

# Éclairages

Chimie - Espace  
Cycle 3

## De la poudre noire aux fusées de la conquête spatiale

Pour vous aider à vous approprier les éclairages, il est possible de visionner une introduction à l'adresse suivante : <https://vimeo.com/545625321/cb8497f526>.

### Éclairage historique : Chine, Europe et poudre noire

« Comment peut-on inventer la boussole, se demande l'Européen, sans pousser la curiosité et continuer son attention jusqu'à la science du magnétisme ; et comment, l'ayant inventée, peut-on ne pas songer à conduire au loin une flotte qui aille reconnaître et maîtriser les contrées au-delà des mers ? Les mêmes qui inventent la poudre ne s'avancent pas dans la chimie et ne font point de canons : ils la dissipent en artifices et en vains amusements de la nuit. La boussole, la poudre, l'imprimerie ont changé l'allure du monde. Les Chinois, qui les ont trouvées, ne s'aperçurent donc pas qu'ils tenaient les moyens de troubler indéfiniment les repos de la terre. »

Paul Valéry, *Regards sur le monde actuel*, 1931

[Citation extraite de *Variations scientifiques, recherches sur l'histoire et la philosophie des sciences en Europe et en Chine*, Agnès Chalier, Éditions Hermann 2015]

« Pour les Chinois, s'ils avaient pu connaître les métamorphoses de l'Europe, celle-ci leur serait apparue comme une civilisation en perpétuel bouleversement ; les Européens, quand ils connurent la Chine, pensèrent qu'elle était toujours restée la même. Un des meilleurs exemples de l'inanité des stéréotypes européens est peut-être la croyance suivant laquelle les Chinois, bien qu'inventeurs de la poudre à canon, auraient été assez fous – ou assez sages – pour ne l'utiliser que dans les feux d'artifice, laissant l'Occident seul en exploiter tout le pouvoir. Nous ne pouvons nier, hélas, que l'Occident ait un certain penchant pour la *Büchsenmeisterei*, mais ce qui ressort de ce lieu commun, c'est que, sans l'intervention de l'Occident, rien de grand ni de créateur n'aurait pu être fait avec des inventions comme celle-là. Les Chinois assuraient que leurs tombeaux étaient dirigés plein sud, mais c'est Colomb qui découvrit l'Amérique ; les Chinois tracèrent les plans de la machine à vapeur, mais c'est Watt qui appliqua au piston la force de la vapeur ; les Chinois utilisèrent le ventilateur uniquement pour rafraîchir leurs palais ; les Chinois comprirent le principe de la sélection, mais ils ne l'utilisèrent que pour élever des poissons rouges afin de satisfaire leurs caprices. On peut démontrer que toutes ces oppositions imaginaires sont historiquement fausses. »

*La science chinoise et l'Occident (Le grand titrage)*, p. 98,  
Joseph Needham, Éditions du Seuil, 1973

### La poudre noire

Les taoïstes étaient en quête d'un élixir d'immortalité. En essayant de prolonger la vie infiniment, les alchimistes chinois, qui ont multiplié les expérimentations, ont paradoxalement trouvé une substance permettant de développer des armes de destruction massive.

La poudre noire est composée de charbon, de salpêtre ou nitrate de potassium (réactif explosif du mélange) et de soufre (réactif qui abaisse la température d'inflammation puis, quand la combustion démarre, augmente la température jusqu'à la fusion du salpêtre et accélère donc la combustion).

Le salpêtre, surnommé « solvant des pierres », est utilisé comme solvant pour les minerais dès le II<sup>e</sup> siècle avant J.-C. A priori, il avait sans doute cette fonction dès le IV<sup>e</sup> siècle avant J.-C., mais les chercheurs n'ont pas encore retrouvé d'écrit antérieur au II<sup>e</sup> siècle avant J.-C. sur ce sujet. Pour identifier le nitrate de potassium, dès le III<sup>e</sup> siècle après J.-C., on utilisait un test à la flamme, le potassium brûlant avec une flamme violette ou pourpre.

Des mélanges inflammables ont sans doute été découverts tout au long des siècles qui ont suivi, mais ont été écartés par les alchimistes qui les trouvaient dangereux. D'après les travaux de Joseph Needham, la première mention de la poudre noire se trouve dans l'*Abrégé du Dao de la véritable origine de tous les êtres*, datant de 850 après J.-C. et attribué à Zheng Yin : « Certains ont chauffé conjointement du soufre, du réalgar et du salpêtre mélangé à du miel ; la fumée et les flammes qui en ont résulté leur ont brûlé les mains et le visage, et parfois même la maison où ils travaillaient. Ceci ne peut que discréditer le taoïsme, et les alchimistes taoïstes doivent clairement savoir qu'il ne faut pas le faire. »

La première utilisation de la poudre noire dans une guerre a eu lieu vers 919. Vers 1040, Zeng Gongliang publie pour la première fois la formule de la poudre noire dans son ouvrage *Les grandes techniques militaires*. Il en donne trois « recettes » suivant le type d'armes recherchées. En effet, plus la poudre noire contient de salpêtre, plus elle est explosive. Les alchimistes chinois semblent donc avoir affiné les proportions des différents ingrédients par tâtonnement. Les proportions exactes ne sont pas mentionnées dans les écrits, sans doute car elles constituaient un secret militaire.

Au XII<sup>e</sup> siècle après J.-C., la poudre noire arrive dans le monde arabo-musulman et en Europe. Il faut attendre la fin du XIII<sup>e</sup> siècle pour que sa formule soit connue dans ces territoires. Jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, la pénurie de salpêtre en Europe a restreint les usages de la poudre noire.

## Les fusées

Les fusées semblent avoir été inventées vers 1150, en Chine. Elles ont été d'abord utilisées pour lancer des feux d'artifice, puis pour la guerre, à partir de 1206. Des écrits qui présentent des fusées réutilisables nous sont parvenus. Même s'il semble peu probable que ces fusées aient pu réellement exister (considérant les difficultés rencontrées pour stabiliser le vol aller d'une fusée), il est intéressant d'avoir en tête que l'idée de créer un tel objet remonte au XIV<sup>e</sup> ou XV<sup>e</sup> siècle.

Les fusées à étages ont été développées au début du XIV<sup>e</sup> siècle.

La plus ancienne bombe volante semble avoir été inventée vers 1412. Cette arme chinoise rappelle les V1 de la Seconde Guerre mondiale.

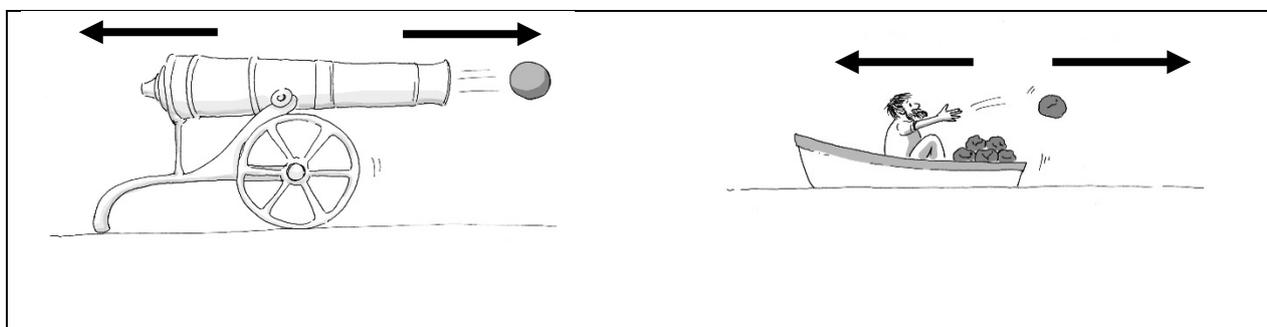
## Références

- *La science chinoise et l'Occident (Le grand titrage)*, Joseph Needham, Éditions du Seuil, 1973.
- *Le génie de la Chine, 3 000 ans de découvertes et d'inventions*, Robert Temple, 2007.
- *Variations scientifiques, recherches sur l'histoire et la philosophie des sciences en Europe et en Chine*, Agnès Chalier, Éditions Hermann, 2015.

# Éclairage scientifique : fusées à bicarbonate de soude et sondes spatiales, des principes communs

Que ce soit dans le domaine de l'aviation ou, plus tard, de l'exploration spatiale, la question est la même : comment arracher un objet à la gravité et comment lui permettre de voler le plus loin possible de façon autonome ?

La solution trouve ses racines dans la troisième loi de Newton, connue également sous le titre de « principe d'action-réaction » : chaque action est associée à une réaction d'égale intensité, de même direction et de sens opposé. C'est ce principe qui explique l'effet de recul d'un canon tirant un boulet ou d'un pêcheur qui ferait avancer sa barque en lançant des pierres. Dans ces deux cas, l'éjection d'un projectile de masse faible provoque le déplacement d'un système de masse plus importante.



**Figure : Deux mises en évidence du principe d'action-réaction.**

Le site « Physique à main levée » propose une expérience qui illustre ce principe dans le cas d'une interaction à distance, car le principe d'action-réaction n'est pas réservé aux seuls contacts :

<http://phymain.unisciel.fr/principe-des-actions-reciproques-avec-un-aimant-et-un-morceau-de-fer/>

Cependant, même si la troisième loi de Newton est sous-jacente aux phénomènes de propulsion, son énoncé en lui-même est peu explicatif concernant la propulsion. Pour établir un raisonnement clair, il est préférable d'utiliser la conservation de la quantité de mouvement (produit de la masse par la vitesse d'un objet), elle-même évidemment liée aux lois de Newton.

Dans son ouvrage *L'exploration de l'espace cosmique par des engins à réaction*, publié en 1903, le physicien russe Constantin E. Tsiolkovski montre qu'un appareil évoluant dans l'espace, lorsqu'il éjecte de la matière, subit une « poussée » qui est proportionnelle à la masse expulsée, ainsi qu'à la vitesse d'éjection de cette masse. Cette idée est directement liée à la conservation de la quantité de mouvement. Elle a débouché sur l'équation de base de la propulsion, connue sous le nom de « the rocket equation » – l'équation de la fusée (voir encadré « Pour aller plus loin »).

## Deux options de propulsion

Dès lors, on voit qu'il y a deux solutions pour propulser un engin : éjecter une masse importante de matière ou, au contraire, éjecter une masse faible, mais à très grande vitesse. Nous présentons ici les deux principales technologies qui sont associées à ces options et utilisées dans le spatial, mais d'autres sont possibles (propulsion nucléaire, voiles solaires).

La première option est d'utiliser des propulseurs chimiques. En libérant des masses importantes de matière, ils peuvent fournir une poussée variant de la dizaine de newtons à plusieurs méganewtons. Ce

sont eux qui permettent d'arracher les appareils à l'attraction terrestre. On les retrouve donc dans les lanceurs (fusée Ariane, par exemple) ou les navettes.

Dans le cas de la propulsion chimique, l'expulsion de matière est assurée par la dilatation thermique d'un gaz chaud produit par la combustion (réaction d'oxydoréduction) d'un mélange de composants appelés ergols. Ces propulseurs consistent donc à convertir de l'énergie chimique en énergie thermique et en énergie cinétique (éjection du gaz).



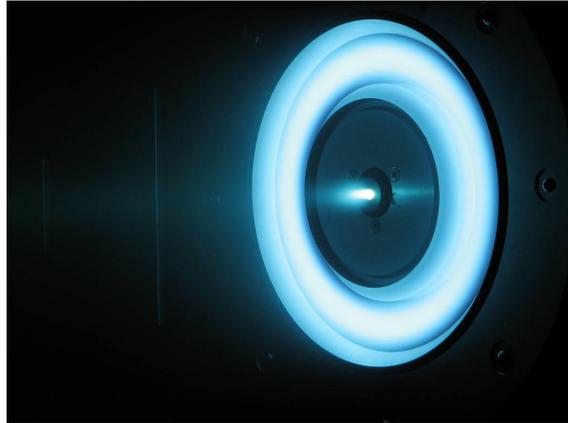
**Décollage du lanceur Ariane 5.**

Les propulseurs électriques sont pour leur part concernés par la seconde option. Les premiers propulseurs électriques utilisent le même principe que les moteurs chimiques : l'énergie électrique est utilisée pour porter un gaz à haute température, et c'est l'éjection de ce gaz chaud qui fournit la poussée. Ces moteurs effectuent donc la conversion d'énergie électrique en énergie thermique et en énergie cinétique.

Le développement de propulseurs ioniques a ensuite vu le jour. Ces moteurs libèrent peu de masse, mais avec des vitesses d'éjection très élevées (plusieurs dizaines de km/s, soit dix fois plus grandes qu'avec une propulsion chimique). La matière éjectée est un plasma, gaz constitué d'ions et d'électrons, dont les particules chargées électriquement sont accélérées vers l'extérieur de l'appareil sous l'action d'un champ électrique et/ou magnétique. La conversion d'énergie électrique se fait donc directement sous forme d'énergie cinétique.

Les poussées produites, de quelques centaines de millinewtons, sont trop basses pour une utilisation terrestre (décollage, par exemple). Elles sont en revanche tout à fait adaptées pour manœuvrer un satellite dans l'espace, et représentent de multiples avantages.

Par exemple, une sonde spatiale qui a besoin, pour modifier sa trajectoire, d'augmenter sa vitesse de 0,5 km/s consommerait 300 à 400 kg de mélange propulseur avec un système chimique, contre 25 kg de matière consommée avec un propulseur ionique. Ceci représente un double intérêt en termes d'autonomie et d'allègement du matériel embarqué. La propulsion par plasma est donc une très bonne option pour les missions lointaines de petits appareils, tandis que la propulsion chimique reste indispensable pour la mise en mouvement des fusées et autres navettes spatiales.



**Flux de matière en sortie d'un propulseur à plasma de Xénon. La lumière est émise par le plasma lui-même et sa couleur est caractéristique du gaz qui le compose. Le diamètre extérieur de l'anneau est d'environ 13 cm pour un diamètre intérieur de 7 cm.**

### Pour aller plus loin :

L'équation de base de la propulsion, connue sous le nom de « the rocket equation » (l'équation de la fusée), traduit cette idée et découle directement de la conservation de la quantité de mouvement (ici dans le vide, en l'absence de gravité) :

$$\Delta v = v_e \ln \left( \frac{m_i}{m_f} \right)$$

Où  $\Delta v$  est la variation de vitesse de l'appareil, obtenue grâce à la propulsion,  $v_e$  la vitesse d'éjection de la matière et  $\left( \frac{m_i}{m_f} \right)$  le rapport entre la masse initiale de l'engin ( $m_i$ ) et sa masse finale ( $m_f$ ), c'est-à-dire la masse de l'appareil délesté d'une partie de son mélange propulseur.

Ce n'est pas tant la formule en elle-même (qu'on ne va évidemment pas utiliser en classe !) que sa lecture qui compte : l'augmentation de vitesse d'un engin spatial qu'on peut obtenir grâce à un propulseur dépend de la quantité de matière éjectée ainsi que de la vitesse à laquelle cette matière est éjectée.

## Références

- *Une énergie, des énergies*, Katia Allégraud, Brigitte Proust, Béatrice Salviat, Belin, 2015
- *Cours d'introduction à la propulsion spatiale*, <https://www.lpp.polytechnique.fr/IMG/pdf/Module-seance1.pdf> (Laboratoires LPP/ICARE)
- *Le 21e siècle de la propulsion sera-t-il électrique ?* <https://cnes.fr/fr/web/CNES-fr/11772-gp-le-21e-siecle-de-la-propulsion-sera-t-il-electrique.php>

## Crédits

Figure : Katia Allégraud – Fondation *La main à la pâte*

Ariane 5 lifting off from the Guiana Space Centre in Kourou, French Guiana (Spotting973, CC BY-SA 2.0) : [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ariane\\_5\\_lifting\\_off\\_from\\_the\\_Guiana\\_Space\\_Centre\\_in\\_Kourou,\\_French\\_Guiana.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ariane_5_lifting_off_from_the_Guiana_Space_Centre_in_Kourou,_French_Guiana.jpg)

Propulsion à plasma (NASA/JPL-Caltech) : [https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image\\_feature\\_2516.html](https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_2516.html)

---

## Auteurs

Katia ALLÉGRAUD, Fatima RAHMOUN

## Remerciements

Roland LEHOUCQ, Antoine ÉLOI, Anne LEJEUNE, Marie-Lise ROUX, Kévin FAIX

**Cette ressource a été produite avec le soutien de la Fondation de la Maison de la Chimie**



Fondation de la Maison de la Chimie

**En partenariat avec Mediachimie**



## Date de publication

Mai 2021

## Licence

Ce document a été publié par la Fondation *La main à la pâte* sous la licence Creative Commons suivante : Attribution + Pas d'Utilisation Commerciale + Partage dans les mêmes conditions.



*Le titulaire des droits autorise l'exploitation de l'œuvre originale à des fins non commerciales, ainsi que la création d'œuvres dérivées, à condition qu'elles soient distribuées sous une licence identique à celle qui régit l'œuvre originale.*

## Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes

75006 Paris

01 85 08 71 79

contact@fondation-lamap.org

Site : [www.fondation-lamap.org](http://www.fondation-lamap.org)

