

Électrolyse de l'eau — produire de l'oxygène sans créer de matière

Version PDF de travail - contenu du cours HTML canonique

Boussole du cours

Question directrice : Comment l'électricité peut-elle séparer l'eau en hydrogène et oxygène, et que devient chaque atome ?

Réponse essentielle

Électrolyse de l'eau — produire de l'oxygène sans créer de matière. La question à résoudre est la suivante : Comment l'électricité peut-elle séparer l'eau en hydrogène et oxygène, et que devient chaque atome ? L'électrolyse fournit de l'énergie électrique pour forcer une réaction qui ne se produit pas spontanément à cette vitesse. La réaction doit conserver les atomes : à gauche, 4 H et 2 O ; à droite, 4 H dans 2 H₂ et 2 O dans O₂. La suite du cours montre comment passer de cette idée à un raisonnement contrôlable : unités explicites, hypothèses annoncées, calculs reproductibles, ordre de grandeur et limites d'interprétation. Le résultat n'est utile que si l'on peut expliquer ce qu'il mesure, d'où viennent les nombres et quelle décision d'ingénierie il éclaire.

Synthèse de départ : les démonstrations, exemples, limites et sources sont développés dans le corps du cours.

Mots clés avant de commencer

mole · rendement · unité · ordre de grandeur · hypothèse

1 — La question physique

Comment l'électricité peut-elle séparer l'eau en hydrogène et oxygène, et que devient chaque atome ?

2 — Symboles, lecture et unités

H₂O — eau ; H₂ — dihydrogène ; O₂ — dioxygène ; flèche — transformation chimique ; coefficients 2,2,1 — proportions stœchiométriques.

3 — D'où vient la relation ?

L'électrolyse fournit de l'énergie électrique pour forcer une réaction qui ne se produit pas spontanément à cette vitesse. La réaction doit conserver les atomes : à gauche, 4 H et 2 O ; à droite, 4 H dans 2 H₂ et 2 O dans O₂.

4 — A — Compter les molécules

2 molécules d'eau donnent 2 molécules de H₂ et 1 molécule de O₂ dans l'écriture stœchiométrique.

5 — B — Travailler en moles

2 mol H₂O → 2 mol H₂ + 1 mol O₂. Les coefficients deviennent directement des rapports de quantité de matière.

6 — C — Travailler en masses

En approximation scolaire : 36 g d'eau correspondent à 4 g H₂ + 32 g O₂. 4+32=36 g : la masse totale est conservée.

7 — Comprendre plus loin

L'électricité apporte de l'énergie, pas des atomes

Le courant électrique ne se transforme pas en oxygène. Il permet de réorganiser les liaisons chimiques de molécules d'eau déjà présentes.

Pourquoi l'ISS est un bon exemple

L'Oxygen Generating Assembly de l'ISS utilise une électrolyse à membrane polymère pour dissocier l'eau. L'oxygène va vers l'atmosphère cabine, tandis que l'hydrogène peut être envoyé vers un système de réduction du CO₂.

L'efficacité énergétique devient une question d'ingénierie

Le bilan chimique seul ne dit pas combien d'électricité, de refroidissement, de maintenance ou de remplacement de cellules sont nécessaires. Une implantation martienne doit donc distinguer rendement chimique théorique et performance industrielle réelle.

L'équation globale cache deux demi-réactions

Une cellule électrochimique sépare les transformations qui se produisent aux deux électrodes. Parler de demi-réactions permet de suivre où les électrons sont produits ou consommés et quels ions traversent l'électrolyte. Le cours reste volontairement au niveau conceptuel : l'objectif est de comprendre le bilan de matière avant les détails de conception d'un électrolyseur réel.

Courant et quantité produite sont liés

Le courant mesure un débit de charge électrique. Pendant une durée t , une charge totale $Q=I \times t$ traverse le circuit. Les lois de Faraday relient ensuite cette charge au nombre de moles transformées. Cela explique pourquoi augmenter le courant peut augmenter le rythme de production, mais aussi les pertes, l'échauffement et les contraintes de l'équipement.

La tension réelle dépasse la tension thermodynamique minimale

Une réaction possède une exigence énergétique thermodynamique, mais une cellule réelle subit surtensions, résistances électriques et pertes de transport. Il faut donc appliquer une tension pratique supérieure au minimum théorique. La différence devient chaleur ou pertes électrochimiques : c'est un nouvel exemple du réflexe "où part l'énergie ?".

Séparer les gaz fait partie du système

Produire H₂ et O₂ ne suffit pas : il faut empêcher un mélange dangereux, gérer pression, humidité, pureté, capteurs et évacuation. Une membrane ou une architecture de cellule contribue à cette séparation. La performance chimique doit donc être analysée avec la sécurité et la qualité des produits.

L'électrolyse s'insère dans une chaîne de ressources

Sur un système de support-vie, l'eau alimente la production d'oxygène, tandis que l'hydrogène peut participer à une réduction du CO₂. Sur Mars, la même chimie peut aussi servir de maillon d'une chaîne ISRU. Le dimensionnement dépend alors du besoin journalier, du stockage tampon, de la puissance électrique et du niveau de redondance choisi.

8 — Exercices et corrigés

Défi 1

A — Compter les molécules : refaites le raisonnement avec les valeurs indiquées, puis expliquez le sens physique du résultat.

Défi 2

B — Travailler en moles : refaites le raisonnement avec les valeurs indiquées, puis expliquez le sens physique du résultat.

Défi 3

C — Travailler en masses : refaites le raisonnement avec les valeurs indiquées, puis expliquez le sens physique du résultat.

9 — Sources primaires et techniques

- NASA — Environmental Control and Life Support Systems
- NASA NTRS — Electrochemical Solutions for Advanced Life Support
- NASA — Water recovery milestone on ISS