

Titre : Fusée et mélange stœchiométrique

DESCRIPTIF DE L'ACTIVITÉ

Objectif	<ul style="list-style-type: none"> • Détermination expérimentale des proportions stœchiométriques d'une transformation chimique. • Modélisation d'une transformation chimique par une réaction chimique. • Écriture symbolique d'une réaction chimique. • Tirer des fusées ! 	
Niveau concerné	Seconde	
Programme	Notion et contenus	Capacités exigibles Activités expérimentales support
	<ul style="list-style-type: none"> • Modélisation macroscopique d'une transformation par une réaction chimique. • Écriture symbolique d'une réaction chimique. • Notion de stœchiométrie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modéliser, à partir de données expérimentales, une transformation par une réaction, établir l'équation de réaction associée et l'ajuster.
Place de l'activité dans la progression	Activité introductive du chapitre "Transformation chimique". Pré requis : Entités chimiques : atomes et molécules.	
Compétences de la démarche scientifique évaluées	Cette activité permet d'évaluer les compétences de la démarche scientifique. <ul style="list-style-type: none"> • Réaliser (REA) Réaliser une expérience en respectant les consignes de sécurité. • Valider (VAL) Comparer des résultats expérimentaux à des données. • Raisonner (RAI) Utiliser un modèle pour interpréter des résultats expérimentaux. 	
Mode d'évaluation	Évaluation formative.	
Mise en œuvre de l'activité	Après deux courtes vidéos et un premier lancement de mini fusée réalisé par le professeur, les élèves suivent l'activité. Une question est proposée avec différents niveaux d'aide. Travail en groupe de deux ou trois.	
Outils numériques utilisés	Ordinateur et réseau, vidéoprojecteur.	
Remarques	En annexe.	
Auteur(s)	Yves Duarte	

L'ACTIVITÉ

Fusée et Mélange stœchiométrique

Nom, Prénom :

autoéval

eval

Compétences travaillées

Objectifs :

- Déterminer expérimentalement les proportions stœchiométriques d'une transformation chimique
- Modélisation macroscopique d'une transformation par une réaction chimique.
- Écriture symbolique d'une réaction chimique.



Photo : <https://cnes.fr/fr/mars-la-nouvelle-frontiere>

Réaliser : Réaliser une expérience en respectant les consignes de sécurité

Valider : Comparer des résultats expérimentaux à des données

Raisonner : Utiliser un modèle pour interpréter des résultats expérimentaux

CONTEXTE

Lanceur SLS Nasa : <https://ladigitale.dev/digiview/#/v/647fa3c6b8f65>

Lanceur Starship SpaceX (prototype SN15) : <https://ladigitale.dev/digiview/#/v/647fa4699c0ee>

Pour envoyer une charge utile dans l'espace, il faut un lanceur (une fusée) souvent constitué de plusieurs étages.

Le premier étage, responsable de la poussée initiale, est constitué d'un réservoir de combustible, d'un réservoir de comburant et d'un ou plusieurs moteurs.

Pour le Space Launch Système SLS, un mélange de dihydrogène et de dioxygène est injecté dans la tuyère du moteur où il subit une combustion et se transforme en eau, ce qui permet de générer une poussée. On cherche à obtenir la poussée la plus importante pendant la durée la plus longue.

QUESTION

Quel doit être le rapport de proportion idéale de dihydrogène H_2 et de dioxygène O_2 pour que la combustion soit la plus efficace possible ?

DOCUMENTS

Document n°1 : Le laboratoire de mini fusée est constitué :

- d'un **pas de tir** générant une petite étincelle qui permet de faire exploser le mélange de gaz.



- d'un **réservoir de gaz pour le mélange détonant** constitué du réservoir d'un compte-goutte en plastique et de sa partie conique. Des repères sont tracés de manière à délimiter différents compartiments.

Le réservoir doit être rempli de gaz par déplacement d'eau.

La partie conique est retournée et enfoncée dans le réservoir, elle permet de bloquer l'eau à l'intérieur. Cette partie conique ne doit pas empêcher l'eau de sortir lors de la collecte des gaz, elle ne doit pas être bloquée dans le réservoir, il doit rester du jeu.

- d'un **générateur de gaz dioxygène** et d'un **générateur de gaz dihydrogène**



Document n°2 : Liste du matériel

Par paillasse :

- Un couvercle de boîte de Pétri
- Pissette d'eau
- Réservoir-fusée gradué en différents compartiments

Pour deux paillasses :

- Un flacon générateur de H_2 (g)
- Un flacon générateur de O_2 (g)

Pour la classe :

- Un pas de tir générateur d'étincelles
- Un décimètre

Document n°3 : SLS

Le Space Launch System (litt. « système de lancement spatial »), abrégé SLS, est un lanceur spatial super-lourd américain développé par la NASA depuis 2011 et dont le premier vol a eu lieu le 16 novembre 2022. Cette fusée sera chargée de placer le vaisseau Orion transportant l'équipage sur une trajectoire à destination de la Lune.

Elle peut placer 70 tonnes en orbite terrestre basse et 28 tonnes vers la Lune.

Hauteur : 98 m ;

Diamètre : 8,4 m



1er étage :

- 4 moteurs RS 25

- un réservoir de $1,0 \cdot 10^5$ kg d'hydrogène liquide

- un réservoir $7,9 \cdot 10^5$ kg d'oxygène liquide

La combustion d'un mélange de dihydrogène $H_{2(g)}$ et de dioxygène $O_{2(g)}$ produit de l'eau $H_2O_{(g)}$

Document n°4 : Starship

Le Starship (propulsé par le premier étage « Super Heavy »), est un lanceur spatial super-lourd en cours de développement par SpaceX, visant une capacité à placer une charge utile de plus de 100 tonnes en orbite basse. Ce nouveau lanceur aura la particularité d'être entièrement réutilisable et pourrait jouer un rôle central dans les ambitions de la compagnie pour la colonisation de Mars.

Hauteur : 119 m

Diamètre : 9 m

1er étage :

- 33 moteurs Raptor

- $7,0 \cdot 10^5$ kg de méthane liquide

- $2,7 \cdot 10^6$ kg d'oxygène liquide



La combustion du méthane $CH_{4(g)}$ et du dioxygène $O_{2(g)}$ produit de l'eau $H_2O_{(g)}$ et du dioxyde de carbone $CO_{2(g)}$

Document n°5 : Modèle de la réaction chimique

La **réaction chimique** est la modélisation, à l'échelle macroscopique, d'une transformation chimique.

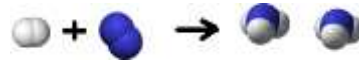
Lorsque des réactifs constitués d'éléments chimiques subissent une **transformation chimique**, de nouveaux produits apparaissent : il y a une redistribution d'éléments des réactifs pour former des produits.

Lors de cette redistribution, le **même nombre d'éléments** (H, C, N, O, etc..) qui se trouvaient dans les réactifs, se retrouvent dans les produits, on dit qu'il y a **conservation des éléments**. Afin qu'il y ait autant d'éléments de chaque côté, de l'équation, on ajuste les coefficients multiplicateurs devant les molécules.

Exemple : La formation de l'ammoniaque $NH_{3(g)}$ nécessite du diazote $N_{2(g)}$ et du dihydrogène $H_{2(g)}$:



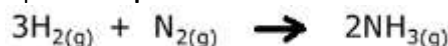
Mais cette réaction n'est pas équilibrée, il manque un atome d'azote dans les produits. On ajoute alors un NH_3 coté produit :



Cette réaction n'est toujours pas équilibrée, il manque des hydrogènes H dans les réactifs. On ajoute alors deux molécules de dihydrogène H_2 dans les réactifs :



Cette réaction équilibrée est **symbolisée** par une **équation de réaction** :



Les coefficients multiplicateurs devant les molécules sont appelés **coefficients stoechiométriques**.

Document n°6 : Quelques données

-Masse d'un atome d'hydrogène H : $m(H) = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg

- Masse d'un atome d'oxygène O : $m(O) = 2,66 \cdot 10^{-26}$ kg

- Masse d'un atome de carbone C : $m(C) = 2,00 \cdot 10^{-26}$ kg

Rappel : la masse d'une molécule est égale à la masse des atomes qui la composent.

TRAVAIL A EFFECTUER

1. Rédiger et proposer un protocole à votre professeur pour répondre expérimentalement à la question posée. Identifier les pictogrammes de sécurité associés au matériel ainsi que les risques liés à cette manipulation et indiquer les précautions à prendre.



Appeler le professeur pour lui présenter la démarche ou en cas de difficulté



2. Réaliser l'expérience, noter vos résultats dans un tableau puis répondre à la question posée.

Volume de H ₂ en graduation	0	1	1,5	2	3
Volume de O ₂ en graduation	3	2	1,5	1	0
Distance horizontale parcourue (en m)					

Validation

3. Le volume d'un gaz ne dépend pas de sa nature, c'est à dire que deux échantillons de dioxygène et de dihydrogène d'un même volume seront constitués d'un même nombre de molécules :

$$\frac{N_{H_2}}{N_{O_2}} = \frac{V_{H_2(g)}}{V_{O_2(g)}}$$

Calculer le rapport $\frac{N_{H_2}}{N_{O_2}}$ le plus efficient déterminé expérimentalement

4. **Démarche experte :**

En expliquant votre démarche et en réalisant les calculs nécessaires, vérifier que ce rapport expérimental est en accord avec les caractéristiques du premier étage de la fusée SLS.



Appeler le professeur en cas de difficulté



Démarche avancée :

- Calculer le nombre de molécules de dihydrogène et de dioxygène contenues dans les réservoirs du premier étage du SLS.
- Calculer le rapport entre les deux puis le comparer aux résultats expérimentaux.



Appeler le professeur en cas de difficulté



Démarche d'initiation :

A demander au professeur

Modélisation

5. En utilisant la représentation symbolique de la réaction chimique de la combustion du dihydrogène avec le dioxygène, expliquer comment le modèle de la réaction chimique permet de prévoir la proportion optimale de H_2 et de O_2 à utiliser (doc 5 + 3) :



Appeler le professeur en cas de difficulté



Application

6. Vérifier à l'aide du modèle de la réaction chimique que la quantité d'ergols (carburant et comburant) utilisés par SpaceX dans son lanceur Starship est optimale.

Annexes

■ Aides pour la question 4 :

Démarche d'initiation :

- Calculer la masse $m(O_2)$ d'une molécule de dioxygène et la masse $m(H_2)$ d'une molécule de dihydrogène. (doc 6)
- Exprimer la relation entre le nombre $N(H_2)$ de molécules de H_2 , la masse m d'un échantillon de H_2 et la masse $m(H_2)$ d'une molécule de H_2 . Puis même chose pour le dioxygène.
- Calculer alors le nombre de molécules de dioxygène et de dihydrogène embarquées par le premier étage du SLS (doc 3)
- Comparer (calculer le rapport) le nombre de molécules de dihydrogène et le nombre de molécules de dioxygène utilisé par le premier étage du SLS.
- Comparer le résultat obtenu avec celui de la question 3

■ Sources :

http://physicus.free.fr/seconde-2019/pdf/TP/TP_combustion_H2_stoechiometrie.pdf

https://fr.wikipedia.org/wiki/Space_Launch_System

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Starship_\(fus%C3%A9e\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Starship_(fus%C3%A9e))

■ Photos :

Photo SLS : https://images.nasa.gov/details-KSC-20220318-PH-KLS03_0061

Photo Starship : <https://www.flickr.com/photos/195131646@N04/51912424446>

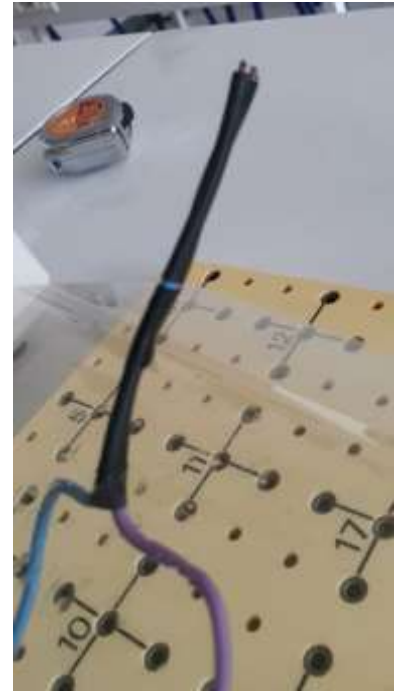
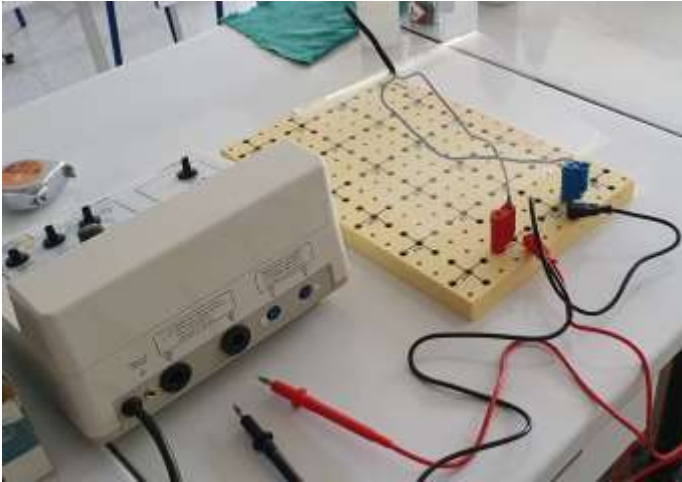
■ Vidéos :

Vidéo « Lanceur SLS Nasa » issue du site : <https://youtu.be/FWPS7sNMOPw>

Vidéo « Lanceur Starship SpaceX (prototype SN15) » issue du site : <https://youtu.be/7CZTLogIn34>

■ Détails du pas de tir :

Le générateur d'étincelles d'une table à coussin d'air peut être utilisé, ainsi que deux câbles rigides de $1,5\text{mm}^2$, dénudés à leur extrémité et maintenus par de la gaine thermo rétractable. Une feuille plastique trouée protège le pas de tir des éclaboussures. Le pas de tir est orienté en direction de l'allée centrale avec une inclinaison permettant aux fusées ne pas toucher le plafond, un décimètre est déroulé sur le sol.



■ Générateur de gaz dihydrogène et dioxygène

Pour produire le gaz H_2 on peut utiliser une solution d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$) 3 mol.L^{-1} avec une petite spatule de grenaille de zinc.

Pour produire le gaz O_2 on utilise une solution d'eau oxygénée H_2O_2 10V avec quelques mm^3 de levure de boulanger.

Les flacons générateurs de gaz ont des bouchons troués surmontés d'un tuyau souple collé.

Une fois que le réservoir est rempli d'eau, il faut maintenir la partie conique du réservoir suffisamment serrée au tuyau du générateur de gaz. Mais le contact entre la partie conique et le réservoir doit être suffisamment lâche pour laisser partir l'eau.

Pour conserver les gaz dans le réservoir entre chaque opération, on peut boucher simplement avec le doigt.



■ Production de dihydrogène et dioxygène par électrolyse

Les gaz dihydrogène et dioxygène peuvent être générés par électrolyse d'une solution de Na_2SO_4 à $0,5\text{ mol.L}^{-1}$.

Le remplissage du réservoir par déplacement d'eau est alors plus facile et ne nécessite pas la partie conique du compte-gouttes.



Elements de correction

- On remplit d'eau le réservoir puis par déplacement, on collecte du dioxygène et du dihydrogène. Ensuite, on procède à la mise à feu du mélange.

On réalise l'expérience pour différentes proportions de dihydrogène et de dioxygène et on repère la proportion du mélange qui donne la détonation la plus efficace en mesurant la distance horizontale parcourue par la fusée.

L'usage de la solution d'acide chlorhydrique corrosive pouvant ronger la peau ou les yeux ainsi que l'explosion attendue nécessitent en prévention le port de la blouse et des lunettes

- Chaque groupe peut tenter plus ou moins deux tirs, les résultats sont reportés au tableau.

Les tirs ne marchent pas avec un gaz pur.

Pour le reste, les tirs paraissent plus efficaces pour la proportion 2 volumes de H₂ pour 1 volume de O₂, mais la qualité des tirs dépend aussi et surtout de la qualité du remplissage, de la quantité d'eau restant dans la fusée, du comportement en vol de la fusée (des ailerons en adhésif peuvent améliorer la constance des vols), de son positionnement sur le pas de tir, etc.

Le mélange le plus efficace correspond au rapport : $\frac{V_{H_2(g)}}{V_{O_2(g)}} = \frac{2}{1} = 2$



- Le mélange le plus efficace correspond au rapport : $\frac{N_{H_2}}{N_{O_2}} = \frac{V_{H_2(g)}}{V_{O_2(g)}} = \frac{2}{1} = 2$

- Masse de la molécule de H₂ : $m(H_2) = 2 \times m(H) = 2 \times 1,67 \cdot 10^{-27} = 3,34 \cdot 10^{-27}$ kg

Masse de la molécule de O₂ : $m(O_2) = 2 \times m(O) = 2 \times 2,66 \cdot 10^{-26} = 5,32 \cdot 10^{-26}$ kg

Dans le premier étage de SLS il y a $1,0 \cdot 10^5$ kg d'hydrogène liquide et $7,9 \cdot 10^5$ kg d'oxygène liquide

Soit un nombre de molécules correspondant de :

$$N(H_2) = \frac{m_{\text{réservoir } H_2}}{m(H_2)} = \frac{1,0 \cdot 10^5}{3,34 \cdot 10^{-27}} = 3,0 \cdot 10^{31} \text{ molécules}$$

$$N(O_2) = \frac{m_{\text{réservoir } O_2}}{m(O_2)} = \frac{7,9 \cdot 10^5}{5,32 \cdot 10^{-26}} = 1,5 \cdot 10^{31} \text{ molécules}$$

On peut alors calculer le rapport : $\frac{N_{H_2 \text{ Réservoir}}}{N_{O_2 \text{ Réservoir}}} = \frac{3,0 \cdot 10^{31}}{1,5 \cdot 10^{31}} = 2,0$

On retrouve alors le même rapport déterminé expérimentalement.

- Modèle de la réaction chimique appliqué à la combustion du dihydrogène et du dioxygène :



Pour équilibrer la réaction, il faut deux fois plus de molécules de H₂ que de molécules de O₂, ce qui est identique aux résultats expérimentaux. Le modèle de la réaction chimique permet ainsi de prévoir les proportions idéales de chacun des réactifs à utiliser.

- Masse de la molécule de CH₄ : $m(CH_4) = m(C) + 4 \times m(H) = 2,00 \cdot 10^{-26} + 4 \times 1,67 \cdot 10^{-27} = 2,67 \cdot 10^{-26}$ kg

Masse de la molécule de O₂ : $m(O_2) = 2 \times m(O) = 2 \times 2,66 \cdot 10^{-26} = 5,32 \cdot 10^{-26}$ kg

Dans le premier étage de Starship il y a $7,0 \cdot 10^5$ kg de méthane liquide et $2,70 \cdot 10^6$ kg d'oxygène liquide

Soit un nombre de molécule correspondant de :

$$N(CH_4) = \frac{m_{\text{réservoir } CH_4}}{m(CH_4)} = \frac{7,0 \cdot 10^5}{2,67 \cdot 10^{-26}} = 2,6 \cdot 10^{31} \text{ molécules}$$

$$N(O_2) = \frac{m_{\text{réservoir } O_2}}{m(O_2)} = \frac{2,70 \cdot 10^6}{5,32 \cdot 10^{-26}} = 5,08 \cdot 10^{31} \text{ molécules}$$

On peut alors calculer le rapport : $\frac{N_{CH_4 \text{ Réservoir}}}{N_{O_2 \text{ Réservoir}}} = \frac{2,6 \cdot 10^{31}}{5,08 \cdot 10^{31}} = 0,51$ et

comparer au rapport des coefficients stœchiométriques du méthane et du dioxygène dans l'équation de réaction chimique : 1/2

