

Énergie de colonie: budgets, micro-réseaux et priorités



Infrastructure de production électrique en surface à proximité d'une implantation martienne.

Visualisation conceptuelle — un micro-réseau associe production, stockage, distribution, protections et hiérarchisation des charges.

Dimensionner une colonie où production, stockage, distribution et délestage doivent continuer à fonctionner malgré poussière, [maintenance](#) et pertes de source.

Comprendre le problème avant les équations

Question de départ — Énergie de colonie: budgets, micro-réseaux et priorités: comment « Catégoriser les charges avant de calculer la production » agit-il sur « Profil de charge et puissance de pointe », et quel repère issu de « Énergie quotidienne et saisonnière » permet de vérifier la décision?

Intuition. Les charges vitales, critiques, reportables et discrétionnaires n'ont pas le même droit à l'énergie. ECLSS, chauffage minimal et communications de sécurité restent prioritaires.



Catégoriser les charges avant de calculer la production

Les charges vitales, critiques, reportables et discrétionnaires n'ont pas le même droit à l'énergie.



Profil de charge et puissance de pointe

Objectif du module — piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.



Énergie quotidienne et saisonnière

Objectif du module — piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

Repère concret. Une charge de 25 kW pendant 8 h consomme 200 kWh — « Profil de charge et puissance de ».

- Catégoriser les charges avant de calculer la production — Les charges vitales, critiques, reportables et discrétionnaires n'ont pas le même droit à l'énergie.
- Profil de charge et puissance de pointe — Objectif du module — piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.
- Énergie quotidienne et saisonnière — Objectif du module — piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

CARTE DE MAÎTRISE · MODULE 44

Quatre repères à maîtriser — Énergie de colonie: budgets, micro-réseaux et priorités

Catégoriser les charges avant de calculer la production

Définition

Les charges vitales, critiques, reportables et discrétionnaires n'ont pas le même droit à l'énergie. ECLSS, chauffage minimal et communications de sécurité restent prioritaires.

Intuition ou cas concret

Objectif du module — piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

Repère quantitatif

Une charge de 25 kW pendant 8 h consomme 200 kWh — « Profil de charge et puissance de ».

Limite ou critère de vigilance

Avec 150 kW disponibles pour 120 kW demandés, la marge est de 25 % — « Énergie quotidienne et saisonnière ».

Exercice guidé — Catégoriser les charges avant de calculer la production

Cas « Catégoriser les charges avant de calculer la production » — Objectif du module — piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage. Repère: Une charge de 25 kW pendant 8 h consomme 200 kWh — « Profil de charge et puissance de ». Réserve: Avec 150 kW disponibles pour 120 kW demandés, la marge est de 25 % — « Énergie quotidienne et saisonnière ».

Corrigé raisonné — Catégoriser les charges avant de calculer la production

Point de départ	Les charges vitales, critiques, reportables et discrétionnaires n'ont pas le même droit à l'énergie. ECLSS, chauffage minimal et communications de sécurité restent prioritaires.
Indice du cas	Une charge de 25 kW pendant 8 h consomme 200 kWh — « Profil de charge et puissance de ».
Réserve à appliquer	Avec 150 kW disponibles pour 120 kW demandés, la marge est de 25 % — « Énergie quotidienne et saisonnière ».
Conclusion	Avec 150 kW disponibles pour 120 kW demandés, la marge instantanée est $(150-120)/120 = 25\%$. Cette marge n'autorise toutefois le maintien des charges non vitales que si les prévisions de production, le stockage et les réserves de sécurité restent compatibles avec la durée de l'événement.

Profil de charge et puissance de pointe

Définition	Objectif du module — piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.
Intuition ou cas concret	Dans ce module, profil de charge et puissance de pointe sert directement à piloter un micro-réseau martien en distinguant

puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

Repère quantitatif

Une charge de 25 kW pendant 8 h consomme 200 kWh — « Profil de charge et puissance de ».

Limite ou critère de vigilance

Avec 150 kW disponibles pour 120 kW demandés, la marge est de 25 % — « Énergie quotidienne et saisonnière ».

Exercice guidé — Profil de charge et puissance de pointe

Cas « Profil de charge et puissance de pointe » — Dans ce module, profil de charge et puissance de pointe sert directement à piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production,...

Repère: Une charge de 25 kW pendant 8 h consomme 200 kWh — « Profil de charge et puissance de ». Réserve: Avec 150 kW disponibles pour 120 kW demandés, la marge est de 25 % — « Énergie quotidienne et saisonnière ».

Corrigé raisonné — Profil de charge et puissance de pointe

Point de départ

Objectif du module — piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

Indice du cas

Une charge de 25 kW pendant 8 h consomme 200 kWh — « Profil de charge et puissance de ».

Réserve à appliquer

Avec 150 kW disponibles pour 120 kW demandés, la marge est de 25 % — « Énergie quotidienne et saisonnière ».

Conclusion

Livable: données, unités, résultat, marge, décision.

Énergie quotidienne et saisonnière

Définition

Objectif du module — piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

Intuition ou cas concret

Dans ce module, profil de charge et puissance de pointe sert directement à piloter un micro-réseau martien en distinguant

puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

Repère quantitatif

Une charge de 25 kW pendant 8 h consomme 200 kWh — « Profil de charge et puissance de ».

Limite ou critère de vigilance

Avec 150 kW disponibles pour 120 kW demandés, la marge est de 25 % — « Énergie quotidienne et saisonnière ».

Exercice guidé — Énergie quotidienne et saisonnière

Cas « Énergie quotidienne et saisonnière » — Dans ce module, profil de charge et puissance de pointe sert directement à piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production,...

Repère: Une charge de 25 kW pendant 8 h consomme 200 kWh — « Profil de charge et puissance de ». Réserve: Avec 150 kW disponibles pour 120 kW demandés, la marge est de 25 % — « Énergie quotidienne et saisonnière ».

Corrigé raisonné — Énergie quotidienne et saisonnière

Point de départ

Objectif du module — piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

Indice du cas

Une charge de 25 kW pendant 8 h consomme 200 kWh — « Profil de charge et puissance de ».

Réserve à appliquer

Avec 150 kW disponibles pour 120 kW demandés, la marge est de 25 % — « Énergie quotidienne et saisonnière ».

Conclusion

Livable: données, unités, résultat, marge, décision.

Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales

Définition

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Les charges d'une colonie valent 22 kW pour le critique, 18 kW pour l'important et 35 kW pour le différable. Une panne réduit la production disponible à 38 kW.

Intuition ou cas concret

On note P_c la puissance critique, P_i la puissance importante, P_d la puissance différable et P_g la puissance disponible, toutes en kW.

Repère quantitatif

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Les charges d'une colonie valent 22 kW pour le critique, 18 kW pour l'important et 35 kW pour le différable.

Limite ou critère de vigilance

Une panne réduit la production disponible à 38 kW.

Exercice guidé — Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales

Cas « Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales » — On note P_c la puissance critique, P_i la puissance importante, P_d la puissance différable et P_g la puissance disponible, toutes en kW.

Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Les charges d'une colonie valent 22 kW pour le critique, 18 kW pour l'important et 35 kW pour le différable.

Réserve: Une panne réduit la production disponible à 38 kW.

Corrigé raisonné — Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales**Point de départ**

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Les charges d'une colonie valent 22 kW pour le critique, 18 kW pour l'important et 35 kW pour le différable. Une panne réduit la production disponible à 38 kW.

Indice du cas

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Les charges d'une colonie valent 22 kW pour le critique, 18 kW pour l'important et 35 kW pour le différable.

Réserve à appliquer

Une panne réduit la production disponible à 38 kW.

Conclusion

Le calcul montre pourquoi une liste de priorités doit exister avant la panne.

Pour aborder « Énergie de colonie: budgets, micro-réseaux et priorités », les prérequis conseillés sont modules 00 à 40 recommandés selon le sujet. Pour « Énergie de colonie: budgets, micro-réseaux et priorités », une notation technique n'est utilisée qu'après avoir été reliée à son sens physique ou opérationnel.

Objectifs de maîtrise

- Reconstruire avec ses propres mots le mécanisme étudié dans « La puissance de pointe et l'énergie quotidienne répondent à deux questions différentes ».
- Vérifier par un [ordre de grandeur](#) le résultat utilisé dans « Catégoriser les charges avant de calculer la production ».
- Proposer un contrôle indépendant avant de conclure sur « Profil de charge et puissance de pointe ».
- Justifier une action de mission à partir des limites observées dans « Énergie quotidienne et saisonnière ».

1. La [puissance de pointe](#) et l'énergie quotidienne répondent à deux questions différentes

Un [système](#) peut avoir assez d'énergie sur une journée mais être incapable de fournir une pointe de quelques minutes. Le budget doit donc suivre les kilowatts instantanés et les kilowattheures cumulés. Pompes, fours, communications et recharge de véhicules ne peuvent pas être additionnés comme s'ils fonctionnaient tous de la même façon.

2. Catégoriser les charges avant de calculer la production

Les charges vitales, critiques, reportables et discrétionnaires n'ont pas le même droit à l'énergie. [ECLSS](#), chauffage minimal et communications de sécurité restent prioritaires. Fabrication, [électrolyse](#) ou recharge peuvent parfois être décalées. Cette hiérarchie doit être écrite avant la crise pour éviter un délestage improvisé.

Approfondissement du module 44: comprendre, calculer, vérifier et

décider

Objectif du module — piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

1. Profil de charge et puissance de pointe

Dans ce module, profil de charge et puissance de pointe sert directement à piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

$\text{Facteur_charge} = P_{\text{moy}} / P_{\text{pointe}}$

Question de départ

À l'étape «1. Profil de charge et puissance de pointe», quel rapport résulte de $(P_{\text{moy}})/(P_{\text{pointe}})$ pour Facteur_charge?

Lecture à voix haute

Lecture recommandée: «Facteur indice charge égale P indice moy divisé par P indice pointe».

Symboles, prononciation et sens

Facteur_charge («facteur de charge»): rapport entre la puissance moyenne effectivement appelée et la puissance de pointe sur la même période; P_{moy} («pé moyenne»): puissance moyenne; P_{pointe} («pé pointe»): puissance maximale observée ou dimensionnante.

Unités

P_{moy} et P_{pointe} dans la même unité, W ou kW; Facteur_charge sans dimension.

Origine et statut des valeurs

Les nombres sont admis seulement s'ils sont fournis, mesurés, sourcés ou explicitement posés pour l'exercice. Une donnée absente n'est pas devinée. Les entrées de ce cas sont rattachées à: les profils de charge, puissances, durées et états du micro-réseau.

Pourquoi cette opération

Le rapport mesure à quel niveau moyen la capacité de pointe est utilisée.

Substitution et calcul

Pour l'application numérique, recopier les entrées de P_{moy} et P_{pointe} sans les modifier, convertir si besoin, puis calculer $\text{Facteur_charge} = (P_{\text{moy}}) \div (P_{\text{pointe}})$.

Saisie sur calculatrice

Entrer d'abord le numérateur P_{moy} , puis $\div$, puis le dénominateur P_{pointe} ; une seconde saisie avec les valeurs intermédiaires peut confirmer Facteur_charge .

Estimation mentale

Repère mental: si P_{moy} est nettement inférieur à P_{pointe} , un quotient positif Facteur_charge devrait être inférieur à 1; l'inverse vaut si P_{moy} domine.

Contrôle indépendant

$\text{Facteur_charge} \times P_{\text{pointe}}$ doit redonner P_{moy} . Si $P_{\text{moy}} \leq P_{\text{pointe}}$, le facteur doit être ≤ 1 .

Interprétation physique ou opérationnelle

Le sens pratique de « $\text{Facteur_charge} = P_{\text{moy}} / P_{\text{pointe}}$ » dépend de «1. Profil de charge et puissance de pointe»: avant toute décision, identifier la grandeur obtenue, son unité, le système auquel elle se rapporte et les hypothèses conservées.

Traduction en français courant

En langage ordinaire, Facteur_charge compare P_{moy} à P_{pointe} sous la forme d'un ratio plutôt que d'un écart.

Variation / sensibilité

Pour tester la robustesse, faire varier P_{moy} puis P_{pointe} séparément. Facteur_charge doit croître avec le premier et décroître lorsque le second augmente.

Limite / hypothèse

La formule suppose un dénominateur P_{pointe} valide et une frontière commune aux deux entrées. Un ratio entre périmètres incompatibles n'a pas l'interprétation annoncée.

On injecte maintenant l'événement suivant: une tempête réduit durablement le solaire.

2. Énergie quotidienne et saisonnière

Dans ce module, énergie quotidienne et saisonnière sert directement à piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

$$E_{\text{jour}} = \Sigma(P_i \times t_i)$$

Question de départ

Dans la relation « $E_{\text{jour}} = \Sigma(P_i \times t_i)$ », quelle valeur E_{jour} résulte de l'addition de tous les termes indexés?

Lecture à voix haute

Lecture recommandée: «E indice jour égale somme de (P indice i multiplié par t indice i)».

Symboles, prononciation et sens

E_{jour} : énergie consommée sur la journée; Σ («sigma»): somme sur les usages i; P_i : puissance de l'usage i; t_i : durée de fonctionnement correspondante.

Unités

Avec P_i en kW et t_i en h, chaque produit $P_i \times t_i$ est en kWh et leur somme E_{jour} est en kWh. En SI, $W \times s$ donne des joules.

Origine et statut des valeurs

Les nombres sont admis seulement s'ils sont fournis, mesurés, sourcés ou explicitement posés pour l'exercice. Une donnée absente n'est pas devinée.

Pourquoi cette opération

Σ condense plusieurs additions: chaque indice fournit un terme et le résultat global E_{jour} est la somme de ces termes.

Substitution et calcul

Calculer les contributions dans un tableau de travail à partir des valeurs citées, vérifier leurs unités, puis additionner uniquement les lignes applicables.

Saisie sur calculatrice

Pour éviter une erreur de cumul, sommer d'abord par blocs, noter les sous-totaux, puis additionner les blocs; une somme directe sert de comparaison.

Estimation mentale

L'ordre de grandeur de E_{jour} se contrôle avec le nombre de termes et une valeur typique ou maximale, sans chercher une précision prématurée.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – recalculer chaque énergie élémentaire $E_i = P_i \times t_i$ puis sommer les E_i ; cette somme doit retrouver E_{jour} . Comparer aussi à puissance moyenne $\times 24$ h lorsque cette moyenne est connue.

Interprétation physique ou opérationnelle

Le sens pratique de « $E_{\text{jour}} = \sum (P_i \times t_i)$ » dépend de «2. Énergie quotidienne et saisonnière»: avant toute décision, identifier la grandeur obtenue, son unité, le système auquel elle se rapporte et les hypothèses conservées.

Traduction en français courant

La formule peut se traduire par «prendre chaque contribution définie par l'indice et les additionner toutes pour former E_{jour} ».

Variation / sensibilité

Une perturbation sur un terme ne touche directement que sa propre contribution au total; les coefficients éventuels déterminent l'amplitude transmise.

Limite / hypothèse

Le domaine de sommation doit être explicite et cohérent. Des indices répétés, oubliés ou des unités incompatibles invalident le total.

On injecte maintenant l'événement suivant: une source pilotable est en maintenance.

3. Production solaire et variabilité

Dans ce module, production solaire et variabilité sert directement à piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

$$E_{\text{solaire}} = P_{\text{nom}} \times H_{\text{eq}} \times \eta$$

Question de départ

Comment passer des facteurs de « $E_{\text{solaire}} = P_{\text{nom}} \times H_{\text{eq}} \times \eta$ » à la grandeur E_{solaire} ?

Lecture à voix haute

Lecture recommandée: «E indice solaire égale P indice nom multiplié par H indice eq multiplié par éta».

Symboles, prononciation et sens

E_{solaire} («E solaire»): énergie solaire produite; P_{nom} («P nom»): puissance nominale; H_{eq} («H eq»): heures solaires équivalentes; η («éta»): rendement.

Unités

énergie solaire produite → Wh ou kWh; puissance nominale → W ou kW; heures solaires équivalentes → h; rendement → sans dimension [0;1].

Origine et statut des valeurs

Les nombres sont admis seulement s'ils sont fournis, mesurés, sourcés ou explicitement posés pour l'exercice. Une donnée absente n'est pas devinée. Les entrées de ce cas sont rattachées à: les profils de charge, puissances, durées et états du micro-réseau.

Pourquoi cette opération

Le modèle « $E_{\text{solaire}} = P_{\text{nom}} \times H_{\text{eq}} \times \eta$ » attribue un rôle multiplicatif aux termes de $P_{\text{nom}} \times H_{\text{eq}} \times \eta$. Leur combinaison produit E_{solaire} , et les unités se combinent de la même manière que les valeurs.

Substitution et calcul

Le calcul numérique de « $E_{\text{solaire}} = P_{\text{nom}} \times H_{\text{eq}} \times \eta$ » commence par renseigner les facteurs de $P_{\text{nom}} \times H_{\text{eq}} \times \eta$ à partir du cas «3. Production solaire et variabilité»; le produit intervient seulement après cette traçabilité.

Saisie sur calculatrice

Pour limiter les erreurs, calculer les sous-expressions de $P_{\text{nom}} \times H_{\text{eq}} \times \eta$ une par une, noter leurs valeurs, puis réaliser seulement le produit final.

Estimation mentale

Si tous les facteurs de $P_{\text{nom}} \times H_{\text{eq}} \times \eta$ sont positifs, leur taille indique immédiatement si E_{solaire} doit croître ou décroître par rapport à chacun pris isolément.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – Une preuve indépendante isole un terme de $P_{\text{nom}} \times H_{\text{eq}} \times \eta$. Recalculer ce terme à partir de E_{solaire} et des autres facteurs permet de contrôler la multiplication.

Interprétation physique ou opérationnelle

Le sens pratique de « $E_{\text{solaire}} = P_{\text{nom}} \times H_{\text{eq}} \times \eta$ » dépend de «3. Production solaire et variabilité»: avant toute décision, identifier la grandeur obtenue, son unité, le système auquel elle se rapporte et les hypothèses conservées.

Traduction en français courant

En français courant, E_{solaire} se calcule en combinant par multiplication les grandeurs regroupées dans $P_{\text{nom}} \times H_{\text{eq}} \times \eta$.

Variation / sensibilité

Une perturbation d'un facteur se propage proportionnellement à E_{solaire} . Si plusieurs facteurs varient, leurs multiplicateurs relatifs se composent.

Limite / hypothèse

Limite principale: « $E_{\text{solaire}} = P_{\text{nom}} \times H_{\text{eq}} \times \eta$ » suppose une composition multiplicative stable. Des facteurs corrélés ou variables avec l'état du système exigent un modèle plus complet.

— « Production solaire et variabilité ».

On injecte maintenant l'événement suivant: une batterie perd une partie de sa capacité.

4. Production pilotable et disponibilité

Dans ce module, production pilotable et disponibilité sert directement à piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

$$P_dispo = P_nom \times A$$

Question de départ

Comment passer des facteurs de « $P_dispo = P_nom \times A$ » à la grandeur P_dispo ?

Lecture à voix haute

Lecture recommandée: « P indice dispo égale P indice nom multiplié par A ».

Symboles, prononciation et sens

P_dispo (« P disponible»): puissance réellement disponible; P_nom (« P nominale»): puissance nominale de la source; A (« a »): facteur de disponibilité, fraction sans dimension comprise entre 0 et 1.

Unités

P_dispo et P_nom en W ou kW; A sans dimension. Le membre droit conserve donc une unité de puissance.

Origine et statut des valeurs

Les nombres sont admis seulement s'ils sont fournis, mesurés, sourcés ou explicitement posés pour l'exercice. Une donnée absente n'est pas devinée. Les entrées de ce cas sont rattachées à: les profils de charge, puissances, durées et états du micro-réseau.

Pourquoi cette opération

Multiplier la puissance nominale par la disponibilité convertit une capacité théorique en puissance effectivement accessible selon le facteur retenu.

Substitution et calcul

Le calcul numérique de « $P_dispo = P_nom \times A$ » commence par renseigner les facteurs de $P_nom \times A$ à partir du cas «4. Production pilotable et disponibilité»; le produit intervient seulement après cette traçabilité.

Saisie sur calculatrice

Pour limiter les erreurs, calculer les sous-expressions de $P_nom \times A$ une par une, noter leurs valeurs, puis réaliser seulement le produit final.

Estimation mentale

Si tous les facteurs de $P_{nom} \times A$ sont positifs, leur taille indique immédiatement si P_{dispo} doit croître ou décroître par rapport à chacun pris isolément.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: P_{dispo}/P_{nom} doit redonner A . Pour $A = 1$, la puissance disponible doit égaler la puissance nominale.

Interprétation physique ou opérationnelle

Le sens pratique de « $P_{dispo} = P_{nom} \times A$ » dépend de «4. Production pilotable et disponibilité»: avant toute décision, identifier la grandeur obtenue, son unité, le système auquel elle se rapporte et les hypothèses conservées.

Traduction en français courant

Autrement dit, multiplier la puissance nominale par la disponibilité convertit une capacité théorique en puissance effectivement accessible selon le facteur retenu.

Variation / sensibilité

À P_{nom} fixe, P_{dispo} varie linéairement avec A . Une baisse de disponibilité de 10 % relatif baisse P_{dispo} de 10 % relatif.

Limite / hypothèse

A n'est pas une aire. Ce facteur agrège ici la disponibilité selon une définition de période donnée; les pointes instantanées et corrélations entre sources peuvent nécessiter un modèle plus détaillé.

On injecte maintenant l'événement suivant: une pointe imprévue coïncide avec une recharge.

5. Stockage et état de charge

Dans ce module, stockage et état de charge sert directement à piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

$$E_{stock_fin} = E_{stock_début} + \eta_c E_{charge} - E_{décharge} / \eta_d$$

Question de départ

Quelle énergie reste stockée en fin de pas après charge, décharge et rendements?

Lecture à voix haute

Lecture: «E stock fin égale E stock début plus η_c fois E charge moins E décharge divisé par η_d ».

Symboles, prononciation et sens

E_stock_fin («E stock fin»): énergie stockée en fin de pas;
E_stock_début («E stock début»): énergie stockée au début du pas;
 η_c (« η_c »): rendement de charge; E_charge («E charge»): énergie fournie au stockage pendant la charge; E_décharge («E décharge»): énergie utile livrée au réseau pendant la décharge;
 η_d (« η_d »): rendement de décharge.

Unités

E_stock_fin, E_stock_début, E_charge et E_décharge dans la même unité d'énergie, par exemple kWh; η_c et η_d sans dimension. Le SOC au sens strict est une fraction ou un pourcentage et se calcule séparément, par exemple $SOC = E_{\text{stock}} / E_{\text{capacité}}$.

Origine et statut des valeurs

Les nombres sont admis seulement s'ils sont fournis, mesurés, sourcés ou explicitement posés pour l'exercice. Une donnée absente n'est pas devinée.

Pourquoi cette opération

L'énergie finale part de l'énergie initiale, ajoute l'énergie réellement stockée $\eta_c E_{\text{charge}}$, puis retire l'énergie qu'il faut extraire du stockage pour fournir E_décharge, soit $E_{\text{décharge}} / \eta_d$.

Substitution et calcul

Reprendre les deux valeurs documentées, harmoniser leurs unités et appliquer exactement «premier moins second» sans inventer de donnée.

Saisie sur calculatrice

Entrer les termes avec leurs parenthèses, puis la touche de soustraction. Relire l'ordre affiché avant validation.

Estimation mentale

Estimer d'abord lequel des deux termes est le plus grand: cette comparaison prédit le signe de SOC_fin et son échelle approximative.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse complet: $E_{\text{stock_fin}} + E_{\text{décharge}} / \eta_d - \eta_c E_{\text{charge}}$ doit redonner E_stock_début.

Interprétation physique ou opérationnelle

Cette équation est un bilan d'énergie absolue. Le véritable état de charge SOC est sans dimension; ne pas exprimer un SOC en kWh.

Traduction en français courant

On peut le reformuler ainsi: l'énergie stockée finale part de l'énergie initiale, ajoute la fraction effectivement stockée de l'énergie de charge $\eta_c E_{\text{charge}}$, puis retire l'énergie interne nécessaire pour fournir $E_{\text{décharge}}$, soit $E_{\text{décharge}}/\eta_d$.

Variation / sensibilité

Une hausse ΔE_{charge} ajoute $\eta_c \Delta E_{\text{charge}}$ au stock; une hausse $\Delta E_{\text{décharge}}$ retire $\Delta E_{\text{décharge}}/\eta_d$. Les rendements modifient donc différemment les deux branches.

Limite / hypothèse

Ici SOC est exprimé comme une énergie stockée, pas comme un pourcentage. Pour un SOC fractionnaire, il faut normaliser tous les termes énergétiques par la capacité utile du stockage.

On injecte maintenant l'événement suivant: le réseau se sépare en deux îlots.

6. Conversion et distribution

Dans ce module, conversion et distribution sert directement à piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

$$P_{\text{arrivée}} = \eta_{\text{dist}} \times P_{\text{source}}$$

Question de départ

Comment passer des facteurs de « $P_{\text{arrivée}} = \eta_{\text{dist}} \times P_{\text{source}}$ » à la grandeur $P_{\text{arrivée}}$?

Lecture à voix haute

Lecture recommandée: «P indice arrivée égale éta indice dist multiplié par P indice source».

Symboles, prononciation et sens

$P_{\text{arrivée}}$ («P arrivée»): puissance reçue après distribution;
 η_{dist} («éta dist»): rendement de distribution; P_{source} («P source»): puissance à la source.

Unités

puissance reçue après distribution → W ou kW; rendement de distribution → sans dimension [0;1]; puissance à la source → W ou kW.

Origine et statut des valeurs

Les nombres sont admis seulement s'ils sont fournis, mesurés, sourcés ou explicitement posés pour l'exercice. Une donnée absente n'est pas devinée. Les entrées de ce cas sont rattachées à: les profils de charge, puissances, durées et états du micro-réseau.

Pourquoi cette opération

Le modèle « $P_{\text{arrivée}} = \eta_{\text{dist}} \times P_{\text{source}}$ » attribue un rôle multiplicatif aux termes de $\eta_{\text{dist}} \times P_{\text{source}}$. Leur combinaison produit $P_{\text{arrivée}}$, et les unités se combinent de la même manière que les valeurs.

Substitution et calcul

Le calcul numérique de « $P_{\text{arrivée}} = \eta_{\text{dist}} \times P_{\text{source}}$ » commence par renseigner les facteurs de $\eta_{\text{dist}} \times P_{\text{source}}$ à partir du cas «6. Conversion et distribution»; le produit intervient seulement après cette traçabilité.

Saisie sur calculatrice

Pour limiter les erreurs, calculer les sous-expressions de $\eta_{\text{dist}} \times P_{\text{source}}$ une par une, noter leurs valeurs, puis réaliser seulement le produit final.

Estimation mentale

Si tous les facteurs de $\eta_{\text{dist}} \times P_{\text{source}}$ sont positifs, leur taille indique immédiatement si $P_{\text{arrivée}}$ doit croître ou décroître par rapport à chacun pris isolément.

Contrôle indépendant

Contrôle indépendant – Une preuve indépendante isole un terme de $\eta_{\text{dist}} \times P_{\text{source}}$. Recalculer ce terme à partir de $P_{\text{arrivée}}$ et des autres facteurs permet de contrôler la multiplication.

Interprétation physique ou opérationnelle

Le sens pratique de « $P_{\text{arrivée}} = \eta_{\text{dist}} \times P_{\text{source}}$ » dépend de «6. Conversion et distribution»: avant toute décision, identifier la grandeur obtenue, son unité, le système auquel elle se rapporte et les hypothèses conservées.

Traduction en français courant

En français courant, $P_{\text{arrivée}}$ se calcule en combinant par multiplication les grandeurs regroupées dans $\eta_{\text{dist}} \times P_{\text{source}}$.

Variation / sensibilité

Une perturbation d'un facteur se propage proportionnellement à $P_{\text{arrivée}}$. Si plusieurs facteurs varient, leurs multiplicateurs relatifs se composent.

Limite / hypothèse

Limite principale: « $P_{\text{arrivée}} = \eta_{\text{dist}} \times P_{\text{source}}$ » suppose une composition multiplicative stable. Des facteurs corrélés ou variables avec l'état du système exigent un modèle plus complet.

On injecte maintenant l'événement suivant: le black-start échoue sur une charge trop importante.

7. Réserve tournante et marges

Dans ce module, réserve tournante et marges sert directement à piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

$$\text{Marge}_P = (P_{\text{dispo}} - P_{\text{charge}}) / P_{\text{charge}}$$

Question de départ

À l'étape «7. Réserve tournante et marges», quel rapport résulte de $((P_{\text{dispo}} - P_{\text{charge}})) / (P_{\text{charge}})$ pour Marge_P ?

Lecture à voix haute

Lecture recommandée: «Marge indice P égale (P indice dispo - P indice charge) divisé par P indice charge».

Symboles, prononciation et sens

Marge_P : réserve relative de puissance; P_{dispo} : puissance disponible; P_{charge} : puissance appelée par les charges sur le même instant ou intervalle.

Unités

Exprimer P_{dispo} et P_{charge} après conversion des deux grandeurs vers la même unité de puissance; Marge_P sans dimension.

Origine et statut des valeurs

Les nombres sont admis seulement s'ils sont fournis, mesurés, sourcés ou explicitement posés pour l'exercice. Une donnée absente n'est pas devinée. Les entrées de ce cas sont rattachées à: les profils de charge, puissances, durées et états du micro-réseau.

Pourquoi cette opération

L'excédent de puissance est rapporté à la charge pour exprimer une réserve relative.

Substitution et calcul

Pour l'application numérique, recopier les entrées de $(P_{\text{dispo}} - P_{\text{charge}})$ et P_{charge} sans les modifier, convertir si besoin, puis calculer $\text{Marge}_P = ((P_{\text{dispo}} - P_{\text{charge}})) \div (P_{\text{charge}})$.

Saisie sur calculatrice

Entrer d'abord le numérateur $(P_{\text{dispo}} - P_{\text{charge}})$, puis $\div$, puis le dénominateur P_{charge} ; une seconde saisie avec les valeurs intermédiaires peut confirmer Marge_P .

Estimation mentale

Repère mental: si $(P_{\text{dispo}} - P_{\text{charge}})$ est nettement inférieur à P_{charge} , un quotient positif Marge_P devrait être inférieur à 1; l'inverse vaut si $(P_{\text{dispo}} - P_{\text{charge}})$ domine.

Contrôle indépendant

$P_{\text{dispo}} = P_{\text{charge}} \times (1 + \text{Marge}_P)$.

Interprétation physique ou opérationnelle

Le sens pratique de « $\text{Marge}_P = (P_{\text{dispo}} - P_{\text{charge}}) / P_{\text{charge}}$ » dépend de «7. Réserve tournante et marges»: avant toute décision, identifier la grandeur obtenue, son unité, le système auquel elle se rapporte et les hypothèses conservées.

Traduction en français courant

En langage ordinaire, Marge_P compare $(P_{\text{dispo}} - P_{\text{charge}})$ à P_{charge} sous la forme d'un ratio plutôt que d'un écart.

Variation / sensibilité

Pour tester la robustesse, faire varier $(P_{\text{dispo}} - P_{\text{charge}})$ puis P_{charge} séparément. Marge_P doit croître avec le premier et décroître lorsque le second augmente.

Limite / hypothèse

La formule suppose un dénominateur P_{charge} valide et une frontière commune aux deux entrées. Un ratio entre périmètres incompatibles n'a pas l'interprétation annoncée.

On injecte maintenant l'événement suivant: une tempête réduit durablement le solaire.

8. Délestage par priorité

Dans ce module, délestage par priorité sert directement à piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

$$ENS = \Sigma(P_{non_servie} \times \Delta t)$$

Question de départ

Dans la relation « $ENS = \Sigma(P_{non_servie} \times \Delta t)$ », quelle valeur ENS résulte de l'addition de tous les termes indexés?

Lecture à voix haute

Lecture recommandée: «ENS égale somme de (P indice non indice servie multiplié par delta t)».

Symboles, prononciation et sens

Σ (« sigma ») : additionner ; ENS («énergie non servie»): énergie totale demandée mais non fournie; P_{non_servie} («pé non servie»): puissance non fournie pendant un intervalle; Δt («delta té»): durée de cet intervalle.

Unités

Bases cohérentes: $W \times s = J$ ou $kW \times h = kWh$. Chaque contribution $P_{non_servie} \times \Delta t$ est une énergie; ENS est la somme de ces énergies.

Origine et statut des valeurs

Les nombres sont admis seulement s'ils sont fournis, mesurés, sourcés ou explicitement posés pour l'exercice. Une donnée absente n'est pas devinée.

Pourquoi cette opération

Pour chaque intervalle de délestage, puissance non servie $\times$ durée donne l'énergie manquante. Σ additionne ces contributions sur toute la période.

Substitution et calcul

Calculer les contributions dans un tableau de travail à partir des valeurs citées, vérifier leurs unités, puis additionner uniquement les lignes applicables.

Saisie sur calculatrice

Pour éviter une erreur de cumul, sommer d'abord par blocs, noter les sous-totaux, puis additionner les blocs; une somme directe sert de comparaison.

Estimation mentale

L'ordre de grandeur de ENS se contrôle avec le nombre de termes et une valeur typique ou maximale, sans chercher une précision prématurée.

Contrôle indépendant

Recalculer chaque énergie élémentaire puis les sommer. Contrôle dimensionnel: $\text{kW} \times \text{h} = \text{kWh}$. Une division ENS/temps total donne une puissance moyenne non servie, mais pas le pic.

Interprétation physique ou opérationnelle

Le sens pratique de « $\text{ENS} = \sum (\text{P}_{\text{non servie}} \times \Delta t)$ » dépend de «8. Délestage par priorité»: avant toute décision, identifier la grandeur obtenue, son unité, le système auquel elle se rapporte et les hypothèses conservées.

Traduction en français courant

La formule peut se traduire par «prendre chaque contribution définie par l'indice et les additionner toutes pour former ENS».

Variation / sensibilité

Une perturbation sur un terme ne touche directement que sa propre contribution au total; les coefficients éventuels déterminent l'amplitude transmise.

Limite / hypothèse

Le domaine de sommation doit être explicite et cohérent. Des indices répétés, oubliés ou des unités incompatibles invalident le total.

— « Délestage par priorité ».

On injecte maintenant l'événement suivant: une source pilotable est en maintenance.

9. Black-start et îlotage

Dans ce module, black-start et îlotage sert directement à piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

$$E_{\text{black}} = \sum (P_i \times t_i)$$

Question de départ

Dans la relation « $E_{\text{black}} = \sum (P_i \times t_i)$ », quelle valeur E_{black} résulte de l'addition de tous les termes indexés?

Lecture à voix haute

Lecture recommandée: «E indice black égale somme de (P indice i multiplié par t indice i)».

Symboles, prononciation et sens

Σ (« sigma ») : additionner ; E_{black} (« E black »): énergie requise pendant la période de black-start ou de fonctionnement sans production normale; P_i (« pé indice i »): puissance de la charge i conservée; t_i (« té indice i »): durée pendant laquelle cette charge doit être alimentée.

Unités

Avec P_i en kW et t_i en h, chaque terme est en kWh et E_{black} en kWh. En SI, $W \times s = J$.

Origine et statut des valeurs

Les nombres sont admis seulement s'ils sont fournis, mesurés, sourcés ou explicitement posés pour l'exercice. Une donnée absente n'est pas devinée.

Pourquoi cette opération

Chaque charge consomme une énergie $P_i \times t_i$; Σ additionne les énergies des charges retenues.

Substitution et calcul

Calculer les contributions dans un tableau de travail à partir des valeurs citées, vérifier leurs unités, puis additionner uniquement les lignes applicables.

Saisie sur calculatrice

Pour éviter une erreur de cumul, sommer d'abord par blocs, noter les sous-totaux, puis additionner les blocs; une somme directe sert de comparaison.

Estimation mentale

L'ordre de grandeur de E_{black} se contrôle avec le nombre de termes et une valeur typique ou maximale, sans chercher une précision prématurée.

Contrôle indépendant

Recalculer chaque $P_i \times t_i$ séparément puis vérifier que leur somme égale E_{black} .

Interprétation physique ou opérationnelle

Le sens pratique de « $E_{black} = \sum(P_i \times t_i)$ » dépend de «9. Black-start et îlotage»: avant toute décision, identifier la grandeur obtenue, son unité, le système auquel elle se rapporte et les hypothèses conservées.

Traduction en français courant

La formule peut se traduire par «prendre chaque contribution définie par l'indice et les additionner toutes pour former E_{black} ».

Variation / sensibilité

Une perturbation sur un terme ne touche directement que sa propre contribution au total; les coefficients éventuels déterminent l'amplitude transmise.

Limite / hypothèse

Le domaine de sommation doit être explicite et cohérent. Des indices répétés, oubliés ou des unités incompatibles invalident le total.

On injecte maintenant l'événement suivant: une batterie perd une partie de sa capacité.

10. Dispatch en croissance de colonie

Dans ce module, dispatch en croissance de colonie sert directement à piloter un micro-réseau martien en distinguant puissance, énergie, pointes, stockage, production, réserves et priorités de délestage.

$$P_{requis} = N \times p_{pc} \times (1 + \text{marge})$$

Question de départ

Comment passer des facteurs de « $P_{requis} = N \times p_{pc} \times (1 + \text{marge})$ » à la grandeur P_{requis} ?

Lecture à voix haute

Lecture recommandée: « $P_{\text{requis}} = N \times p_{\text{pc}} \times (1 + \text{marge})$ ».

Symboles, prononciation et sens

P_{requis} («pé requis»): puissance totale à installer; N («enne»): nombre de personnes; p_{pc} («pé par personne»): puissance nominale par personne; marge («marge»): fraction de dimensionnement ajoutée au besoin nominal.

Unités

P_{requis} en W ou kW; N en personnes; p_{pc} en W/personne ou kW/personne; marge sans dimension.

Origine et statut des valeurs

Les nombres sont admis seulement s'ils sont fournis, mesurés, sourcés ou explicitement posés pour l'exercice. Une donnée absente n'est pas devinée. Les entrées de ce cas sont rattachées à: les profils de charge, puissances, durées et états du micro-réseau.

Pourquoi cette opération

$N \times p_{\text{pc}}$ calcule la puissance nominale liée à la population; le facteur $1 + \text{marge}$ ajoute une réserve proportionnelle sans changer l'unité de puissance.

Substitution et calcul

Le calcul numérique de « $P_{\text{requis}} = N \times p_{\text{pc}} \times (1 + \text{marge})$ » commence par renseigner les facteurs de $N \times p_{\text{pc}} \times (1 + \text{marge})$ à partir du cas «10. Dispatch en croissance de colonie»; le produit intervient seulement après cette traçabilité.

Saisie sur calculatrice

Pour limiter les erreurs, calculer les sous-expressions de $N \times p_{\text{pc}} \times (1 + \text{marge})$ une par une, noter leurs valeurs, puis réaliser seulement le produit final.

Estimation mentale

Si tous les facteurs de $N \times p_{\text{pc}} \times (1 + \text{marge})$ sont positifs, leur taille indique immédiatement si P_{requis} doit croître ou décroître par rapport à chacun pris isolément.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: $P_{\text{requis}} / [N(1 + \text{marge})]$ doit redonner p_{pc} .
Pour marge = 0, $P_{\text{requis}} = N \times p_{\text{pc}}$.

Interprétation physique ou opérationnelle

Le sens pratique de « $P_{requis} = N \times p_{pc} \times (1 + \text{marge})$ » dépend de «10. Dispatch en croissance de colonie»: avant toute décision, identifier la grandeur obtenue, son unité, le système auquel elle se rapporte et les hypothèses conservées.

Traduction en français courant

En français courant, P_{requis} se calcule en combinant par multiplication les grandeurs regroupées dans $N \times p_{pc} \times (1 + \text{marge})$.

Variation / sensibilité

Une perturbation d'un facteur se propage proportionnellement à P_{requis} . Si plusieurs facteurs varient, leurs multiplicateurs relatifs se composent.

Limite / hypothèse

Limite principale: « $P_{requis} = N \times p_{pc} \times (1 + \text{marge})$ » suppose une composition multiplicative stable. Des facteurs corrélés ou variables avec l'état du système exigent un modèle plus complet.

On injecte maintenant l'événement suivant: une pointe imprévue coïncide avec une recharge.

Exercices progressifs avec corrigés 1:1

Exercice 1: Profil de charge et puissance de pointe

Analysez profil de charge et puissance de pointe. Relation à tester: « $E = P \times t$ ». Cas dégradé: une source pilotable est en maintenance. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 1: Profil de charge et puissance de pointe

Données du cas

Exercice guidé — Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales — Cas « Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales » — On note P_c la puissance critique, P_i la puissance importante, P_d la puissance différable et P_g la puissance

disponible, toutes en kW. Repère: HYPOTHÈSE
PÉDAGOGIQUE — Les charges d'une colonie valent 22 kW pour le critique, 18 kW pour l'important et 35 kW pour le différable. Réserve: Une panne réduit la production disponible à 38 kW.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 1: Profil de charge et puissance de pointe

Résultat

Corrigé — Exercice 1: Profil de charge et puissance de pointe

Exercice 2: Énergie quotidienne et saisonnière

Analysez énergie quotidienne et saisonnière. Relation à tester: « $\text{Marge}_P = (P_{\text{dispo}} - P_{\text{charge}}) / P_{\text{charge}}$ ». Cas dégradé: une batterie perd une partie de sa capacité. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 2: Énergie quotidienne et saisonnière

Données du cas

Exercice guidé — Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales — Cas « Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales » — On note P_c la puissance critique, P_i la puissance importante, P_d la puissance différable et P_g la puissance disponible, toutes en kW. Repère: HYPOTHÈSE
PÉDAGOGIQUE — Les charges d'une colonie valent 22 kW pour le critique, 18 kW pour l'important et 35 kW pour le différable. Réserve: Une panne réduit la production disponible à 38 kW.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 2: Énergie quotidienne et saisonnière

Résultat

Corrigé — Exercice 2: Énergie quotidienne et saisonnière

Exercice 3: Production solaire et variabilité

Analysez production solaire et variabilité. Relation à tester: « $E_{\text{stock_fin}} = E_{\text{stock_début}} + \eta_c E_{\text{charge}} - E_{\text{décharge}}/\eta_d$ ». Cas dégradé: une pointe imprévue coïncide avec une recharge. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 3: Production solaire et variabilité

Données du cas

Exercice guidé — Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales — Cas « Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales » — On note P_c la puissance critique, P_i la puissance importante, P_d la puissance différable et P_g la puissance disponible, toutes en kW. Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Les charges d'une colonie valent 22 kW pour le critique, 18 kW pour l'important et 35 kW pour le différable. Réserve: Une panne réduit la production disponible à 38 kW.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 3: Production solaire et variabilité

Résultat

Corrigé — Exercice 3: Production solaire et variabilité

Exercice 4: Production pilotable et disponibilité

Analysez production pilotable et disponibilité. Relation à tester: « $ENS = \sum (P_{\text{non_servie}} \times \Delta t)$ ». Cas dégradé: le réseau se sépare en deux îlots. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 4: Production pilotable et disponibilité

Données du cas

Exercice guidé — Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales — Cas « Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales » — On note P_c la puissance critique, P_i la puissance importante, P_d la puissance différable et P_g la puissance

disponible, toutes en kW. Repère: HYPOTHÈSE
PÉDAGOGIQUE — Les charges d'une colonie valent 22 kW pour le critique, 18 kW pour l'important et 35 kW pour le différable. Réserve: Une panne réduit la production disponible à 38 kW.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 4: Production pilotable et disponibilité

Résultat

Corrigé — Exercice 4: Production pilotable et disponibilité

Exercice 5: Stockage et état de charge

Analysez stockage et état de charge. Relation à tester: « $E = P \times t$ ». Cas dégradé: le black-start échoue sur une charge trop importante. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 5: Stockage et état de charge

Données du cas

Exercice guidé — Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales — Cas « Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales » — On note P_c la puissance critique, P_i la puissance importante, P_d la puissance différable et P_g la puissance disponible, toutes en kW. Repère: HYPOTHÈSE
PÉDAGOGIQUE — Les charges d'une colonie valent 22 kW pour le critique, 18 kW pour l'important et 35 kW pour le différable. Réserve: Une panne réduit la production disponible à 38 kW.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 5: Stockage et état de charge

Résultat

Corrigé — Exercice 5: Stockage et état de charge

Exercice 6: Conversion et distribution

Relation à tester: « $\text{Marge}_P = (P_{\text{dispo}} - P_{\text{charge}}) / P_{\text{charge}}$ ». Cas dégradé: une tempête réduit durablement le solaire. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 6: Conversion et distribution

Données du cas

Exercice guidé — Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales — Cas « Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales » — On note P_c la puissance critique, P_i la puissance importante, P_d la puissance différable et P_g la puissance disponible, toutes en kW. Repère: HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Les charges d'une colonie valent 22 kW pour le critique, 18 kW pour l'important et 35 kW pour le différable. Réserve: Une panne réduit la production disponible à 38 kW.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 6: Conversion et distribution

Résultat

Corrigé — Exercice 6: Conversion et distribution

Exercice 7: Réserve tournante et marges

Analysez réserve tournante et marges. Relation à tester: « $E_{\text{stock_fin}} = E_{\text{stock_début}} + \eta_c E_{\text{charge}} - E_{\text{décharge}} / \eta_d$ ». Cas dégradé: une source pilotable est en maintenance. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 7: Réserve tournante et marges

Données du cas

Exercice guidé — Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales — Cas « Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales » — On note P_c la puissance critique, P_i la puissance importante, P_d la puissance différable et P_g la puissance disponible, toutes en kW. Repère: HYPOTHÈSE

PÉDAGOGIQUE — Les charges d'une colonie valent 22 kW pour le critique, 18 kW pour l'important et 35 kW pour le différable. Réserve: Une panne réduit la production disponible à 38 kW.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 7: Réserve tournante et marges

Résultat

Corrigé — Exercice 7: Réserve tournante et marges

Contrôle

Corrigé — Exercice 7: Réserve tournante et marges

Exercice 8: Délestage par priorité

Relation à tester: « $ENS = \Sigma(P_{\text{non servie}} \times \Delta t)$ ». Cas dégradé: une batterie perd une partie de sa capacité. Livrable: données, unités, résultat, marge, décision.

Corrigé — Exercice 8: Délestage par priorité

Données du cas

Exercice guidé — Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales — Cas « Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales » — On note P_c la puissance critique, P_i la puissance importante, P_d la puissance différable et P_g la puissance disponible, toutes en kW. Repère: HYPOTHÈSE
PÉDAGOGIQUE — Les charges d'une colonie valent 22 kW pour le critique, 18 kW pour l'important et 35 kW pour le différable. Réserve: Une panne réduit la production disponible à 38 kW.

Raisonnement

Corrigé — Exercice 8: Délestage par priorité

Résultat

Corrigé — Exercice 8: Délestage par priorité

Mini-projet intégrateur et dossier de référence

Construire un dispatch heure par heure pour une journée nominale puis une journée dégradée. Classer les charges vitales, critiques, reportables et confort, calculer l'énergie non servie et justifier chaque délestage.

« Exercice 8: Délestage par priorité » — hypothèses, budget, marges.

« Exercice 8: Délestage par priorité » — interfaces et causes communes.

« Exercice 8: Délestage par priorité » — calculs, limites, critères.

Repères du passage: [inventaire](#)

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

Vérification de maîtrise du module 44

- « Exercice 8: Délestage par priorité » — unités et ordre de grandeur.
- « Exercice 8: Délestage par priorité » — cas dégradé.
- « Exercice 8: Délestage par priorité » — marge décisionnelle.
- « Exercice 8: Délestage par priorité » — mesure de contrôle.
- Termes de contrôle: [Vérification](#)

Repères du passage: [délestage](#)

Repères du passage: [état](#) · [observation](#) · [contrôle](#)

Repères du passage: [moyenne](#) · [substitution](#)

Repères du passage: [validation](#)

Repères du passage: [marge](#)

Repères du passage: [Mode dégradé](#)

Repères du passage: [robustesse](#)

Repères du passage: [unité](#)

Repères du passage: [Conversion](#)

3. Micro-réseau: plusieurs sources, plusieurs stockages, une seule stabilité

Une base peut combiner solaire, fission, batteries et stockage thermique. Le micro-réseau doit partager la puissance tout en maintenant tension, [fréquence](#) ou bus continu dans leurs tolérances. La perte d'un convertisseur ne doit pas transformer une panne locale en extinction

générale.

4. Stockage: raisonner en autonomie utile, pas en capacité nominale

Une batterie de 1 MWh n'offre pas forcément 1 MWh utilisable. Profondeur de décharge, température, vieillissement, rendement et réserve de sûreté réduisent l'énergie disponible. Le budget doit annoncer la capacité réellement exploitable dans le scénario critique.

5. Poussière, nuit et maintenance: la source nominale n'est jamais disponible 100 % du temps

Production solaire et disponibilité nucléaire sont affectées par environnement et maintenance. La stratégie énergétique utilise donc des profils temporels et des scénarios de panne. Le rôle du stockage est de traverser les écarts entre demande et production, pas de masquer une architecture sous-dimensionnée.

6. Distribution et common-cause failures

Deux sources branchées sur le même convertisseur ou passant dans le même câble ne constituent pas deux alimentations indépendantes. La redondance doit séparer les causes communes: emplacement, conversion, protection, refroidissement et commande.

7. Stabilité du micro-réseau: équilibrer puissance et énergie

Un bilan énergétique positif sur 24 heures ne garantit pas qu'un réseau reste stable. Une base peut produire assez d'énergie au total et pourtant manquer de puissance pendant le démarrage d'un compresseur ou juste après la perte d'une source. Il faut distinguer énergie, en kilowattheures, et puissance instantanée, en kilowatts. Le stockage doit absorber les transitoires et donner aux sources pilotables le temps de prendre le relais. La stratégie de contrôle doit aussi connaître la priorité et la dynamique de chaque charge: une serre peut parfois être réduite quelques minutes, une pompe médicale beaucoup moins.

8. Black start: reconstruire le réseau à partir de presque rien

Après une panne totale, plusieurs équipements nécessaires au redémarrage ont eux-mêmes besoin d'électricité: contrôleurs, pompes, chauffages, communications et convertisseurs. Le black start est la capacité à recréer l'alimentation sans dépendre du réseau déjà opérationnel. Une source autonome doit établir le premier bus, puis les branches sont reconnectées dans un ordre évitant les appels de courant simultanés. La [procédure](#) doit être testée avec des batteries froides, des convertisseurs réellement disponibles et des critères explicites pour autoriser chaque étape de reconnexion.

9. Croissance énergétique: ne pas consommer toute la marge

Une colonie ajoute progressivement serres, ateliers, laboratoires, communications et logements. Si chaque extension utilise toute la réserve disponible, la marge de panne disparaît. Le budget doit donc distinguer consommation nominale, pointe, réserve d'exploitation, réserve de contingence et énergie réellement utilisable du stockage après vieillissement et profondeur de décharge. Il doit aussi relier électricité et chaleur: une machine qui rejette plusieurs kilowatts thermiques peut être utile dans un contexte et devenir une charge de refroidissement dans un autre. Les charges flexibles doivent être planifiées plutôt que tout dimensionner pour le pire cas simultané.

10. Exemple calculé: autonomie batterie en mode refuge

Les charges vitales d'un refuge consomment 18 kW. Une batterie possède 420 kWh nominaux mais seulement 80 % sont autorisés en décharge et le rendement global est 92 %. Énergie utile = $420 \times 0,80 \times 0,92 = 309,1$ kWh. [Autonomie](#) = $309,1 / 18 \approx 17,2$ h. Une [exigence](#) de 24 h n'est donc pas satisfaite malgré une batterie annoncée à 420 kWh.

Étude de cas calculée: délester un micro-réseau sans perdre les charges vitales

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — Les charges d'une colonie valent 22 kW pour le critique, 18 kW pour l'important et 35 kW pour le différable. Une panne réduit la production disponible à 38 kW.

On note P_c la puissance critique, P_i la puissance importante, P_d la puissance différable et P_g la puissance disponible, toutes en kW. Le kilowatt mesure une puissance instantanée; l'énergie sur une durée s'exprimerait en kWh.

Charge totale avant panne: $P_{\text{tot}} = 22 + 18 + 35 = 75$ kW. Après alimentation des 22 kW critiques, il reste $38 - 22 = 16$ kW. Il manque donc $18 - 16 = 2$ kW dans la catégorie importante et les 35 kW différables doivent être délestés. Délestage total: $35 + 2 = 37$ kW, soit $37 \div 75 \approx 49,3$ % de la charge initiale.

Le calcul montre pourquoi une liste de priorités doit exister avant la panne. Il ne suffit pas de posséder 38 kW: il faut savoir quelles charges peuvent être interrompues, pendant combien de temps et avec quelles conséquences au redémarrage.

11. Exercice

Établir un budget de 24 h avec 25 kW vitaux, 40 kW critiques et trois charges reportables. Simuler la perte de 50 % de la production pendant 18 h et construire l'ordre de délestage.

12. Solution raisonnée

Classer d'abord les charges en survie immédiate, continuité opérationnelle et différable, puis comparer la puissance de la première classe à la source restante. Si elle dépasse la capacité, il faut redéfinir les priorités ou fournir une source indépendante; délester seulement les usages de confort ne résout pas un déficit structurel.

13. Mini-projet de validation

Concevoir un micro-réseau martien: sources, bus, protections, stockage, profils de charge, catégories de priorité, scénarios de panne, stratégie de redémarrage et critères de stabilité.

Calculateurs associés

Mettre en pratique ce module avec:

- [Calculateur solaire + batteries pour Mars](#)

Poste énergie : garder cohérents puissance, énergie et priorités vitales

Un micro-réseau martien est un système de décision autant qu'un assemblage de générateurs et de batteries. Il doit savoir quels équipements restent alimentés, quels travaux peuvent être différés, quelles réserves doivent rester intouchables et dans quel ordre les charges reviennent après un incident.

Puissance et énergie répondent à deux urgences différentes

Une batterie peut contenir assez de kilowattheures pour plusieurs heures tout en étant incapable de fournir une pointe de démarrage. Inversement, une source de forte puissance peut ne pas avoir l'autonomie nécessaire pour tenir toute la nuit. Les tableaux de délestage doivent donc suivre les deux dimensions.

Le redémarrage à froid doit être testé

Après perte du bus principal, une source indépendante doit pouvoir réalimenter commandes, communications, capteurs, actionneurs et au moins une voie de production. Le retour simultané de toutes les charges peut provoquer un second effondrement à cause des pointes de redémarrage.

L'incertitude de prévision fait partie de la décision

La production solaire, la poussière, l'état des équipements et la disponibilité de maintenance ne sont pas connus avec certitude. Une politique de réserve doit protéger l'énergie nécessaire pour survivre à une erreur de prévision, et rendre les charges industrielles flexibles lorsque la production devient incertaine.

► Exercice — délester sans perdre la marge de survie

Pour relier cet atelier aux références déjà utilisées par le module, consulter [NASA — Power technologies](#) et [NASA Systems Engineering Handbook](#).

Sources primaires et passerelles

- [NASA — Power technologies](#)
- [NASA Systems Engineering Handbook](#)