

Industrie chimique locale: réactifs, procédés et sécurité



Installation de procédé chimique sur Mars avec unités de production et stockage de gaz.

Visualisation conceptuelle — l'industrie chimique locale relie qualité des intrants, réaction, séparation, stockage, utilités, sûreté, maintenance et contrôle analytique.

Produire, purifier, stocker et distribuer les réactifs essentiels d'une implantation martienne sans transformer chaque procédé en nouveau point unique de **défaillance**.

Comprendre le problème avant les équations

Question de départ — Industrie chimique locale: réactifs, procédés et sécurité: comment « Comprendre avant de calculer » agit-il sur « réactif », et quel repère issu de « procédé chimique » permet de vérifier la décision?

Intuition. La colonie veut produire localement oxygène, carburants, fertilisants et polymères sans transformer l'atelier chimique en source majeure d'incendie ou de contamination.



Comprendre avant de calculer

La colonie veut produire localement oxygène, carburants, fertilisants et polymères sans transformer l'atelier chimique en source majeure d'incendie ou de contamination.



réactif

Définition sans prérequis.



procédé chimique

Définition sans prérequis.

Repère concret. Une conversion de 90 % en un passage laisse 10 % du réactif initial à séparer, recycler ou purger.

- Comprendre avant de calculer — La colonie veut produire localement oxygène, carburants, fertilisants et polymères sans transformer l'atelier chimique en source majeure d'incendie ou de contamination.
- réactif — Définition sans prérequis.
- procédé chimique — Définition sans prérequis.

Parcours conseillé pour « Industrie chimique locale: réactifs, procédés et sécurité »: modules 00 à 52 selon le sujet. Dans « Industrie chimique locale: réactifs, procédés et sécurité », l'objectif est de comprendre pourquoi une notion antérieure intervient dans la décision étudiée, pas d'en réciter la notation.

RAMPE ZÉRO PRÉREQUIS · MODULE 53

Comprendre avant de calculer

La colonie veut produire localement oxygène, carburants, fertilisants et polymères sans transformer l'atelier chimique en source majeure d'incendie ou de contamination.

Progression du module — réactif; procédé chimique; conversion; purge.

réactif

Définition sans prérequis. Un **réactif** est une substance consommée ou transformée au cours d'une réaction chimique selon la **stœchiométrie** et les conditions du procédé.

Scène concrète. Hydrogène et CO_2 peuvent être des réactifs d'une **réaction de Sabatier** produisant méthane et eau.

Contrôle mental. Le bilan doit montrer quantité disponible, pureté et consommation par lot; un **réactif** limitant fixe la production maximale même si toutes les autres ressources sont abondantes.

Piège à éviter. La présence d'un réactif dans le stock ne garantit pas la production: pureté, pression, catalyseur, énergie et équipement comptent.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « **réactif** » peut arrêter une chaîne de production locale, accumuler une impureté dangereuse ou consommer un réactif plus vite que prévu.

Exercice guidé — réactif

Situation à reconnaître. Hydrogène et CO_2 peuvent être des réactifs d'une réaction de Sabatier produisant méthane et eau.

Vérification demandée. Le bilan doit montrer quantité disponible, pureté et consommation par lot; un réactif limitant fixe la production maximale même si toutes les autres ressources sont abondantes.

Erreur à écarter. La présence d'un réactif dans le stock ne garantit pas la production: pureté, pression, catalyseur, énergie et équipement comptent.

Corrigé raisonné

Sens précis

Un réactif est une substance consommée ou transformée au cours d'une réaction chimique selon la stœchiométrie et les conditions du procédé.

Test du cas

Le bilan doit montrer quantité disponible, pureté et consommation par lot; un réactif limitant fixe la production maximale même si toutes les autres ressources sont abondantes.

Piège exclu

La présence d'un réactif dans le stock ne garantit pas la production: pureté, pression, catalyseur, énergie et équipement comptent.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « réactif » peut arrêter une chaîne de production locale, accumuler une impureté dangereuse ou consommer un réactif plus vite que prévu.

Quantification

réactif: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

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

procédé chimique

Définition sans prérequis. Un **procédé chimique** organise réactions, séparations, transferts thermiques, recyclages et contrôles pour obtenir un produit de qualité déterminée.

Scène concrète. Produire du méthane demande non seulement un réacteur mais aussi alimentation, contrôle thermique, séparation d'eau et gestion des gaz non convertis.

Contrôle mental. Vérifiez conservation de la matière, énergie nécessaire, rendement et flux de déchets; une équation chimique correcte ne suffit pas à prouver qu'un procédé industriel est viable.

Piège à éviter. Réduire un procédé à l'équation de réaction masque la majorité des équipements et risques opérationnels.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « procédé chimique » peut arrêter une chaîne de production locale, accumuler une impureté dangereuse ou consommer un réactif plus vite que prévu.

Exercice guidé — procédé chimique

Situation à reconnaître. Produire du méthane demande non seulement un réacteur mais aussi alimentation, contrôle thermique, séparation d'eau et gestion des gaz non convertis.

Vérification demandée. Vérifiez conservation de la matière, énergie nécessaire, rendement et flux de déchets; une équation chimique correcte ne suffit pas à prouver qu'un procédé industriel est viable.

Erreur à écarter. Réduire un procédé à l'équation de réaction masque la majorité des équipements et risques opérationnels.

Corrigé raisonné

Sens précis

Un procédé chimique organise réactions, séparations, transferts thermiques, recyclages et contrôles pour obtenir un produit de qualité déterminée.

Test du cas

Vérifiez conservation de la matière, énergie nécessaire, rendement et flux de déchets; une équation chimique correcte ne suffit pas à prouver qu'un procédé industriel est viable.

Piège exclu

Réduire un procédé à l'équation de réaction masque la majorité des équipements et risques opérationnels.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « procédé chimique » peut arrêter une chaîne de production locale, accumuler une impureté dangereuse ou consommer un réactif plus vite que prévu.

Quantification

procédé chimique: relation qualitative ici; aucune unité intrinsèque.

Vérification

procédé chimique: confronter conclusion, contrôle et piège de la carte.

conversion

Définition sans prérequis. La **conversion** mesure la fraction d'un réactif transformée lors d'un passage ou d'un ensemble de passages selon la définition choisie.

Scène concrète. Une conversion de 90 % en un passage laisse 10 % du réactif initial à séparer, recycler ou purger.

Contrôle mental. Un taux de **conversion** doit rester entre 0 et 100 % pour une base donnée; distinguez conversion du réactif, rendement du produit et sélectivité.

Piège à éviter. Conversion n'est pas rendement ni pureté: un réactif peut être converti vers des sous-produits indésirables.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « **conversion** » peut arrêter une chaîne de production locale, accumuler une impureté dangereuse ou consommer un réactif plus vite que prévu.

Exercice guidé — conversion

Situation à reconnaître. Une conversion de 90 % en un passage laisse 10 % du réactif initial à séparer, recycler ou purger.

Vérification demandée. Un taux de conversion doit rester entre 0 et 100 % pour une base donnée; distinguez conversion du réactif, rendement du produit et sélectivité.

Erreur à écarter. Conversion n'est pas rendement ni pureté: un réactif peut être converti vers des sous-produits indésirables.

Corrigé raisonné

Sens précis	La conversion mesure la fraction d'un réactif transformée lors d'un passage ou d'un ensemble de passages selon la définition choisie.
Test du cas	Un taux de conversion doit rester entre 0 et 100 % pour une base donnée; distinguez conversion du réactif, rendement du produit et sélectivité.
Piège exclu	Conversion n'est pas rendement ni pureté: un réactif peut être converti vers des sous-produits indésirables.
Conséquence opérationnelle	Dans ce module, une erreur sur « conversion » peut arrêter une chaîne de production locale, accumuler une impureté dangereuse ou consommer un réactif plus vite que prévu.

purge

Définition sans prérequis. Une **purge** retire volontairement une fraction d'un flux recyclé afin d'empêcher l'accumulation d'impuretés ou d'espèces inertes.

Scène concrète. Sans purge, un gaz inerte entrant en petite quantité peut s'accumuler boucle après boucle.

Contrôle mental. Une **purge** retire des contaminants mais emporte aussi de la matière utile: augmenter la purge doit réduire l'accumulation d'impuretés tout en augmentant les pertes de boucle.

Piège à éviter. Une purge améliore parfois la stabilité du procédé mais augmente les pertes de matière; elle doit être dimensionnée.

Pourquoi cela compte en mission. Dans ce module, une erreur sur « **purge** » peut arrêter une chaîne de production locale, accumuler une impureté dangereuse ou consommer un réactif plus vite que prévu.

Exercice guidé — purge

Situation à reconnaître. Sans purge, un gaz inerte entrant en petite quantité peut s'accumuler boucle après boucle.

Vérification demandée. Une purge retire des contaminants mais emporte aussi de la matière utile: augmenter la purge doit réduire l'accumulation d'impuretés tout en augmentant les pertes de boucle.

Erreur à écarter. Une purge améliore parfois la stabilité du procédé mais augmente les pertes de matière; elle doit être dimensionnée.

Corrigé raisonné

Sens précis

Une purge retire volontairement une fraction d'un flux recyclé afin d'empêcher l'accumulation d'impuretés ou d'espèces inertes.

Test du cas

Une purge retire des contaminants mais emporte aussi de la matière utile: augmenter la purge doit réduire l'accumulation d'impuretés tout en augmentant les pertes de boucle.

Piège exclu

Une purge améliore parfois la stabilité du procédé mais augmente les pertes de matière; elle doit être dimensionnée.

Conséquence opérationnelle

Dans ce module, une erreur sur « purge » peut arrêter une chaîne de production locale, accumuler une impureté dangereuse ou consommer un réactif plus vite que prévu.

Étude intégrée — Industrie chimique locale: réactifs, procédés et sécurité

Situation à analyser. La colonie veut produire localement oxygène, carburants, fertilisants et polymères sans transformer l'atelier chimique en source majeure d'incendie ou de contamination.

- **réactif:** Hydrogène et CO_2 peuvent être des réactifs d'une réaction de Sabatier produisant méthane et eau. Contrôle attendu: Le bilan doit montrer quantité disponible, pureté et consommation par lot; un réactif limitant fixe la production maximale même si toutes les autres ressources sont abondantes.
- **procédé chimique:** Produire du méthane demande non seulement un réacteur mais aussi alimentation, contrôle thermique, séparation d'eau et gestion des gaz non convertis. Contrôle attendu: Vérifiez conservation de la matière, énergie nécessaire, rendement et flux de déchets; une équation chimique correcte ne suffit pas à prouver qu'un procédé industriel est viable.

- **conversion:** Une conversion de 90 % en un passage laisse 10 % du réactif initial à séparer, recycler ou purger. Contrôle attendu: Un taux de conversion doit rester entre 0 et 100 % pour une base donnée; distinguez conversion du réactif, rendement du produit et sélectivité.
- **purge:** Sans purge, un gaz inerte entrant en petite quantité peut s'accumuler boucle après boucle. Contrôle attendu: Une purge retire des contaminants mais emporte aussi de la matière utile: augmenter la purge doit réduire l'accumulation d'impuretés tout en augmentant les pertes de boucle.

Le diagnostic ne doit pas confondre « réactif » et « procédé chimique ». Le premier se reconnaît ici par le cas suivant: Hydrogène et CO_2 peuvent être des réactifs d'une réaction de Sabatier produisant méthane et eau. Le second doit être contrôlé autrement: Vérifiez conservation de la matière, énergie nécessaire, rendement et flux de déchets; une équation chimique correcte ne suffit pas à prouver qu'un procédé industriel est viable.

Une seconde vérification croise « conversion » et « purge ». Gardez comme alerte « Conversion n'est pas rendement ni pureté: un réactif peut être converti vers des sous-produits indésirables. »; pour « purge », utilisez plutôt ce test: Une purge retire des contaminants mais emporte aussi de la matière utile: augmenter la purge doit réduire l'accumulation d'impuretés tout en augmentant les pertes de boucle.

Exercice de synthèse

Dans la situation de « Industrie chimique locale: réactifs, procédés et sécurité », classez les indices selon « réactif » (Le bilan doit montrer quantité disponible, pureté et consommation par lot; un réactif limitant fixe la production maximale même si toutes les autres ressources sont abondantes.), « procédé chimique » (Vérifiez conservation de la matière, énergie nécessaire, rendement et flux de déchets; une équation chimique correcte ne suffit pas à prouver qu'un procédé industriel est viable.), « conversion » (Un taux de conversion doit rester entre 0 et 100 % pour une base donnée; distinguez conversion du réactif, rendement du produit et sélectivité.), «

purge » (Une purge retire des contaminants mais emporte aussi de la matière utile: augmenter la purge doit réduire l'accumulation d'impuretés tout en augmentant les pertes de boucle.) Décision suspendue si un contrôle échoue.

Corrigé de synthèse

Pour réactif, Dans ce module, une erreur sur « réactif » peut arrêter une chaîne de production locale, accumuler une impureté dangereuse ou consommer un réactif plus vite que prévu. Le garde-fou principal est: La présence d'un réactif dans le stock ne garantit pas la production: pureté, pression, catalyseur, énergie et équipement comptent. Pour procédé chimique, Dans ce module, une erreur sur « procédé chimique » peut arrêter une chaîne de production locale, accumuler une impureté dangereuse ou consommer un réactif plus vite que prévu. Le garde-fou principal est: Réduire un procédé à l'équation de réaction masque la majorité des équipements et risques opérationnels. Pour conversion, Dans ce module, une erreur sur « conversion » peut arrêter une chaîne de production locale, accumuler une impureté dangereuse ou consommer un réactif plus vite que prévu. Le garde-fou principal est: Conversion n'est pas rendement ni pureté: un réactif peut être converti vers des sous-produits indésirables. Pour purge, Dans ce module, une erreur sur « purge » peut arrêter une chaîne de production locale, accumuler une impureté dangereuse ou consommer un réactif plus vite que prévu. Le garde-fou principal est: Une purge améliore parfois la stabilité du procédé mais augmente les pertes de matière; elle doit être dimensionnée.

Données du cas

Exercice de synthèse — Dans la situation de « Industrie chimique locale: réactifs, procédés et sécurité », classez les indices selon « réactif » (Le bilan doit montrer quantité disponible, pureté et consommation par lot; un réactif limitant fixe la production maximale même si toutes les autres ressources sont abondantes.), « procédé chimique » (Vérifiez conservation de la matière, énergie nécessaire, rendement et flux de déchets; une équation chimique correcte ne suffit pas à prouver qu'un procédé industriel est viable.), « conversion »

Raisonnement

Corrigé de synthèse Pour réactif, Dans ce module, une erreur sur « réactif » peut arrêter une chaîne de production locale, accumuler une impureté dangereuse ou consommer un réactif plus vite que prévu. Le garde-fou principal est: La présence d'un réactif dans le stock ne garantit pas la production: pureté, pression, catalyseur, énergie et équipement comptent. Pour procédé chimique, Dans ce module, une erreur sur « procédé chimique » peut arrêter une chaîne de production locale, accumuler une impureté dangereuse ou consommer un réactif plus vite que prévu. Le garde-fou principal est: Réduire un procédé à l'équation de réaction masque la majorité des équipements et risques opérationnels. Pour conversion, Dans ce module, une erreur sur « conversion » peut arrêter une chaîne de production locale, accumuler une impureté dangereuse ou consommer un réactif plus vite que prévu. Le garde-fou prin

Résultat

Corrigé de synthèse Pour réactif, Dans ce module, une erreur sur « réactif » peut arrêter une chaîne de production locale, accumuler une impureté dangereuse ou consommer un réactif plus vite que prévu.

Contrôle

elle doit être dimensionnée.

Interprétation

Le garde-fou principal est: Réduire un procédé à l'équation de réaction masque la majorité des équipements et risques opérationnels.

conversion = quantité de réactif consommée / quantité de réactif alimentée

Question de départ

Dans «Corrigé de synthèse», quelle valeur de conversion obtient-on en rapportant quantité de réactif consommée à quantité de réactif alimentée?

Lecture à voix haute

Lecture orale de la relation: «conversion égale quantité de réactif consommée divisé par quantité de réactif alimentée».

Symboles, prononciation et sens

conversion («conversion»): fraction de la matière d'entrée effectivement convertie; quantité de réactif consommée («quantité de réactif consommée»): quantité du réactif effectivement consommée par la réaction; quantité de réactif alimentée («quantité de réactif alimentée»): quantité de réactif introduite dans le procédé

Unités

conversion → sans dimension; quantité de réactif consommée → kg/L/unités; base identique dans le bilan; quantité de réactif alimentée → kg/L/unités; base identique dans le bilan.

Origine et statut des valeurs

Les entrées chiffrées doivent être traçables: mesure, constante citée, donnée de mission ou hypothèse pédagogique annoncée.

Pourquoi cette opération

quantité de réactif consommée est placé au-dessus de la fraction et quantité de réactif alimentée au-dessous: diviser quantité de réactif consommée par quantité de réactif alimentée mesure donc conversion; inverser les deux termes changerait le sens du rapport.

Substitution et calcul

Convertir d'abord quantité de réactif consommée et quantité de réactif alimentée sur la base exigée par «Corrigé de synthèse», puis évaluer (quantité de réactif consommée)/(quantité de réactif alimentée); si une entrée manque, elle reste manquante plutôt que d'être inventée.

Saisie sur calculatrice

Sur la calculatrice, évaluer (quantité de réactif consommée), mémoriser cette valeur, calculer (quantité de réactif alimentée), puis utiliser la division; arrondir conversion seulement après le quotient.

Estimation mentale

Ordre de grandeur: si quantité de réactif consommée est proche de k fois quantité de réactif alimentée, conversion doit être voisin de k. Un écart massif suggère une unité ou une parenthèse erronée.

Contrôle indépendant

Contrôle inverse: multiplier conversion par quantité de réactif alimentée. Le produit doit redonner quantité de réactif consommée à l'arrondi près; sinon revoir la division ou les conversions.

Interprétation physique ou opérationnelle

Dans «Corrigé de synthèse», la valeur issue de «conversion = quantité de réactif consommée / quantité de réactif alimentée» ne se lit jamais seule: son unité, le périmètre étudié et les hypothèses du modèle déterminent ce qu'elle signifie opérationnellement.

Traduction en français courant

En mots, conversion indique combien de quantité de réactif consommée correspondent à une unité de quantité de réactif alimentée dans le périmètre de «Corrigé de synthèse».

Variation / sensibilité

Sensibilité: à quantité de réactif alimentée fixe, +10 % sur quantité de réactif consommée donne +10 % sur conversion; à quantité de réactif consommée fixe, +10 % sur quantité de réactif alimentée divise le ratio par 1,10, soit environ -9,1 %.

Limite / hypothèse

quantité de réactif alimentée doit être non nul et compatible avec quantité de réactif consommée par période, population, surface ou frontière. Sinon conversion peut être calculable mais dépourvu de sens physique.

Progression de maîtrise

1. réactif: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
2. procédé chimique: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
3. conversion: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
4. purge: appliquez le contrôle concret de sa fiche.
5. Synthèse de « Industrie chimique locale: réactifs, procédés et sécurité »: confrontez « réactif » à « procédé chimique »; choisissez le contrôle

prioritaire.

Vérification de maîtrise

Validation 53 — réactif, procédé chimique, conversion, purge. Pour chaque notion: un indice et un contrôle.

Objectifs de maîtrise

- Lire « réactif » comme un problème concret de « Industrie chimique locale: réactifs, procédés et sécurité » et non comme une définition à réciter.
- Contrôler un résultat chiffré lié à « réactif » par une seconde méthode simple.
- Dire quelle donnée supplémentaire manque avant de trancher sur « procédé chimique ».
- Choisir une réponse opérationnelle cohérente avec « conversion » et ses marges.

1. Une colonie ne peut pas vivre seulement de machines

Un habitat produit et consomme en permanence des substances: eau traitée, oxygène, azote ou gaz tampon, nutriments, solvants, matériaux de nettoyage, réactifs analytiques et produits de [maintenance](#). Au début, presque tout vient de la Terre. À mesure que l'implantation grandit, la question n'est pas de fabriquer « toute la chimie » localement, mais d'identifier quelques chaînes de procédé dont l'arrêt immobiliserait plusieurs autres systèmes. L'industrie chimique devient alors une infrastructure de continuité, au même titre que l'énergie ou les communications.

2. Cartographier les flux avant de choisir les réacteurs

Un schéma de procédé commence par les entrées, sorties, recycles et purges. Le [dioxyde de carbone](#) atmosphérique peut alimenter certaines chaînes; l'eau fournit hydrogène et oxygène après électrolyse; le régolithe apporte des oxydes et des sels mais exige extraction et purification. Chaque flèche doit porter un débit, une composition, une pression, une température et une exigence de pureté. Sans cette comptabilité, un sous-produit présenté comme « recyclable » peut simplement s'accumuler jusqu'à contaminer la boucle.

3. Pureté: le bon niveau, pas la pureté absolue

La pureté nécessaire dépend de l'usage. Un gaz pour [pressurisation](#), un réactif de synthèse, une eau destinée à l'électrolyse et une solution d'analyse n'ont pas les mêmes critères. Sur Mars, surpurifier coûte énergie, consommables et maintenance; sous-purifier peut empoisonner un catalyseur ou fausser une mesure. La spécification doit donc relier directement la limite d'impureté à un risque: corrosion, rendement, santé, durée de vie du catalyseur ou qualité scientifique.

4. Réacteurs, séparations et recirculation

La transformation chimique n'est qu'une partie d'une unité de procédé. Il faut aussi chauffer ou refroidir, comprimer, séparer gaz et liquides, filtrer, sécher, mesurer et renvoyer une fraction du flux en tête de procédé. Les séparations peuvent dominer la consommation énergétique. Une architecture crédible représente donc la chaîne complète, pas seulement l'équation chimique qui donne le produit désiré.

5. Catalyseurs et consommables invisibles

Un procédé « utilisant des [ressources locales](#) » peut rester dépendant d'un catalyseur, d'une membrane, d'une résine ou d'un étalon importé. Ces éléments doivent figurer dans la matrice de dépendance Terre. Leur masse annuelle peut être faible mais leur criticité énorme. La stratégie combine stock, durée de vie mesurée, régénération éventuelle, alternatives et capacité à fonctionner temporairement avec un rendement dégradé.

6. Stockage et compatibilité chimique

Un réservoir n'est pas un volume abstrait. Matériaux, joints, lubrifiants, capteurs, température et pression doivent être compatibles avec le produit. Les réactifs incompatibles sont séparés physiquement; les vidanges et événements sont dirigés vers une zone sûre; les raccords sont différenciés lorsque l'erreur de connexion serait dangereuse. Les stocks tampons servent aussi à découpler deux unités afin qu'une maintenance sur l'une n'arrête pas immédiatement l'autre.

7. Instrumentation: mesurer ce qui permet de décider

Un procédé distant de la Terre doit détecter dérive et [contamination avant](#) qu'elles deviennent une panne générale. Débit, pression, température, conductivité, composition ou différence de pression ne sont utiles que si une action leur est associée. Un capteur critique doit aussi être vérifiable: référence croisée, étalon, test fonctionnel ou mesure redondante. Sinon l'automatisation peut prendre une mauvaise décision avec une valeur parfaitement affichée mais fausse.

8. Sécurité et confinement

Les risques combinent pression, température, toxicité, inflammabilité, réactivité et manque d'oxygène. La première barrière est souvent la réduction de l'inventaire dangereux: produire par petits lots, isoler les volumes et éviter de stocker inutilement de grandes quantités. Viennent ensuite ventilation, détection, confinement, procédures, équipements de protection et moyens de mise en sécurité. L'analyse doit inclure les scénarios où alimentation électrique, extraction d'air ou [télémétrie](#) sont eux-mêmes dégradés.

Approfondissement: transformer les purges en ressources

Un procédé fermé à 100 % n'existe pas. Des impuretés s'accumulent et imposent des purges. Au lieu de considérer ces flux comme de simples déchets, l'ingénierie examine leur composition et leur potentiel: [récupération](#) d'eau, séparation d'un sel, neutralisation puis réutilisation, ou stockage sûr en attendant une future filière. L'objectif n'est pas de tout recycler à tout prix mais de connaître exactement ce qui est perdu et pourquoi.

Approfondissement: campagne de qualification locale

Une nouvelle unité chimique ne passe pas directement du montage à la production vitale. Elle est d'abord testée avec un lot contrôlé, des limites opérationnelles conservatrices et une instrumentation renforcée. Les rendements, contaminants et dérives sont comparés aux hypothèses. La capacité est ensuite augmentée progressivement. Cette logique protège la colonie contre une erreur de conception qui contaminerait immédiatement une grande réserve commune.

9. Exemple calculé: rendement et stock tampon

Une unité doit fournir 18 kg/j d'un produit utile. Le rendement matière global mesuré est de 72 %. La quantité minimale de matière première utile équivalente est donc $18 \div 0,72 = 25$ kg/j. Si l'on souhaite quatre jours de tampon entre production et consommation, le stock de produit fini doit être au moins $18 \times 4 = 72$ kg, auquel on ajoute la marge décidée pour [incertitude](#) et maintenance. Le calcul distingue bien la matière première quotidienne du stock de produit fini.

Étude de cas calculée: bilan matière simplifié de la réaction de Sabatier

HYPOTHÈSE PÉDAGOGIQUE — On considère la réaction idéale $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$. Le lot contient 100 kg de CO_2 et le procédé atteint 85 % du rendement massique théorique en méthane.

On note $M_{\text{CO}_2} = 44$ g/mol, $M_{\text{H}_2} = 2$ g/mol et $M_{\text{CH}_4} = 16$ g/mol les [masses](#) molaires; m_{CO_2} la masse de CO_2 ; η le rendement, sans unité; m_{CH_4} la masse de méthane.

Par stœchiométrie, 44 g de CO_2 correspondent à 16 g de CH_4 et nécessitent 8 g de H_2 . Méthane théorique: $100 \times 16 \div 44 = 36,36$ kg. À 85 %: $36,36 \times 0,85 = 30,91$ kg de CH_4 . Hydrogène théorique requis: $100 \times 8 \div 44 = 18,18$ kg de H_2 .

Ce bilan est volontairement simplifié: il ne traite ni pureté, ni [recyclage](#) des gaz, ni énergie, ni cinétique. Il montre comment la stœchiométrie fixe d'abord l'ordre de grandeur des flux matière.

10. Exercice

Une boucle consomme 12 kg/j de réactif. La production locale fonctionne à 80 % de disponibilité et, lorsqu'elle fonctionne, peut produire 18 kg/j. Calculer la production moyenne, le surplus moyen et proposer un stock tampon capable d'absorber une maintenance planifiée de cinq jours.

11. Solution raisonnée

La production moyenne vaut $18 \times 0,80 = 14,4$ kg/j. Le surplus moyen par rapport à la consommation est donc 2,4 kg/j. Une interruption de cinq jours exige au moins $12 \times 5 = 60$ kg disponibles avant l'arrêt, hors marge. Le surplus reconstitue ce stock en $60 \div 2,4 = 25$ jours si aucune autre perte n'existe. Ce résultat montre que disponibilité et cadence de reconstitution comptent autant que la capacité nominale.

12. Mini-projet

Choisir une chaîne chimique critique de la colonie et produire un diagramme des flux, la liste des réactifs et consommables importés, deux modes de panne, les capteurs nécessaires, la stratégie de confinement et un stock tampon justifié. Le dossier doit expliquer ce qui se passe si l'unité reste indisponible pendant une fenêtre complète de ravitaillement.

Industrie chimique locale : dimensionner les flux frais, les rendements et les purges

Produire localement un réactif utile exige davantage qu'une équation chimique. Il faut une alimentation disponible, une fraction réellement exploitable, un rendement de procédé, des séparations, une énergie spécifique, des matériaux compatibles et une stratégie pour les impuretés et sous-produits.

Le rendement relie production cible et ressource fraîche

Une production nominale ne dit rien sur la quantité de matière d'alimentation nécessaire. Le calcul doit intégrer rendement global et fraction utile de la matière brute, puis vérifier que les étapes de séparation et purification supportent ce débit.

Les boucles de recyclage concentrent aussi les impuretés

Recycler solvants, eau ou réactifs réduit les imports, mais certaines espèces s'accumulent. Une purge contrôlée peut être indispensable, avec mesure de composition et appoint de matière fraîche.

La chimie locale se priorise par effet d'autonomie

Les meilleurs candidats ne sont pas forcément les molécules les plus sophistiquées. On compare criticité, masse importée, stabilité, besoin récurrent, faisabilité, énergie, risques et dépendance à des catalyseurs ou consommables rares.

Débit d'alimentation fraîche simplifié

$$F_{\text{frais}} = P_{\text{cible}} / (Y \times x_{\text{utile}})$$

P_{cible} est le débit de produit recherché, Y le rendement global et x_{utile} la fraction utile de l'alimentation. L'expression rend immédiatement visible le coût d'un rendement faible ou d'une ressource peu concentrée.

► Exercice — choisir une production locale prioritaire

Pour relier cet atelier aux références déjà utilisées par le module, consulter [NASA JSC — In-Situ Resource Utilization](#) et [NASA — Environmental Control and Life Support Systems](#).

Sources primaires et passerelles

- [NASA JSC — In-Situ Resource Utilization](#)
- [NASA — Environmental Control and Life Support Systems](#)
- [NASA — Moon to Mars Architecture Components](#)