

## Stœchiométrie et bilan de matière

### THÉMATIQUE

- Transformation chimique.

### CONCEPTS OU NOTIONS ABORDÉS

- Quantité de matière.
- Proportions stœchiométriques.
- Réactif en excès, réactif en défaut.
- Etat final d'un système chimique siège d'une transformation chimique.

### OBJECTIFS DE FORMATION

- Déterminer la quantité de matière d'un solide ou d'un liquide à partir de la masse prélevée.
- Déterminer la quantité de matière d'un gaz à partir du volume et du volume molaire à une température donnée.
- Déterminer la quantité de matière d'un liquide à partir de sa masse volumique ou de sa densité et du volume prélevé.
- Rechercher la valeur d'une masse d'un réactif pour être dans les proportions stœchiométriques, la masse de l'autre réactif étant donnée.
- Rechercher le réactif limitant pour un mélange initial donné.
- Déterminer l'état final d'un système chimique siège d'une transformation chimique totale.

## Introduction

Consulter la page éducol associée au thème « [Programmer en physique-chimie](#) ».

## Présentation des activités

Dans le contexte de l'utilisation de propergols pour la propulsion d'une fusée, les élèves sont amenés à construire des programmes simples dans le langage de leur choix afin d'évaluer des masses, des quantités de matière ou des volumes en relation avec la réaction chimique modélisant la transformation chimique, et en prenant en compte sa stœchiométrie.

## LOGICIELS UTILISÉS

- Regressi<sup>®</sup>
- Calc
- Python

## CAPACITÉS NUMÉRIQUES TRAVAILLÉES

- Définir des paramètres numériques.
- Réaliser un calcul simple (addition, produit).
- Utiliser des opérateurs logiques.

## Exemple de contextualisation

De nos jours la propulsion des véhicules spatiaux est couramment réalisée à partir de deux composés liquides distincts appelés propergols. Une fois mis en contact, ils donnent lieu à une réaction chimique qui produit les gaz indispensables à la propulsion des fusées.

Il existe de nombreuses combinaisons de propergols ayant fait leurs preuves et conduisant à toute une variété de propulsion répondant aux différents besoins : libération de la pesanteur terrestre, vol stationnaire... Ainsi la réaction entre le peroxyde d'azote ( $N_2O_4$  noté NTO) et la 1,1-diméthylhydrazine liquide ( $NH_2-N(CH_3)_2$ , notée UDMH) est cruciale pour la propulsion des fusées hors de l'atmosphère terrestre et a notamment été utilisée dans le moteur Viking 4 de la fusée Ariane 4.

Durant le vol, la consommation du moteur est évaluée à  $275 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$  de propergol (NTO/UDMH dans un rapport massique de 1,86/1) sur une durée moyenne de 170 secondes.

On fournit les données numériques relatives aux propergols étudiés :

	Formule brute	Masse molaire en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$	Masse volumique à $20^\circ\text{C}$ en $\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$
NTO	$N_2O_4$	92	1,45
UDMH	$C_2N_2H_8$	60,1	0,79

Volume molaire d'un gaz dans les conditions de l'éjection :  $V_m = 24 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

## De la situation physique au traitement numérique

Dans l'activité proposée, il s'agit d'écrire plusieurs petits programmes afin d'effectuer des exploitations) de la transformation chimique de divers mélanges initiaux (via l'utilisation d'un tableur ou à l'aide de Python).

### Pistes de validation

L'élève peut valider sa démarche après chaque application en vérifiant la pertinence du résultat obtenu ou en vérifiant la validité du programme sur un cas limite.

## Ce que les élèves doivent retenir

La connaissance de la masse et de la masse molaire d'une part, ou celle du volume, de la masse volumique et de la masse molaire d'autre part permet de déterminer la valeur de la quantité de matière. L'examen des nombres stœchiométriques permet de discuter des quantités introduites par rapport aux proportions stœchiométriques et ainsi de parvenir à la notion de réactif en excès ou en défaut, par l'intermédiaire de l'avancement. Enfin un bilan de matière peut être réalisé en reliant l'avancement et quantités de matière par l'intermédiaire des nombres stœchiométriques.

## Activité

Les propositions suivantes ne sont pas prescriptives. Il s'agit de bases pour illustrer la situation d'apprentissage qu'il convient d'ajuster en fonction de sa place dans la progression et dans la séquence pédagogique, du niveau de maîtrise par les élèves de l'outil informatique choisi, etc.

### Exemples de consignes pour les élèves

#### Programmation (compétence Réaliser)

1. Écrire un algorithme et le mettre en œuvre avec le langage approprié en ayant pour variables d'entrée le temps de fonctionnement  $T_{\text{fonc}}$  d'un moteur Viking 4 et donnant en réponse la masse totale de propergol nécessaire  $m_{\text{tot}}$ .

Évaluer la masse de propergol nécessaire au fonctionnement d'un moteur Viking 4 pour le lancement d'une fusée Ariane 4.

2. Écrire un algorithme et le mettre en œuvre avec le langage approprié en ayant pour variables d'entrée la masse totale de propergol consommée dans un moteur Viking 4  $m_{\text{tot}}$  et donnant en réponse les masses de NTO  $m_{\text{NTO}}$  et de UDMH  $m_{\text{UDMH}}$  nécessaires.

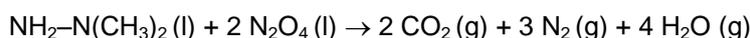
Évaluer les masses de NTO et de UDMH nécessaires au fonctionnement d'un moteur Viking 4 pour le lancement d'une fusée Ariane 4.

Les deux propergols utilisés pour cette propulsion sont liquides dans leurs conditions d'utilisation. Outre leur masse, il est crucial de connaître le volume qu'ils occuperont pour optimiser l'espace et l'agencement de la fusée.

3. Écrire un algorithme et le mettre en œuvre avec le langage approprié en ayant pour variables d'entrée la masse d'un liquide  $m$  et sa masse volumique  $\rho$  et donnant en réponse le volume  $V$  qu'il occupe.

Évaluer les volumes de NTO et de UDMH nécessaires au fonctionnement d'un moteur Viking 4 pour le lancement d'une fusée Ariane 4.

La transformation chimique entre le NTO et le UDMH est totale dans les conditions du vol. Elle produit des espèces gazeuses en quantités suffisantes pour assurer la propulsion sur le temps de fonctionnement moyen et peut être modélisée par réaction dont l'équation est la suivante :



4. Écrire un algorithme et le mettre en œuvre avec le langage approprié en ayant pour variables d'entrée le volume d'un liquide  $V$ , sa masse volumique  $\rho$  et sa masse molaire  $M$  et donnant en réponse sa quantité de matière  $n$ .

Évaluer les quantités de matière de NTO et de UDMH nécessaires au fonctionnement d'un moteur Viking 4 pour le lancement d'une fusée Ariane 4.

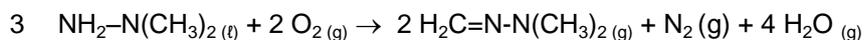
5. Écrire un algorithme et le mettre en œuvre avec le langage approprié en ayant pour variables d'entrée la masse de UDMH placée dans le réservoir du moteur  $m_{\text{UDMH}}$ , sa masse molaire  $M_{\text{UDMH}}$ , la masse molaire du NTO  $M_{\text{NTO}}$  et donnant en réponse la masse de NTO  $m_{\text{NTO}}$  nécessaire pour être dans les proportions stœchiométriques.

Indiquer si le mélange de propergols est stœchiométrique dans les conditions mises en œuvre pour le moteur Viking 4 d'Ariane 4. Préciser la nature du réactif limitant.

6. Écrire un algorithme et le mettre en œuvre avec le langage approprié en ayant pour variables d'entrée la masse d'UDMH placée dans le réservoir du moteur  $m_{\text{UDMH}}$ , sa masse molaire  $M_{\text{UDMH}}$ , la masse de NTO introduite  $m_{\text{NTO}}$ , la masse molaire du NTO  $M_{\text{NTO}}$  et donnant en réponse la composition en quantité de matière du panache éjecté par la fusée.

Déterminer la valeur du rapport massique minimal NTO/UDMH pour s'assurer que l'UDMH n'est pas en défaut par rapport au NTO.

Cette question de la stœchiométrie est cruciale car la fusée évolue lors de sa phase atmosphérique dans le dioxygène. Or une réaction de combustion potentiellement dangereuse peut se produire si l'UDMH se trouve en excès et au contact du dioxygène atmosphérique, son équation est la suivante :



7. Écrire un algorithme et le mettre en œuvre avec le langage approprié en ayant pour variables d'entrée la masse d'UDMH réagissant avec le dioxygène  $m_{\text{UDMH}}$ , sa masse molaire  $M_{\text{UDMH}}$ , le volume molaire d'un gaz dans les conditions de l'étude  $V_m$  et donnant en réponse le volume de dioxygène nécessaire à la réaction  $V_{\text{O}_2}$ .

Évaluer le volume de dioxygène qui serait nécessaire pour réagir avec la totalité de l'UDMH embarqué dans la fusée.

Expliquer alors l'intérêt d'utiliser un réactif liquide comme le NTO pour réaliser cette propulsion, malgré sa toxicité.

### Expérimentation numérique et validation de la programmation (compétence Valider)

Pour chacun des programmes, vérifier la pertinence des résultats trouvés par rapport aux données ou vérifier la validité du programme pour un cas limite.