sur « [procédure](#) » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais [état](#) ou laisser deux niveaux de décision se contredire pendant une anomalie.

### Exercice guidé — procédure

**Situation à reconnaître.** Une procédure de fuite peut demander confirmation de capteurs, isolement de zones, comptage équipage et décision de refuge.

**Vérification demandée.** Simulez une étape impossible ou une information manquante: la procédure doit donner un critère d'arrêt, une branche ou une escalade plutôt que pousser l'opérateur à continuer aveuglément.

**Erreur à écarter.** Une procédure n'est pas un substitut au jugement: elle doit indiquer ses conditions d'application, limites et points d'arrêt.

## Corrigé raisonné

Sens précis

Une procédure décrit une séquence d'actions, de vérifications et de décisions pour atteindre un objectif de façon reproductible.

Test du cas

Simulez une étape impossible ou une information manquante: la procédure doit donner un critère d'arrêt, une branche ou une escalade plutôt que pousser l'opérateur à continuer aveuglément.

Piège exclu

Une procédure n'est pas un substitut au jugement: elle doit indiquer ses conditions d'application, limites et points d'arrêt.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « procédure » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais état ou laisser deux niveaux de décision se contredire pendant une anomalie.

Quantification

procédure: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

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

## console

**Définition sans prérequis.** Une [console](#) de contrôle est une fonction opérationnelle avec responsabilités, données, outils et autorité définies; ce n'est pas seulement un écran.

**Scène concrète.** Un responsable propulsion suit pressions, températures, commandes et limites tandis qu'un directeur de vol coordonne l'ensemble.

**Contrôle mental.** Chaque alarme affichée doit conduire à une information ou une action; une [console](#) saturée d'indicateurs non hiérarchisés réduit la [conscience de situation](#) au lieu de l'améliorer.

**Piège à éviter.** Multiplier les consoles sans interfaces de décision claires peut ralentir la réponse au lieu de l'améliorer.

**Pourquoi cela compte en mission.** Dans ce module, une erreur sur « [console](#) » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais état ou laisser deux niveaux de décision se contredire pendant une anomalie.

## Exercice guidé — console

**Situation à reconnaître.** Un responsable propulsion suit pressions, températures, commandes et limites tandis qu'un directeur de vol coordonne l'ensemble.

**Vérification demandée.** Chaque alarme affichée doit conduire à une information ou une action; une console saturée d'indicateurs non hiérarchisés réduit la conscience de situation au lieu de l'améliorer.

**Erreur à écarter.** Multiplier les consoles sans interfaces de décision claires peut ralentir la réponse au lieu de l'améliorer.

## Corrigé raisonné

Sens précis

Une console de contrôle est une fonction opérationnelle avec responsabilités, données, outils et autorité définies; ce n'est pas seulement un écran.

Test du cas

Chaque alarme affichée doit conduire à une information ou une action; une console saturée d'indicateurs non hiérarchisés réduit la conscience de situation au lieu de l'améliorer.

Piège exclu

Multiplier les consoles sans interfaces de décision claires peut ralentir la réponse au lieu de l'améliorer.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « console » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais état ou laisser deux niveaux de décision se contredire pendant une anomalie.

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

Quantification

console: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

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

## anomalie

**Définition sans prérequis.** Une [anomalie](#) est un écart par rapport au comportement attendu qui mérite investigation ou action. Elle peut être bénigne, symptomatique ou précurseur d'une panne.

**Scène concrète.** Une [température](#) en hausse peut être une vraie dégradation, un changement de mode normal ou un capteur erroné.

**Contrôle mental.** Comparez l'état observé à la plage nominale et aux capteurs indépendants: une seule valeur aberrante peut être une panne de mesure plutôt qu'une panne du [système](#).

**Piège à éviter.** Traiter chaque alarme comme une panne confirmée entraîne des actions inutiles; ignorer un signal faible peut laisser une panne se développer.

**Pourquoi cela compte en mission.** Dans ce module, une erreur sur « [anomalie](#) » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais état ou laisser deux niveaux de décision se contredire pendant une anomalie.

## Exercice guidé — anomalie

**Situation à reconnaître.** Une température en hausse peut être une vraie dégradation, un changement de mode normal ou un capteur erroné.

**Vérification demandée.** Comparez l'état observé à la plage nominale et aux capteurs indépendants: une seule valeur aberrante peut être une panne de mesure plutôt qu'une panne du système.

**Erreur à écarter.** Traiter chaque alarme comme une panne confirmée entraîne des actions inutiles; ignorer un signal faible peut laisser une panne se développer.

## Corrigé raisonné

Sens précis

Une anomalie est un écart par rapport au comportement attendu qui mérite investigation ou action. Elle peut être bénigne, symptomatique ou précurseur d'une panne.

Test du cas

Comparez l'état observé à la plage nominale et aux capteurs indépendants: une seule valeur aberrante peut être une panne de mesure plutôt qu'une panne du système.

Piège exclu

Traiter chaque alarme comme une panne confirmée entraîne des actions inutiles; ignorer un signal faible peut laisser une panne se développer.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « [anomalie](#) » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais état ou laisser deux niveaux de décision se contredire pendant une anomalie.

Quantification

anomalie: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

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

## autorité de décision

**Définition sans prérequis.** L'[autorité de décision](#) définit qui peut engager une action, arrêter une opération ou accepter un risque dans une situation donnée.

**Scène concrète.** Avec un long délai Terre-Mars, certaines autorités doivent être déléguées à l'équipage et encadrées par des règles préalables.

**Contrôle mental.** Posez un cas urgent pendant une coupure de communication: l'équipage doit savoir qui peut décider, jusqu'à quelle limite et quand informer l'échelon supérieur.

**Piège à éviter.** Une chaîne hiérarchique ambiguë est particulièrement dangereuse lorsque les communications sont interrompues ou retardées.

**Pourquoi cela compte en mission.** Dans ce module, une erreur sur « [autorité de décision](#) » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais état ou laisser deux niveaux de décision se contredire pendant une anomalie.

## Exercice guidé — autorité de décision

**Situation à reconnaître.** Avec un long délai Terre-Mars, certaines autorités doivent être déléguées à l'équipage et encadrées par des règles préalables.

**Vérification demandée.** Posez un cas urgent pendant une coupure de communication: l'équipage doit savoir qui peut décider, jusqu'à quelle limite et quand informer l'échelon supérieur.

**Erreur à écarter.** Une chaîne hiérarchique ambiguë est particulièrement dangereuse lorsque les communications sont interrompues ou retardées.

## Corrigé raisonné

Sens précis

L'autorité de décision définit qui peut engager une action, arrêter une opération ou accepter un risque dans une situation donnée.

Test du cas

Posez un cas urgent pendant une coupure de communication: l'équipage doit savoir qui peut décider, jusqu'à quelle limite et quand informer l'échelon supérieur.

Piège exclu

Une chaîne hiérarchique ambiguë est particulièrement dangereuse lorsque les communications sont interrompues ou retardées.

#### Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « autorité de décision » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais état ou laisser deux niveaux de décision se contredire pendant une anomalie.

#### Quantification

autorité de décision: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

#### Vérification

autorité de décision: confronter conclusion, contrôle et piège de la carte.

## Étude intégrée — Mission Control, procédures et opérations avec délai

**Situation à analyser.** Une anomalie survient sur Mars à 12 minutes-lumière de la Terre. L'équipage doit agir immédiatement tandis que Mission Control construit une compréhension plus lente mais plus large.

- **procédure:** Une procédure de fuite peut demander confirmation de capteurs, isolement de zones, comptage équipage et décision de refuge. Contrôle attendu: Simulez une étape impossible ou une information manquante: la procédure doit donner un critère d'arrêt, une branche ou une escalade plutôt que pousser l'opérateur à continuer aveuglément.
- **console:** Un responsable propulsion suit pressions, températures, commandes et limites tandis qu'un directeur de vol coordonne l'ensemble. Contrôle attendu: Chaque alarme affichée doit conduire à une information ou une action; une console saturée d'indicateurs non hiérarchisés réduit la conscience de situation au lieu de l'améliorer.
- **anomalie:** Une température en hausse peut être une vraie dégradation, un changement de mode normal ou un capteur erroné. Contrôle attendu: Comparez l'état observé à la plage nominale et aux capteurs indépendants: une seule valeur aberrante peut être une panne de mesure plutôt qu'une panne du système.
- **autorité de décision:** Avec un long délai Terre-Mars, certaines autorités doivent être déléguées à l'équipage et encadrées par des règles préalables. Contrôle attendu: Posez un cas urgent pendant une coupure de communication: l'équipage doit savoir qui peut décider, jusqu'à quelle limite et quand informer l'échelon supérieur.

Le diagnostic ne doit pas confondre « procédure » et « console ». Le premier se reconnaît ici par le cas suivant: Une procédure de fuite peut demander confirmation de capteurs, isolement de zones, comptage équipage et décision de refuge. Le second doit être contrôlé autrement: Chaque alarme affichée doit conduire à une information ou une action; une console saturée d'indicateurs non hiérarchisés réduit la conscience de situation au lieu de l'améliorer.

Une seconde vérification croise « anomalie » et « autorité de décision ». Gardez comme alerte « Traiter chaque alarme comme une panne confirmée entraîne des actions inutiles; ignorer un signal faible peut laisser une panne se développer. »; pour « autorité de décision », utilisez plutôt ce test: Posez un cas urgent pendant une coupure de communication: l'équipage doit savoir qui peut décider, jusqu'à quelle limite et quand informer l'échelon supérieur.

### Exercice de synthèse

Dans la situation de « Mission Control, procédures et opérations avec délai », classez les indices selon « procédure » (Simulez une étape impossible ou une information manquante: la procédure doit donner un critère d'arrêt, une branche ou une escalade plutôt que pousser l'opérateur à continuer aveuglément.), « console » (Chaque alarme affichée doit conduire à une information ou une action; une console saturée d'indicateurs non hiérarchisés réduit la conscience de situation au lieu de l'améliorer.), « anomalie » (Comparez l'état observé à la plage nominale et aux capteurs indépendants: une seule valeur aberrante peut être une panne de mesure plutôt qu'une panne du système.), « autorité de décision » (Posez un cas urgent pendant une coupure de communication: l'équipage doit savoir qui peut décider, jusqu'à quelle limite et quand informer l'échelon supérieur.) Décision suspendue si un contrôle échoue.

### Corrigé de synthèse

Pour procédure, Dans ce module, une erreur sur « procédure » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais état ou laisser deux niveaux de décision se contredire pendant une anomalie. Le garde-fou principal est: Une procédure n'est pas un substitut au jugement: elle doit indiquer ses conditions d'application, limites et points d'arrêt. Pour console, Dans ce module, une erreur sur « console » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais état ou laisser deux niveaux de décision se contredire pendant une anomalie. Le garde-fou principal est: Multiplier les consoles sans interfaces de décision claires peut ralentir la réponse au lieu de l'améliorer. Pour anomalie, Dans ce module, une erreur sur « anomalie » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais état ou laisser deux niveaux de décision se contredire pendant une anomalie. Le garde-fou principal est: Traiter chaque alarme comme une panne confirmée entraîne des actions inutiles; ignorer un signal faible peut laisser une panne se développer. Pour autorité de décision, Dans ce module, une erreur sur « autorité de décision » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais état ou laisser deux niveaux de décision se contredire pendant une anomalie. Le garde-fou principal est: Une chaîne hiérarchique ambiguë est particulièrement dangereuse lorsque les communications sont interrompues ou retardées.

#### Données du cas

Exercice de synthèse — Dans la situation de « Mission Control, procédures et opérations avec délai », classez les indices selon « procédure » (Simulez une étape impossible ou une information manquante: la procédure doit donner un critère d'arrêt, une branche ou une escalade plutôt que pousser l'opérateur à continuer aveuglément.), « console » (Chaque alarme affichée doit conduire à une information ou une action; une console saturée d'indicateurs non hiérarchisés réduit la conscience de situation au lieu de l'améliorer.), « anomalie » (Co

#### Raisonnement

Corrigé de synthèse Pour procédure, Dans ce module, une erreur sur « procédure » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais état ou laisser deux niveaux de décision se contredire pendant une anomalie. Le garde-fou principal est: Une procédure n'est pas un substitut au jugement: elle doit indiquer ses conditions d'application, limites et points d'arrêt. Pour console, Dans ce module, une erreur sur « console » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais état ou laisser deux niveaux

de décision se contredire pendant une anomalie. Le garde-fou principal est: Multiplier les consoles sans interfaces de décision claires peut ralentir la réponse au lieu de l'améliorer. Pour anomalie, Dans ce module, une erreur sur « anomalie » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais état ou laisser deux niveaux de décision se contredire pendant une anomalie. Le garde-fou pri

#### Résultat

Corrigé de synthèse Pour procédure, Dans ce module, une erreur sur « procédure » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais état ou laisser deux niveaux de décision se contredire pendant une anomalie.

#### Contrôle

Le garde-fou principal est: Une procédure n'est pas un substitut au jugement: elle doit indiquer ses conditions d'application, limites et points d'arrêt.

#### Interprétation

Pour autorité de décision, Dans ce module, une erreur sur « autorité de décision » peut faire exécuter la bonne procédure dans le mauvais état ou laisser deux niveaux de décision se contredire pendant une anomalie.

## 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.

### Marge temporelle de procédure

$t\_margin = t\_window - t\_proc$

#### 1 — Question concrète

Que permet de calculer «  $t\_margin = t\_window - t\_proc$  » dans « Marge temporelle de procédure » ?

#### 2 — Intuition sans symboles

La marge compare le temps disponible au temps nécessaire pour exécuter correctement la procédure.

#### 3 — Grandeurs

$t\_margin$ : marge temporelle [min];  $t\_window$ : fenêtre disponible [min];  $t\_proc$ : durée procédure [min]

#### 4 — Formule

$t\_margin = t\_window - t\_proc$

#### 5 — Lecture

Lire «  $t\_margin = t\_window - t\_proc$  » en nommant chaque opération et chaque indice.

#### 6 — Symboles et sens

$t\_margin$ : marge temporelle [min];  $t\_window$ : fenêtre disponible [min];  $t\_proc$ : durée procédure [min]

#### 7 — Prononciation

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

#### 8 — Unités

$t\_margin$  [min];  $t\_window$  [min];  $t\_proc$  [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  $t\_window = 30$  min,  $t\_proc = 22$  min:  $t\_margin = 30 - 22 = 8$  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 négative exige de modifier la procédure ou la séquence avant l'événement.

#### 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  $t\_window = 20$  min,  $t\_proc = 18$  min:  $t\_margin = 20 - 18$  ?

[Correction guidée détaillée — ouvrir après essai](#)

Avec  $t_{\text{window}} = 20$  min,  $t_{\text{proc}} = 18$  min:  $t_{\text{margin}} = 20 - 18 = 2$  min. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

**Exercice autonome.** Recalculez ce scénario: Avec  $t_{\text{window}} = 15$  min,  $t_{\text{proc}} = 17$  min:  $t_{\text{margin}} = 15 - 17$  ?

#### Correction autonome — ouvrir après essai

Avec  $t_{\text{window}} = 15$  min,  $t_{\text{proc}} = 17$  min:  $t_{\text{margin}} = 15 - 17 = -2$  min. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

21 — Décision mission

Une marge négative exige de modifier la procédure ou la séquence avant l'événement.

## Boucle de clarification différée

$t_{\text{clarify}} = 2 \times t_{\text{ow}} + t_{\text{analysis}}$

1 — Question concrète

Que permet de calculer «  $t_{\text{clarify}} = 2 \times t_{\text{ow}} + t_{\text{analysis}}$  » dans « Boucle de clarification différée » ?

2 — Intuition sans symboles

Une question envoyée à Terre consomme un aller, un retour et du temps d'analyse avant de produire une réponse exploitable.

3 — Grandeurs

$t_{\text{clarify}}$ : durée d'une boucle de clarification [min];  $t_{\text{ow}}$ : délai aller simple [min];  $t_{\text{analysis}}$ : temps d'analyse local [min]

4 — Formule

$t_{\text{clarify}} = 2 \times t_{\text{ow}} + t_{\text{analysis}}$

5 — Lecture

Lire «  $t_{\text{clarify}} = 2 \times t_{\text{ow}} + t_{\text{analysis}}$  » en nommant chaque opération et chaque indice.

6 — Symboles et sens

$t_{\text{clarify}}$ : durée d'une boucle de clarification [min];  $t_{\text{ow}}$ : délai aller simple [min];  $t_{\text{analysis}}$ : temps d'analyse local [min]

7 — Prononciation

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

8 — Unités

$t_{\text{clarify}}$  [min];  $t_{\text{ow}}$  [min];  $t_{\text{analysis}}$  [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

L'addition rassemble des délais ou contributions qui s'accumulent dans la même chaîne opérationnelle.

11 — Hypothèses

Les contributions doivent être exprimées dans une unité commune et sur la même frontière de système.

12 — Contrôle indépendant

Retirer un terme du total doit restituer la somme des autres.

13 — Cas numérique

Avec  $t_{\text{ow}} = 20$  min,  $t_{\text{analysis}} = 5$  min:  $t_{\text{clarify}} = 2 \times 20 + 5 = 45$  min.

14 — Pourquoi le calcul fonctionne

L'addition rassemble des délais ou contributions qui s'accumulent dans la même chaîne opérationnelle.

15 — Vérification

Retirer un terme du total doit restituer la somme des autres.

16 — Estimation mentale

Additionner d'abord les termes dominants donne un ordre de grandeur robuste.

17 — Interprétation

Pré-déléguer les décisions dont la fenêtre est plus courte que cette boucle.

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 total varie linéairement avec chaque terme si les autres restent constants.

20 — Exercices guidé et autonome

**Exercice guidé.** Recalculez ce scénario: Avec  $t_{\text{ow}} = 8$  min,  $t_{\text{analysis}} = 4$  min:  $t_{\text{clarify}} = 2 \times 8 + 4$  ?

#### Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec  $t_{\text{ow}} = 8$  min,  $t_{\text{analysis}} = 4$  min:  $t_{\text{clarify}} = 2 \times 8 + 4 = 20$  min. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

**Exercice autonome.** Recalculez ce scénario: Avec  $t_{\text{ow}} = 3$  min,  $t_{\text{analysis}} = 2$  min:  $t_{\text{clarify}} = 2 \times 3 + 2$  ?

### Correction autonome — ouvrir après essai

Avec  $t_{ow} = 3 \text{ min}$ ,  $t_{analysis} = 2 \text{ min}$ :  $t_{clarify} = 2 \times 3 + 2 = 8 \text{ min}$ . La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

#### 21 — Décision mission

Pré-déléguer les décisions dont la fenêtre est plus courte que cette boucle.

## Volume de télémesure

$$D_{tm} = R_{tm} \times t_{window}$$

#### 1 — Question concrète

Que permet de calculer «  $D_{tm} = R_{tm} \times t_{window}$  » dans « Volume de télémesure » ?

#### 2 — Intuition sans symboles

Le volume produit est le débit de télémesure maintenu pendant la fenêtre observée.

#### 3 — Grandeurs

$D_{tm}$ : volume de télémesure [Mb];  $R_{tm}$ : débit télémesure [Mb/s];  $t_{window}$ : durée [s]

#### 4 — Formule

$$D_{tm} = R_{tm} \times t_{window}$$

#### 5 — Lecture

Lire «  $D_{tm} = R_{tm} \times t_{window}$  » en nommant chaque opération et chaque indice.

#### 6 — Symboles et sens

$D_{tm}$ : volume de télémesure [Mb];  $R_{tm}$ : débit télémesure [Mb/s];  $t_{window}$ : durée [s]

#### 7 — Prononciation

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

#### 8 — Unités

$D_{tm}$  [Mb];  $R_{tm}$  [Mb/s];  $t_{window}$  [s]

#### 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 multiplication transforme un taux, une fraction ou une grandeur spécifique en quantité totale.

#### 11 — Hypothèses

Les facteurs doivent appartenir au même scénario et leurs unités doivent se combiner correctement.

#### 12 — Contrôle indépendant

Diviser le résultat par un facteur non nul doit retrouver le produit des autres.

#### 13 — Cas numérique

Avec  $R_{tm} = 2 \text{ Mb/s}$ ,  $t_{window} = 300 \text{ s}$ :  $D_{tm} = 2 \times 300 = 600 \text{ Mb}$ .

#### 14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La multiplication transforme un taux, une fraction ou une grandeur spécifique en quantité totale.

#### 15 — Vérification

Diviser le résultat par un facteur non nul doit retrouver le produit des autres.

#### 16 — Estimation mentale

Estimer séparément chaque facteur donne rapidement l'ordre de grandeur du produit.

#### 17 — Interprétation

Vérifier stockage et lien descendant avant d'augmenter le nombre de paramètres ou leur cadence.

#### 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

Une variation relative d'un facteur se transmet directement au produit si les autres restent constants.

#### 20 — Exercices guidé et autonome

**Exercice guidé.** Recalculez ce scénario: Avec  $R_{tm} = 5 \text{ Mb/s}$ ,  $t_{window} = 120 \text{ s}$ :  $D_{tm} = 5 \times 120$  ?

### Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec  $R_{tm} = 5 \text{ Mb/s}$ ,  $t_{window} = 120 \text{ s}$ :  $D_{tm} = 5 \times 120 = 600 \text{ Mb}$ . La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

**Exercice autonome.** Recalculez ce scénario: Avec  $R_{tm} = 1.5 \text{ Mb/s}$ ,  $t_{window} = 600 \text{ s}$ :  $D_{tm} = 1.5 \times 600$  ?

### Correction autonome — ouvrir après essai

Avec  $R_{tm} = 1.5 \text{ Mb/s}$ ,  $t_{window} = 600 \text{ s}$ :  $D_{tm} = 1.5 \times 600 = 900 \text{ Mb}$ . La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

## Charge de travail procédurale

$$H_{\text{work}} = n_{\text{steps}} \times t_{\text{step}}$$

### 1 — Question concrète

Que permet de calculer «  $H_{\text{work}} = n_{\text{steps}} \times t_{\text{step}}$  » dans « Charge de travail procédurale » ?

### 2 — Intuition sans symboles

Le nombre d'actions et leur durée moyenne donnent une première estimation de la charge opérateur.

### 3 — Grandeurs

$H_{\text{work}}$ : charge totale [min];  $n_{\text{steps}}$ : nombre d'étapes [step];  $t_{\text{step}}$ : temps moyen par étape [min]

### 4 — Formule

$$H_{\text{work}} = n_{\text{steps}} \times t_{\text{step}}$$

### 5 — Lecture

Lire «  $H_{\text{work}} = n_{\text{steps}} \times t_{\text{step}}$  » en nommant chaque opération et chaque indice.

### 6 — Symboles et sens

$H_{\text{work}}$ : charge totale [min];  $n_{\text{steps}}$ : nombre d'étapes [step];  $t_{\text{step}}$ : temps moyen par étape [min]

### 7 — Prononciation

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

### 8 — Unités

$H_{\text{work}}$  [min];  $n_{\text{steps}}$  [step];  $t_{\text{step}}$  [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 multiplication transforme un taux, une fraction ou une grandeur spécifique en quantité totale.

### 11 — Hypothèses

Les facteurs doivent appartenir au même scénario et leurs unités doivent se combiner correctement.

### 12 — Contrôle indépendant

Diviser le résultat par un facteur non nul doit retrouver le produit des autres.

### 13 — Cas numérique

Avec  $n_{\text{steps}} = 18$  step,  $t_{\text{step}} = 1.5$  min:  $H_{\text{work}} = 18 \times 1.5 = 27$  min.

### 14 — Pourquoi le calcul fonctionne

La multiplication transforme un taux, une fraction ou une grandeur spécifique en quantité totale.

### 15 — Vérification

Diviser le résultat par un facteur non nul doit retrouver le produit des autres.

### 16 — Estimation mentale

Estimer séparément chaque facteur donne rapidement l'ordre de grandeur du produit.

### 17 — Interprétation

Si la charge approche la fenêtre totale, simplifier ou répartir les tâches avant l'opération.

### 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

Une variation relative d'un facteur se transmet directement au produit si les autres restent constants.

### 20 — Exercices guidé et autonome

**Exercice guidé.** Recalculez ce scénario: Avec  $n_{\text{steps}} = 30$  step,  $t_{\text{step}} = 0.8$  min:  $H_{\text{work}} = 30 \times 0.8$  ?

#### Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec  $n_{\text{steps}} = 30$  step,  $t_{\text{step}} = 0.8$  min:  $H_{\text{work}} = 30 \times 0.8 = 24$  min. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

**Exercice autonome.** Recalculez ce scénario: Avec  $n_{\text{steps}} = 12$  step,  $t_{\text{step}} = 2$  min:  $H_{\text{work}} = 12 \times 2$  ?

#### Correction autonome — ouvrir après essai

Avec  $n_{\text{steps}} = 12$  step,  $t_{\text{step}} = 2$  min:  $H_{\text{work}} = 12 \times 2 = 24$  min. La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

### 21 — Décision mission

Si la charge approche la fenêtre totale, simplifier ou répartir les tâches avant l'opération.

## Ratio de préparation

$$R_{\text{ready}} = n_{\text{ready}} / n_{\text{required}}$$

### 1 — Question concrète

Que permet de calculer «  $R_{\text{ready}} = n_{\text{ready}} / n_{\text{required}}$  » dans « Ratio de préparation » ?

### 2 — Intuition sans symboles

La préparation compare les éléments réellement prêts à ceux exigés par la configuration de mission.

### 3 — Grandeurs

$R_{\text{ready}}$ : ratio de préparation [sans dimension];  $n_{\text{ready}}$ : éléments prêts [item];  $n_{\text{required}}$ : éléments requis [item]

### 4 — Formule

$$R_{\text{ready}} = n_{\text{ready}} / n_{\text{required}}$$

### 5 — Lecture

Lire «  $R_{\text{ready}} = n_{\text{ready}} / n_{\text{required}}$  » en nommant chaque opération et chaque indice.

### 6 — Symboles et sens

$R_{\text{ready}}$ : ratio de préparation [sans dimension];  $n_{\text{ready}}$ : éléments prêts [item];  $n_{\text{required}}$ : éléments requis [item]

### 7 — Prononciation

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

### 8 — Unités

$R_{\text{ready}}$  [sans dimension];  $n_{\text{ready}}$  [item];  $n_{\text{required}}$  [item]

### 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  $n_{\text{ready}} = 18$  item,  $n_{\text{required}} = 20$  item:  $R_{\text{ready}} = 18 / 20 = 0.9$ .

### 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 pas franchir un gate critique si des éléments requis restent non prêts sans dérogation explicite.

### 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  $n_{\text{ready}} = 25$  item,  $n_{\text{required}} = 25$  item:  $R_{\text{ready}} = 25 / 25$  ?

#### Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec  $n_{\text{ready}} = 25$  item,  $n_{\text{required}} = 25$  item:  $R_{\text{ready}} = 25 / 25 = 1$ . La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

**Exercice autonome.** Recalculez ce scénario: Avec  $n_{\text{ready}} = 14$  item,  $n_{\text{required}} = 16$  item:  $R_{\text{ready}} = 14 / 16$  ?

#### Correction autonome — ouvrir après essai

Avec  $n_{\text{ready}} = 14$  item,  $n_{\text{required}} = 16$  item:  $R_{\text{ready}} = 14 / 16 = 0.875$ . La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

### 21 — Décision mission

Ne pas franchir un gate critique si des éléments requis restent non prêts sans dérogation explicite.

## Complétude de passation

$$C_{\text{handover}} = n_{\text{confirmed}} / n_{\text{items}}$$

- 1 — Question concrète  
Que permet de calculer «  $C\_handover = n\_confirmed / n\_items$  » dans « Complétude de passation » ?
- 2 — Intuition sans symboles  
Une passation fiable vérifie que les éléments critiques ont été explicitement reçus et compris.
- 3 — Grandeurs  
 $C\_handover$ : complétude de passation [sans dimension];  $n\_confirmed$ : éléments confirmés [item];  $n\_items$ : éléments à transmettre [item]
- 4 — Formule  
 $C\_handover = n\_confirmed / n\_items$
- 5 — Lecture  
Lire «  $C\_handover = n\_confirmed / n\_items$  » en nommant chaque opération et chaque indice.
- 6 — Symboles et sens  
 $C\_handover$ : complétude de passation [sans dimension];  $n\_confirmed$ : éléments confirmés [item];  $n\_items$ : éléments à transmettre [item]
- 7 — Prononciation  
Dire explicitement les indices, puissances, parenthèses et lettres grecques afin de reconstruire la relation sans voir la page.
- 8 — Unités  
 $C\_handover$  [sans dimension];  $n\_confirmed$  [item];  $n\_items$  [item]
- 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  $n\_confirmed = 28$  item,  $n\_items = 30$  item:  $C\_handover = 28 / 30 = 0.9333$ .
- 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  
Traiter toute lacune de passation avant que l'équipe sortante ne devienne indisponible.
- 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  $n\_confirmed = 20$  item,  $n\_items = 20$  item:  $C\_handover = 20 / 20$  ?

#### Correction guidée détaillée — ouvrir après essai

Avec  $n\_confirmed = 20$  item,  $n\_items = 20$  item:  $C\_handover = 20 / 20 = 1$ . La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

**Exercice autonome.** Recalculez ce scénario: Avec  $n\_confirmed = 15$  item,  $n\_items = 18$  item:  $C\_handover = 15 / 18$  ?

#### Correction autonome — ouvrir après essai

Avec  $n\_confirmed = 15$  item,  $n\_items = 18$  item:  $C\_handover = 15 / 18 = 0.8333$ . La décision doit ensuite être confrontée aux marges et hypothèses du module.

- 21 — Décision mission  
Traiter toute lacune de passation avant que l'équipe sortante ne devienne indisponible.

## Progression de maîtrise

1. procédure: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
2. console: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
3. anomalie: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
4. autorité de décision: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
5. Synthèse de « Mission Control, procédures et opérations avec délai »: confrontez « procédure » à « console »; choisissez le contrôle prioritaire.

## Vérification de maîtrise

Validation 33 — procédure, console, anomalie, autorité de décision. Pour chaque notion: un indice et un contrôle.

## Objectifs de maîtrise

---

- Savoir reconnaître un cas réel de « Comprendre avant de calculer » à partir d'indices observables.
- Présenter les données et unités nécessaires à l'analyse de « procédure ».
- Tester la sensibilité du résultat à une hypothèse de « console ».
- Formuler le critère qui autorise, retarde ou interdit la décision liée à « anomalie ».

## 1. Les opérations commencent avant le lancement

---

Une mission sûre ne découvre pas ses procédures pendant l'urgence. Les équipes définissent objectifs, contraintes, modes, critères d'abandon, règles de vol et responsabilités avant le départ. L'entraînement confronte ensuite ces produits à des pannes simulées.

La conception et les opérations doivent se parler tôt. Une vanne inaccessible, un affichage ambigu ou un système impossible à isoler devient un problème opérationnel avant même de devenir une panne.

## 2. Télémessure: transformer des milliers de mesures en situation

---

La télémessure n'a de valeur que si elle aide à décider. Les contrôleurs regroupent températures, pressions, courants, états logiciels et événements. Des limites avertissent qu'une variable sort du domaine attendu, mais une alarme n'est pas un diagnostic.

Le contexte compte: une [pression](#) basse peut être normale pendant une vidange et critique pendant une [phase](#) pressurisée. Les règles doivent donc associer mesure, mode, tendance et conséquence.

## 3. Procédures: écrire ce qui doit être fait et ce qui doit être vérifié

---

Une bonne procédure possède un point d'entrée clair, des préconditions, des étapes, des vérifications et des critères de sortie. Elle précise aussi ce qui est irréversible. Une procédure trop bavarde ralentit l'équipage; trop elliptique, elle suppose une mémoire qui peut disparaître sous stress.

Sur Mars, les procédures doivent être utilisables localement sans aide immédiate. Les étapes critiques gagnent à inclure la raison de certaines interdictions afin qu'un équipage puisse adapter intelligemment la séquence lorsqu'un cas non prévu apparaît.

## 4. Règles de vol: pré-décider les conflits difficiles

---

Une flight rule, ou règle de vol, fixe à l'avance ce qui doit se produire lorsqu'une condition apparaît: poursuivre, interrompre, isoler, revenir ou attendre. Elle évite que chaque crise commence par une négociation improvisée.

Les règles doivent néanmoins pouvoir être reconsidérées lorsque les hypothèses changent. Une base martienne a besoin d'une [gouvernance](#) claire indiquant qui peut déroger, sur quelle preuve et comment la décision est enregistrée.

## 5. Simulations intégrées et entraînement aux pannes

---

Les simulations ne servent pas seulement à apprendre les boutons. Elles testent l'équipe, les interfaces, la communication, les procédures et les systèmes de soutien. Un bon scénario injecte une panne, mais aussi de l'ambiguïté et des informations incomplètes.

L'objectif n'est pas de piéger l'équipage. Il est de découvrir avant la mission ce qui n'est pas clair, ce qui prend trop de temps et quelles dépendances restent invisibles.

## 6. Passage de consigne et mémoire opérationnelle

---

Une mission longue fonctionne par équipes et quarts. Le passage de consigne doit transmettre état, anomalies ouvertes, travaux en cours, décisions prises, contraintes temporaires et prochaines échéances. Sans cette discipline, la même erreur est diagnostiquée plusieurs fois ou une action est répétée.

Sur Mars, une partie de cette mémoire doit rester dans la base même si la liaison Terre disparaît: journaux structurés, [chronologie](#) des événements et copies locales des procédures.

## 7. Décider avec vingt minutes de délai aller simple

---

Lorsque le délai est grand, le centre de contrôle terrestre devient davantage un conseiller, analyste et planificateur qu'un pilote instantané. L'équipage doit disposer d'une autorité locale définie et d'un cadre pour les décisions de sécurité.

Les messages vers la Terre doivent être conçus pour survivre au délai: état actuel, hypothèses, options, décision prise et données nécessaires pour une analyse ultérieure.

## 8. Exemple calculé: quand une procédure dépasse la fenêtre disponible

Une séquence critique comporte 12 étapes de 35 s en [moyenne](#), quatre vérifications de 50 s et deux temps d'attente incompressibles de 90 s. La durée nominale vaut  $12 \times 35 + 4 \times 50 + 2 \times 90 = 420 + 200 + 180 = 800$  s, soit 13 min 20 s.

Si la fenêtre opérationnelle disponible n'est que de 12 minutes, la procédure ne ferme pas. Il faut modifier la conception, automatiser certaines étapes ou commencer plus tôt; demander à l'équipage de « faire plus vite » n'est pas une marge d'ingénierie.

## 9. Budget de décision: compter le temps perdu par les boucles de clarification

Sur Terre, une procédure ambiguë peut parfois être sauvée par une conversation rapide. Sur Mars, chaque question supplémentaire consomme du temps de propagation. Le délai de communication devient donc une grandeur à intégrer dans la conception de la procédure, au même titre que l'énergie ou la [masse](#).

**Hypothèse pédagogique.** On reprend un délai aller simple  $t_a = 12,5$  min. Le délai aller-retour minimal vaut  $t_{AR} = 2 \times t_a = 25$  min. Si une équipe doit effectuer quatre cycles successifs « question → réponse » avant de comprendre une anomalie, la seule propagation représente  $4 \times 25 = \mathbf{100\ min}$ . Aucun temps d'analyse n'est encore compté.

Pourquoi multiplier par quatre? Parce que chaque cycle indépendant exige un nouvel aller-retour complet. Le résultat montre qu'une procédure martienne doit transporter davantage de contexte dès le premier message: état du système, horodatage, mesures pertinentes, dernière action sûre, limites à ne pas dépasser et critères d'arrêt. Plus l'information initiale est autosuffisante, moins la mission paie de boucles de clarification.

**Mode dégradé.** Une bonne procédure précise aussi ce qui se passe si la Terre ne répond jamais: qui possède l'autorité locale, quelles fonctions peuvent être isolées, quelle [configuration](#) est considérée sûre et quelles données doivent être conservées pour l'analyse ultérieure. L'autonomie opérationnelle commence précisément lorsque le document reste utilisable sans conversation synchrone.

## Exercice progressif

Construisez une règle de vol pour une perte partielle de refroidissement: conditions d'entrée, charges à délester, critères de [récupération](#), seuil de repli de l'équipage et informations à transmettre à la Terre.

### Correction raisonnée

Une réponse acceptable commence par des seuils explicitement annoncés comme hypothèses d'exercice. Par exemple: entrée dans la règle si une boucle de refroidissement perd sa [redondance](#) et si la température d'un équipement critique dépasse sa bande autorisée pendant plus de deux cycles de contrôle. Le délestage coupe d'abord les charges scientifiques et de confort, jamais l'ECLSS ni les moyens de communication d'urgence. La récupération exige une température revenue dans la bande, un débit stable et aucune nouvelle alarme pendant une durée définie. Le repli équipage est déclenché avant l'atteinte d'une limite matérielle irréversible. Le message Terre contient chronologie, températures, débits, commandes exécutées, configuration actuelle et marge restante, afin que le support différé puisse raisonner sur le même état.

## Mini-projet

Écrire le concept d'opérations d'une journée martienne comprenant EVA, [maintenance](#), science, recharge de rover et fenêtre de communication. Ajouter une panne de puissance en milieu de journée et montrer comment planning, flight rules et autorités locales changent.

### Sources primaires et passerelles

- NASA JSC — Spaceflight Operations
- NASA JSC — Crew & Operations Training
- NASA JSC — Program Management & Execution

### Matrice de parité FR ↔ EN

|                                  |                            |
|----------------------------------|----------------------------|
| Marge temporelle de procédure    | Procedure time margin      |
| Boucle de clarification différée | Delayed clarification loop |
| Volume de télémesure             | Telemetry volume           |
| Charge de travail procédurale    | Procedural workload        |
| Ratio de préparation             | Readiness ratio            |
| Complétude de passation          | Handover completeness      |