

fly  
higher



Shaping the new  
evolving generation of  
aeronautic professionals

## Manuel enseignant du didacticiel No 2

*Des avions dans le ciel : comment  
fonctionne un moteur à réaction ?*

## Introduction

Ce document fait partie du second didacticiel du projet Fly Higher “Des avions dans le ciel: comment fonctionne un moteur à réaction ? ” qui vient en complément du Power Point. Il peut être utilisé comme exercice en mode “autonome” mais il utilise également le travail présenté dans le Didacticiel numéro 1.

Son objectif est de donner aux élèves une idée sur les recherches qui ont permis de découvrir les secrets des moteurs qui équipent les avions, et la nécessité de développer une alternative plus puissante au moteur à combustion interne : le moteur à réaction. Son but est également de les sensibiliser aux principes scientifiques mis en œuvre.

## Auteur(s)

### Auteur

Husain Ansari, BEng(Hons), AMIMechE, AFHEA  
Assistant Lecturer in Aerospace Engineering, Coventry University.

### Editeur

John Fairhurst, MBA, PGDip Ed Law, PGCE, BSc, FRSA  
*European School Headteachers’ Association*

## Décharge de responsabilité

Les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas le point de vue officiel de la Commission Européenne.

# Table des matières

<b>Manuel enseignant du didacticiel No 2.....</b>	<b>i</b>
<i>Des avions dans le ciel : comment fonctionne un moteur à réaction ?.....</i>	<i>i</i>
Introduction.....	ii
Décharge de responsabilité .....	ii
<b>Table des matières .....</b>	<b>iii</b>
<b>Résumé du didacticiel.....</b>	<b>5</b>
<b>Plan de la leçon .....</b>	<b>6</b>
<b>Power point – Notes support .....</b>	<b>7</b>
Diapositive 1 : .....	7
Diapositive 2 : Phase 1 Introduction au vol des oiseaux .....	7
Diapositive 3 : Vidéo .....	8
Diapositive 4 : La Poussée.....	8
Diapositive 5 : Physique de la Poussée .....	8
Diapositive 6 : Avions en marche.....	9
Diapositive 7 : Histoire du moteur à réaction.....	9
Diapositive 8 .....	9
Diapositive 9 .....	10
Diapositive 10 .....	11
Diapositive 11 : Principes fondamentaux du moteur .....	11
Diapositive 12 .....	12
Diapositive 13 .....	12
Diapositive 14 : Types de moteurs.....	12
Diapositive 15 : Autres types de moteurs à réaction .....	13
Diapositive 16 : Exemple de moteurs .....	14
Diapositive 17 : Les Turboréacteurs .....	14
Diapositive 18 : Le Réacteur à double flux .....	14
Diapositive 19 : Le Turbo-propulseur .....	14
Diapositive 20 : Le Statoréacteur.....	14



Diapositive 21 : La fusée .....	14
Diapositive 22 : Résumé .....	15
Diapositive 23 : Approfondissement .....	15
<b>Materiels complémentaires .....</b>	<b>15</b>
En cours ou en dehors des cours .....	15

# Résumé du didacticiel

## Public visé:

Les tutoriaux sont conçus pour des élèves de 12 à 16 ans.

## Niveau du public :

Tous niveaux (l'utilisation de simplifications et/ou de compléments sont à la discrétion de l'enseignant).

## Durée possible :

**Pour une discussion complète** : 50 minutes

**Minimum possible** : 35 minutes

*(Les durées suggérées sont variables et il est recommandé aux enseignants d'adapter l'utilisation de cette ressource à leurs besoins)*

## Equipements nécessaires

- Un ordinateur et un écran d'affichage pour la classe
- Un petit ballon (pour une démonstration) ou plusieurs pour une activité de classe équivalente
- Poids sur une corde (facultatif)
- Attache et règles de 3.30cm, une en bois, une en métal (facultatif)



# Plan de la leçon

## **Introduction (Diapositive 1)**

Présentation des objectifs (1 min)

Identification de l'image du moteur sur la Diapositive 1 (1mn)

## **Phase 1. Introduction au principe de Poussée et du mouvement de l'avion vers l'avant (Diapositives 2 – 6)**

Révision du Tutorial 1 et Discussion : comment les oiseaux volent-ils ? (2 min)

Vidéo explicative des principes physiques expliquant le vol d'un oiseau (4mn, video de 2mn30 comprise)

Discussion : La Poussée et les principes de Physique expliquant la Poussée (2 - 3mn)

Démonstration (ou éventuellement activité de classe) et lâcher de ballon (3 – 6 mins)

## **Phase 2. Histoire de la propulsion aérienne (Diapositives 7 – 10)**

Sir Isaac Newton – le wagon à vapeur de Newton (1 min)

Les frères Wright et Kitty Hawk (1 min)

Sir Frank Whittle – Moteur turbo (1 min)

## **Phase 3 Les bases du moteur et de son fonctionnement (Diapositives 11 – 13)**

Fonctionnement de base d'un moteur (4 mins)

Moteur à hélice (2 min)

Video : à l'intérieur d'un moteur à réaction (2 min)

## **Phase 4 Types de moteurs, synthèse et apprentissage avancé (Diapositives 14 - 23)**

Brainstorming : Les différents moteurs et leurs utilisations (3 – 4 min)

Le choix du moteur est conditionné par les contraintes de vol. Un large éventail de types de moteurs parmi lesquels on peut choisir (2 – 5 min)

Types de moteurs (pour un approfondissement facultatif entraînant une réduction du temps passé sur la synthèse précédente : Turbo réacteur, Réacteur à double flux, Turbopropulseur, Statoréacteur, Moteur de fusée (6 - 10 min)

Video – synthèse (1mn) et approfondissement sur les simulateurs moteurs (facultatif, éventuellement en dehors des cours)



*Les durées sont des estimations ; elles ne sont indiquées qu'à titre indicatif. Les discussions en cours peuvent être raccourcies ou allongées, tout particulièrement si les élèves travaillent d'abord en petits groupes, préalablement à une session en effectif complet. Le programme peut aller plus loin si l'enseignant en précise le contenu dans le manuel.*

*Une leçon respectant les temps minimum indiqués dure 35 mn – Une leçon respectant les temps maximum et laissant plus de temps pour traiter des types de moteurs à réaction peut durer de 50 à 55 mn.*

*Le matériel pédagogique supplémentaire peut être utilisé comme complément pour des cours de plus longue durée ou comme devoirs à la maison. Nous espérons que les challenges Fly Higher seront également utilisés comme du matériel pédagogique complémentaire. Voir le site <http://www.flyhigher.eu>*

## Power point – Notes support

### Diapositive 1 :

**Illustration Principale: Moteur RollsRoyce Trent 900 sur Airbus A380** Avion commercial

Quelques caractéristiques du moteur : 4,55 m de longueur, ce qui représente approximativement la taille d'une voiture familiale de 7 places comme la Renault Espace. 2,94 m de diamètre, un poids de 6 271 kg, produisant une poussée de 374 kN (kilo Newton – Le moteur de la Renault Espace, ou d'un autre véhicule familial de même type, produit environ 150hp. – (Nous suggérons que pour des classes de bon niveau et/ou des classes de sciences, les unités soient traitées plus avant dans le didacticiel).

### Diapositive 2 : Phase 1 Introduction au vol des oiseaux

- Cette Diapositive est à utiliser comme support pour demander à la classe de citer des créatures vivantes qui volent et les caractéristiques qu'elles ont en commun. Si la classe a travaillé avec le Tutorial 1 de Fly Higher, les élèves auront des connaissances concernant le vol des oiseaux et le fait qu'un avion ne se contente pas de les imiter.
- Cependant, certaines caractéristiques sont valables pour tout objet volant : consommation d'énergie importante, poids optimisé et ailes aérodynamiques.
- Le Poids: bien que certains gros oiseaux soient lourds, ils ont tous un squelette très léger (un plumage volumineux les fait paraître plus gros que leur corps ne l'est en réalité). En général, les mammifères (tels que nous-mêmes) ne volent pas. Notre squelette est trop lourd, nous n'avons pas d'ailes et nous ne sommes pas faits pour voler.
- Les oiseaux battent des ailes vers le bas, ce qui produit une force opposée qui propulse l'oiseau dans les airs. Leurs ailes sont de forme aérodynamique et provoquent un mouvement ascendant même lorsque l'oiseau ne fait que glisser (ce qui est également valable pour un avion)
- Certains mammifères vivant dans les arbres, les écureuils d'Asie par exemple, ont des membres palmés (ressemblant à des ailes une fois déployés, un peu comme une chauve souris) qui les rend capables de glisser, et qui augmente la distance qu'ils peuvent parcourir en sautant entre les branches. Mais ils ne peuvent pas décoller du sol.



## Diapositive 3 : Vidéo

- Une vidéo expliquant sans nécessiter de commentaires comment volent les oiseaux.
- Origine de la vidéo : Youtube : comme volent les oiseaux volent-ils ?

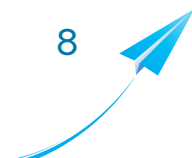
Sources : [www.pendulumswingmedia.com](http://www.pendulumswingmedia.com) Durée 2,29 min

## Diapositive 4 : La Poussée

- La poussée d'un avion provient du moteur et l'ascension est produite par les ailes rigides et aérodynamiques de l'avion.
- Nous ne pouvons pas reproduire les battements des ailes d'un oiseau. (Voir le didacticiel No 1 de Fly Higher). Les oiseaux sont beaucoup plus légers et exigent donc moins d'énergie de la part de leurs ailes pour s'élever dans les airs. Un gros avion de passagers tel que le Boeing 747 est conçu pour emporter approximativement 334 tonnes : passagers, baggages, carburant et poids de l'avion compris. La Renault Espace pèse 3 tonnes pour 7 passagers d'un poids moyen de 80kg chacun. L'avion pèse donc autant que 112 Renault Espace chargés !
- Récemment, des recherches ont été menées pour rendre les avions plus légers en utilisant des matériaux composites. L'objectif est de réduire la masse totale de l'avion, étendre la gamme d'avion et cependant, diminuer la consommation de carburant. Les avions les plus récents - tels l'Airbus A380- ont considérablement tiré avantage des matériaux de nouvelles technologies.
- Un avion ne peut pas battre des ailes à cause de la complexité des mouvements mécaniques qui sont nécessaires.
- Nos machines volantes, qu'elles soient grandes ou petites, ont des ailes aérodynamiques "fixes" (avec l'avantage de la simplicité et d'une intégrité structurelle) qui sont dépendantes de la vitesse pure pour accomplir l'ascension (Les hélicoptères, aussi appelés avions 'à ailes rotatives', paraissent très différents mais fonctionnent cependant selon ces caractéristiques –voir le Didacticiel 3 de Fly Higher). La vitesse nécessaire –engendrée par la poussée- ont conduit les pionniers de l'aéronautique à concentrer leurs efforts sur l'amélioration des moteurs – d'où le moteur à réaction, inventé dans les années 1940, et ses évolutions depuis.

## Diapositive 5 : Physique de la Poussée

- Exposé enseignant (ou éventuellement activité de classe) : remplir un ballon d'air et le lâcher. (La classe peut avoir vu l'expérience auparavant, dans le didacticiel 1 ; vous pouvez au choix la répéter, ou non selon la classe et le temps disponible. Autre possibilité, utiliser les ressources du site : <http://www.bloodhoundssc.com/shop/balloon-car-kit>
- Explication : L'air à l'intérieur du ballon est comprimé par les parois en cahoutchouc. Lorsque l'ouverture du ballon est relâchée, l'air s'échappe. La troisième loi du mouvement de Newton explique que **pour chaque action, il existe une réaction égale et opposée**. Par conséquent, le fait que le gaz s'échappe crée une réaction, pousse sur les parois du ballon qui est propulsé dans les airs. (Comme la troisième loi de Newton est très importante, ne pas hésiter à insister quel que soit le temps passé dans le T1). Remarque : la trajectoire de vol du ballon est très aléatoire car il n'y a pas de structure pour la contrôler, comme c'est le cas pour les avions qui possèdent des ailerons et des stabilisateurs.





## Diapositive 6 : Avions en marche

- Le moteur à réaction d'un avion fonctionne selon le principe de la 3ème loi du mouvement de Newton. Les gaz chauds qui s'échappent des moteurs de l'avion poussent l'air, ce qui en retour produit une réaction opposée sur les moteurs. Comme le moteur est fixé à l'avion, cela crée un mouvement vers l'avant.
- La progression d'un avion vers l'avant combinée à la forme aérodynamique de l'aile provoque une couche d'air de basse pression. La différence de pression génère une force ascendante qui maintient l'avion en l'air (cf Tutorial 1 de Fly Higher). Une couche d'air traversée s'écoule horizontalement le long de l'avion et donc de ses ailes. Mais la surface supérieure des ailes, l'extrados, va bien entendu bouleverser cet écoulement d'air, ainsi il s'y crée une forte dépression qui elle-même va créer une force verticale : la portance. Et c'est elle qui va compenser le poids important de l'appareil et toujours le maintenir vers le haut.

## Diapositive 7 : Histoire du moteur à réaction

- Sir Isaac Newton a été le premier à proposer la théorie de l'explosion canalisée vers l'arrière. Un exemple simple d'explosion canalisée vers l'arrière est le « wagon à vapeur » comme montré sur la Diapositive. En 1687, il a essayé de tester ses nouvelles lois avec son « Wagon à vapeur ». Le prototype de Newton avait une chaudière montée sur le wagon et pour le propulser, la vapeur de la tuyère était dirigée vers l'arrière. Bien que cette machine à vapeur n'ait pas fonctionné (la vapeur manquait de pression), sa théorie ou force d'explosion canalisée vers l'arrière fut exploitée par la suite par les pionniers pour fabriquer des véhicules à vapeur.
- Remarque : les moteurs à vapeur, si importants au début des réseaux ferrés, fonctionnent selon des principes tout à fait différents sans lien avec la propulsion à réaction.

**Devoirs éventuels: (i) Demander aux élèves de faire des recherches et de rédiger un bref résumé des nombreuses réalisations de Newton**

**Devoirs éventuels (ii) : Autre sujet : demander aux élèves de faire des recherches sur les premiers wagons 'à réaction' (à opposer aux moteurs à vapeur) et sur les raisons qui ont fait abandonner l'idée.**

## Diapositive 8

- Les véhicules à essence ont remplacé les véhicules à vapeur en raison de leurs meilleures performances. L'invention du moteur à combustion interne (IC) durant le 18ème siècle a conduit les frères Wright à équiper leur avion « Kitty Hawk » d'un moteur à essence de 12 chevaux (hp).

**Prolongement éventuel en classe pour des groupes de bon niveau en classes scientifiques :**

- *Il peut s'avérer profitable pour ces élèves de revoir les définitions de Force, Travail et Energie ainsi que d'avoir un rappel de leurs unités spécifiques. Le cheval vapeur ne fait pas partie du système mais est toujours utilisé. Les élèves doivent donc être conscients que 1 cheval vapeur = 746 watts là où 1 watt = 1 N.m (Newton metre par seconde) et est défini comme le taux auquel le travail est*



*fait lorsque la vitesse est maintenue constante à 1 mètre par seconde contre une force opposée de 1 newton.*

- Un autre exemple domestique :  
Une ampoule incandescente typique a une puissance de 25 à 100 watts, une quantité semblable de lumière serait produite par des ampoules fluorescentes de 5 à 30 watts, ou des lampes LED de 5 à 20 watts. Rappeler aux élèves qu'il ne faut pas confondre watts, watt-heures et watts par heure.

## Diapositive 9

Les hélices sont profilées de façon aérodynamique (elles sont tordues sur la longueur des pales). Un certain nombre de forces différentes agissent sur les hélices et les forces en jeu sont complexes. Les élèves peuvent connaître la force centrifuge (qui éloigne les pales du noeud central) ainsi que les contraintes de tension (produites par les charges aérodynamiques sur les lames). Les deux compliquent la conception et la force nécessaire pour faire fonctionner l'hélice.

La force de la poussée générée par les lames de l'hélice est déterminée par la zone de disque des lames. Une zone trop petite est évidemment moins efficace, néanmoins un disque trop grand peut générer plus de bruit que de poussée !

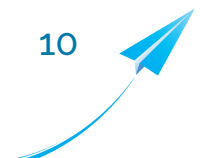
### Démonstrations éventuelles de l'enseignant :

**Force centrifuge** : Faire tourbillonner un poids autour d'une corde et libérer le.

**Force de flexion** : Fixer une règle en plastique par une extrémité. Puis avec 2 doigts appuyer sur l'autre extrémité. La déformation de la règle est due à la force de flexion. Appuyez plus fort et la règle en plastique pliera, pliera... puis cassera! (habituellement, d'un coup sec et soudain). De même pour une règle en bois : selon l'essence et l'épaisseur du bois, elle pliera probablement moins et se brisera en craquant. Dans le cas d'une règle en métal, le métal pliera peut être mais ne cassera pas. Cependant, à un certain point, il se déformera de façon permanente, sans jamais revenir à sa forme initiale. Ces observations sont banales (et ne nécessitent pas forcément de démonstration) mais soulignent l'importance du choix des matériaux qui composent un avion. Qui voudrait monter dans un avion dont l'hélice, à mi-parcours, casserait et partirait en morceaux ?

Les avions modernes utilisent encore des hélices (bien que celles-ci soient maintenant faites de matériaux composites de haute technologie qui sont plus légers et plus résistants que ceux utilisés auparavant). Effectivement, le coût d'achat et de maintenance d'un moteur à hélice est moindre que celui d'un moteur à réaction. Les avions légers, qui volent sur de courtes distances à des vitesses modérées et à de basses altitudes vont plutôt appartenir à un pilote amateur ou un fermier pour lesquels des prix bas sont une priorité.

Les moteurs à réaction sont sophistiqués et onéreux. Un avion très performant (un avion de chasse, par exemple) qui doit voler vite et à haute altitude sera évidemment à réaction, comme le sont les avions des compagnies internationales (il doit transporter ses VIP sur de longues distances dans un temps acceptable).



## Diapositive 10

De 1903, année du premier vol des frères Wright, jusqu'à la fin des années 1930, le moteur essence à combustion interne (IC) avec hélice a été le seul moyen de propulsion aérienne utilisé. Sir Frank Whittle, un pilote britannique, a conçu le premier moteur turbo-réacteur en 1930.

Sur l'illustration ci-dessous, un Gloster E28/39 et, comme la classe le constatera très vite, il n'y a pas d'hélice sur le nez de l'avion. Le moteur possède de multiples compresseurs et turbines pour générer la poussée en avant, mais dépendra in fine de l'échappement de gaz pour avancer, tout comme le ballon!

Il est probablement utile de faire remarquer à la classe que cet avion et l'avion à hélice de la Diapositive précédente, paraissent semblables mais qu'ils sont très différents des biplans de toile-et-bois d'il y a 30 ans, et tout aussi différents des avions à réaction modernes.

## Diapositive 11 : Principes fondamentaux du moteur

- Cette Diapositive montre le fonctionnement de base d'un moteur à piston qui est le principal moteur utilisé dans les voitures. Pour cette démonstration, on peut utiliser une seringue avec un cylindre creux à une extrémité et un bec à l'autre.
- **La première étape** du fonctionnement d'un moteur est d'aspirer l'air en abaissant le piston. Exemple : Lorsqu'un piston de seringue est tiré vers l'arrière, le cylindre se remplit d'air.
- **La seconde étape** concerne la compression de l'air, réalisée par un mouvement vers le haut du piston dans le cylindre. *Démonstration : si vous fermez le bec d'une seringue (ou l'obturez avec votre doigt) et poussez le piston en direction du bec, l'air à l'intérieur sera comprimé.* Noter que dans un véritable moteur à piston, l'arrivée se ferme de façon sécurisée, pour empêcher totalement l'air de s'échapper du cylindre et permettre ainsi une compression efficace.
- **La troisième étape** : elle implique la combustion par addition et allumage du carburant. Bien sûr, ce processus n'est pas simple. Tout le carburant à l'intérieur du cylindre doit brûler, ce qui signifie qu'il faut injecter la bonne quantité ; de plus, ceci doit se produire au moment précis du cycle. Les élèves peuvent avoir vu des 'bougies' sur des moteurs de tondeuses ou de vieilles voitures, et peut être entendu parler de "delco" qui connecte de façon mécanique la bougie au système électrique d'une voiture au moment voulu. Les moteurs des voitures modernes sont pilotés par ordinateur et les élèves ont vraisemblablement entendu parler de systèmes à 'injection électronique de carburant'
- **La quatrième étape** est l'échappement des gaz chauds par une ouverture d'échappement. Ces gaz chauds ont une température et une pression (énergie) élevées et lors de l'échappement, ils provoquent le mouvement vers le bas du piston à l'intérieur du cylindre.
- Le mouvement du piston vers le bas aspire de l'air comme lors de l'étape une. Le cycle continue ainsi et se répète.
- Le piston est lié à l'hélice par un vilebrequin qui provoque le mouvement de rotation comme montré dans la Diapositive suivante.



## Diapositive 12

- Comme montré sur la Diapositive, l'hélice est reliée par un vilbrequin qui transmet le mouvement du piston en rotation. Plus les pistons pompent, plus il y a de puissance générée et plus le vilbrequin tourne sans à coups. Par conséquent, les moteurs possèdent plusieurs cylindres afin de fournir une source d'énergie continue, avec plus d'un seul piston attaché à l'arbre moteur.
- En général, un moteur de voiture possède quatre cylindres, mais beaucoup en ont six (tout particulièrement les véhicules plus puissants et/ou plus prestigieux). Les Cylindres sont associés deux par deux et sont assemblés par deux ou trois paires de chaque côté de l'arbre. Cependant, les petits moteurs comme ceux des cyclomoteurs ou des tondeuses de jardins sont monocylindre et utilisent donc un seul piston car la puissance nécessaire est moindre. De gros véhicules (comme des camions transportant des charges volumineuses) ou des véhicules spécialisés (comme les voitures de course F1) auront 8, 10, 12 cylindres selon leurs besoins.

## Diapositive 13

1) Séance Vidéo en libre apprentissage Durée 1:41

Source vidéo – Youtube *A l'intérieur d'un moteur à réaction.*

Remerciement : [www.wydea.com](http://www.wydea.com);

2) Autre vidéo : <http://www.youtube.com/watch?v=ON0sVe1yeOk>

## Diapositive 14 : Types de moteurs

- Sur l'illustration, un Long-courrier Airbus A380, avion double-pont avec quatre réacteurs géants, équipé de moteurs Rolls-Royce Trent 900 ou Engine Alliance GP700. Ce sont des réacteurs à double flux, plus appropriés pour les vols commerciaux avec des contraintes économiques et qui ont également besoin de moteurs robustes et fiables.
- L'Airbus A380 est l'un des avions les plus modernes. Il peut transporter jusqu'à 525 passagers avec une configuration classique (c'est à dire, avec une classe économique, une classe business et une première classe). Il pourrait transporter 853 passagers en le ramenant à une seule classe économique. Il a une autonomie de 15 700 km et une vitesse de pointe de 945 km/h.
- Les classes ayant un bon niveau peuvent à ce stade être initiées à l'unité 'Mach' qui exprime les vitesses (habituellement des avions à réaction) comme une fraction de la vitesse du son. Les avions supersoniques vont plus vite que la vitesse du son, d'où le terme « supersonique ». La vitesse de pointe de l'Airbus est de Mach 0,89. Concorde, lorsqu'il était en activité, avait une vitesse maximale de Mach 1.2.

$$Mach = \frac{Vitesse}{Vitesse\ du\ son} \quad Vitesse\ du\ Son\ au\ niveau\ de\ la\ mer = 340.29\ m/s).$$



## Diapositive 15 : Autres types de moteurs à réaction

*Traitez cette Diapositive et la suivante et sauter les Diapositives 17 à 21 si cela semble pertinent en fonction de l'âge, du niveau, de l'intérêt de la classe ou de la durée de la leçon. Le point essentiel à retenir est qu'il y a aujourd'hui de nombreux types de moteurs à réaction et que de nouveaux développements voient le jour constamment.*

- Pour des utilisations, autres que les lignes commerciales, les réacteurs à double flux ne sont pas nécessairement le meilleur choix. L'utilisation militaire exige un niveau de performance le plus élevé possible et le coût est une donnée moindre que pour les lignes aériennes. La technologie des moteurs à réaction s'est développée de façon considérable et il y a maintenant un grand choix, comme le montre la Diapositive.
- **Statoréacteur** – Equipe les avions espions à haute vitesse et capables de hautes altitudes. Il utilise la vitesse massive de l'avion pour 'rammener' l'air dans le moteur. C'est le Lockheed SR-71 « Black Bird » au-dessus des montagnes de la Sierra Nevada de Californie en 1994. Cet Avion a été abandonné après la construction de 32 modèles seulement. Il a été utilisé principalement par l'US Air Force et la NASA. Extrêmement rapide (Mach 3 + c'est-à-dire 3186 km/h), c'était un avion de reconnaissance aérienne. Une performance exceptionnellement élevée du moteur était l'exigence principale pour cet avion et les coûts d'une importance secondaire.
- **Turboréacteur** – Un avion militaire qui doit être robuste et fiable, il est capable de transporter des charges importantes rapidement. Le Fairchild Republic A-10 Thunderbolt II est un avion américain monoplace, bimoteur. 716 exemplaires ont été construits et sont encore actuellement en service. Il a été conçu pour fournir un appui aérien rapproché aux forces terrestres, à l'attaque de chars, de véhicules blindés et autres cibles au sol avec les défenses aériennes limitées. L'objectif principal de ce moteur est la performance et la fiabilité.
- **Fusée** – La navette spatiale Atlantis de la NASA utilise un moteur de fusée à combustible liquide cryogénique. Un moteur de fusée cryogénique utilise à la fois un combustible (hydrogène liquide) et un oxydant (oxygène liquide). Les objectifs principaux de ce moteur sont non seulement la performance et la fiabilité mais également la capacité à fonctionner dans l'espace (où il n'y a pas d'air). Il doit donc produire son propre oxygène.
- **TurboPropulseur** – Pour l'équipement de petits avions ; doit être abordable mais fiable et assez rapide. Le Beechcraft King Air 350i est un avion d'affaires de 8 places équipé de deux turbopropulseurs Pratt et Whitney (Canada). Pas aussi rapide que la plupart de jets (sa vitesse de pointe est de 523 km/h) mais plus rapide qu'un piston-hélice. (La solution est dans le mot 'Turbo'). Les moteurs sont légers, économes en carburant et simples dans leur conception (donc moins cher à faire fonctionner et à entretenir).
- **PistonPropulseur** – Outil de travail, basse vitesse. L'Antonov AN-2. C'était un biplan monomoteur (avion avec deux ailes principales empilées les unes au-dessus des autres), avion agricole, conçu en Union soviétique (Russie) en 1946. L'avion avait une faible vitesse maximale de 258 km/h mais pouvait transporter une charge importante (jusqu'à 5500 kg). L'objectif principal du moteur 9 cylindres pistons était de produire la poussée nécessaire pour soulever l'avion dans les airs.



## Diapositive 16 : Exemple de moteurs

Diapositive en auto apprentissage.

## Diapositive 17 : Les Turbo-réacteurs

- Fonctionne selon le même principe que le moteur à piston : prise d'air à l'avant du moteur, compression puis combustion mais la sortie d'échappement se ferme grâce à une turbine pour produire la poussée supplémentaire.

## Diapositive 18 : Le Réacteur à double flux

- Les réacteurs à double flux utilisent un ventilateur à l'entrée du moteur pour augmenter la poussée générée par le moteur. Une des principales caractéristiques du réacteur double flux est que le ventilateur est contenu à l'intérieur du moteur (pas à l'extérieur comme une hélice) et que ce n'est pas tout l'air qui passe par la totalité du moteur comme pour un turbo-réacteur, mais celui-ci est divisé en différents courants. Complexe, mais très fréquent sur les avions commerciaux.

## Diapositive 19 : Le Turbo-propulseur

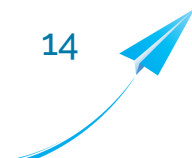
- Les turbopropulseurs sont généralement utilisés sur les petits avions subsoniques. Ils utilisent les idées de base d'un turbo-réacteur, mais incluent des équipements supplémentaires pour convertir l'énergie des gaz d'échappement éjectés à grande vitesse pour faire fonctionner une hélice. Celle-ci à son tour fournit la majorité de la poussée de propulsion pour l'avion car les gaz d'échappement sortant du moteur contiennent peu d'énergie comparé à un moteur à réaction et jouent un rôle mineur dans la propulsion des avions.

## Diapositive 20 : Le Statoréacteur

- Les statoréacteurs sont la forme la plus simple de propulsion. Le cycle de puissance de fonctionnement du moteur est identique à celle du moteur à combustion interne. Prise d'air à l'avant, à grande vitesse, puis compression, réalisée dans un diffuseur qui ralentit l'air. Le carburant est ensuite vaporisé et brûlé dans la chambre de combustion, et enfin à grande vitesse, l'air est expulsé par les gaz d'échappement pour générer la poussée.
- Les statoréacteurs ne fonctionnent que si l'avion est déjà en marche et ne fonctionnent pas à l'arrêt. Ils ont besoin d'aide pour décoller et accélérer jusqu'à une vitesse où ils commencent à produire une poussée. Ils fonctionnent plus efficacement à des vitesses supersoniques autour de Mach 3.

## Diapositive 21 : La fusée

- La fusée diffère de tous les autres types de système de propulsion des avions. Les fusées sont des moteurs « qui n'aspirent pas d'air » et transportent à la fois le combustible et l'oxygène étant donné qu'ils doivent fonctionner à de très haute altitude et dans le vide. Le fait de porter leur propre approvisionnement en carburant et oxidant est aussi leur principale faiblesse car il augmente leur poids. La poussée est générée par les fortes pressions au sein de la chambre de combustion et la tuyère d'échappement qui produit l'accélération et l'évacuation des gaz d'échappement.



## Diapositive 22 : Résumé

Video You Tube – durée 0:52

Sources : [www.rendermedia.co.uk](http://www.rendermedia.co.uk)

- Cette vidéo est muette ! Vous devrez peut-être faire des pauses aux moments appropriés pour vérifier que la classe a assimilé les idées principales. Discutez de chaque composant avec la classe pendant que la vidéo tourne. (Des pauses seront probablement nécessaires).
- Différentes parties de la vidéo :
  - Compresseur – pour comprimer l'air.
  - Turbine – pour extraire l'énergie des gaz chauds et conduire le compresseur monté sur l'arbre.
  - Chambre de combustion – pour brûler l'air comprimé par l'addition de carburant.
  - Carter du moteur – pour tenir compte de tous les composants.
- Comme indiqué sur la vidéo, l'air froid qui pénètre dans le moteur (couleur bleue) est comprimé par les lames du compresseur, brûlés dans la chambre de combustion par l'addition d'un mélange air-carburant précis et l'échappement de gaz chauds (couleur rouge) de la turbine qui fournit la force propulsive nécessaire pour pousser l'avion vers l'avant.

## Diapositive 23 : Approfondissement

- Donner à la classe l'accès au site Web mentionné sur la Diapositive – à l'école / au collège, si c'est possible à la maison. Faire fonctionner le simulateur de moteur.

# Matériels complémentaires

## En cours ou en dehors des cours

### *Recherche de vocabulaire*

Les recherches de vocabulaire qui suivent peuvent être faites de deux façons : avec les mots clés répertoriés comme indices ou sans indices. Elles peuvent être utilisées pour prolonger la leçon en classe ou comme devoirs à la maison. Tous les mots ont été utilisés dans la présentation PowerPoint. Les recherches de vocabulaire sont dans un format facile à copier dans la section suivante. (Tous les droits d'auteur sont cédés à fins pédagogiques).

**Recherche de vocabulaire 1** : de niveau accessible, même sans les mots clés. Tous les mots sont placés verticalement ou horizontalement de façon simple.

**Recherche de vocabulaire 2** : Relativement difficile, même avec indication des mots clés. Très difficile sans les mots clés. Certains mots sont écrits en diagonale, de la gauche vers la droite mais certains sont disposés de la droite vers la gauche.

*Un certain nombre d'activités, qui peuvent être menées en dehors de la classe, sont mentionnées ci-dessous. Elles peuvent, bien sûr, être placées à la fin du cours.*



### ***A la fin de la discussion sur Sir Isaac Newton (Diapositive 7)***

***Possibilité (i) Demander aux élèves de faire des recherches et de rédiger un bref résumé des nombreuses réalisations de Newton***

***Possibilité (ii) Demander aux élèves de faire des recherches sur les premiers réacteurs, le wagon à vapeur (opposé au moteur à vapeur) et pourquoi l'idée a été abandonnée***

### ***Après avoir souligné la puissance du moteur à réaction (Diapositive 8)***

***Eventuel complément (pour des groupes de meilleur niveau ou pour des classes scientifiques)***

***Revoir les définitions de Force Travail, Puissance et Energie, revoir les unites respectives. Le cheval vapeur ne fait pas partie du système SI, mais il est encore couramment utilisé (au moins dans le monde Anglophone). Ils doivent donc être conscients que 1 hp = 746 watts où 1 watt = 1 Nm / s (newton mètre par seconde) et est défini comme le taux auquel le travail est effectué lorsque la vitesse de l'objet est maintenue constante à un mètre par seconde contre la force d'opposition constante d'un newton.***

### ***Après le didacticiel***

***Eventuel complément (i) : Comme suggéré dans la dernière Diapositive : donner à la classe l'accès au site web mentionné sur la Diapositive – pour un accès à l'école ou au collège si c'est possible, ou à la maison, et faire fonctionner le simulateur de moteur.***

***Eventuel complément (ii) : Les élèves peuvent également étudier les nombreux clips vidéo sur YouTube qui illustrent le fonctionnement d'un turboréacteur - certains sont ludiques et généraux ; certains assez techniques – chacun décidera par lui même comment et jusqu'où il souhaite aller.***





## Moteurs à Réaction - Recherche de vocabulaire : 1A

Trouvez les dix mots liés au moteur à réaction parmi les mots cachés dans la grille suivante. Pour vous aider, les dix mots sont :

- \* Airbus
- \* Combustion
- \* Turbo
- \* Propulseur
- \* Réaction
- \* Avion
- \* Newton
- \* Fusée
- \* Turbine
- \* Hélices

Chaque fois que vous trouvez un mot, donnez sa signification.

T	I	B	A	L	T	N	H	R	L
R	A	V	I	O	N	E	E	I	O
I	G	R	R	A	V	W	L	E	S
C	O	M	B	U	S	T	I	O	N
A	P	B	U	S	T	O	C	E	Q
B	T	O	S	I	N	N	E	S	Z
T	U	R	B	O	F	U	S	E	E
P	R	O	P	U	L	S	E	U	R
R	B	R	E	A	C	T	I	O	N
I	T	U	R	B	I	N	E	G	H



## Moteurs à Réaction - Recherche de vocabulaire : 1B

Pouvez vous trouver les dix mots sur les moteurs à réaction cachés dans la grille ?

**Pas d'indices :** Vous devez les trouver par vous mêmes.

T	I	B	A	L	T	N	H	R	L
R	A	V	I	O	N	E	E	I	O
I	G	R	R	A	V	W	L	E	S
C	O	M	B	U	S	T	I	O	N
A	P	B	U	S	T	O	C	E	Q
B	T	O	S	I	N	N	E	S	Z
T	U	R	B	O	F	U	S	E	E
P	R	O	P	U	L	S	E	U	R
R	B	R	E	A	C	T	I	O	N
I	T	U	R	B	I	N	E	G	H

Chaque fois que vous trouvez un mot, donnez sa signification.



## Moteurs à Réaction - Recherche de vocabulaire : 2A

Pouvez vous trouver les douze mots sur les moteurs à réaction cachés dans la grille ? Chaque fois que vous trouvez un mot, donnez sa signification.

ATTENTION : Certains mots sont écrits en diagonale, de la gauche vers la droite mais certains sont disposés de la droite vers la gauche!

Pour vous aider, les dix mots sont :

- \* Airbus      \* Combustion      \* Turbo      \* Propulseur      \* Réaction      \* Statoréacteur
- \* Poussée      \* Newton      \* Fusée      \* Turbine      \* Hélices      \* Mach

C	U	R	R	A	U	T	H	E	P	I	C	U
O	U	R	S	P	O	L	A	I	R	E	T	R
M	V	I	R	L	N	O	I	T	C	A	E	R
B	A	O	R	A	N	X	I	E	U	X	E	U
U	H	C	I	E	S	E	C	I	L	E	H	E
S	M	O	H	W	L	T	W	Y	I	L	E	S
T	A	U	I	R	U	F	E	T	B	R	N	L
I	X	A	I	R	B	U	S	C	O	Q	I	U
O	I	S	B	I	U	S	E	A	U	N	B	P
N	T	O	I	R	E	E	T	A	B	L	R	O
S	T	A	T	O	R	E	A	C	T	E	U	R
B	I	E	N	P	O	U	S	S	E	E	T	P



## Moteurs à Réaction - Recherche de vocabulaire : 2B

Pouvez vous trouver les douze mots sur les moteurs à réaction cachés dans la grille ? Chaque fois que vous trouvez un mot, donnez sa signification.

ATTENTION : Certains mots sont écrits en diagonale, de la gauche vers la droite mais certains sont disposés de la droite vers la gauche!

**Pas d'indices : Vous devez les trouver par vous mêmes.**

C	U	R	R	A	U	T	H	E	P	I	C	U
O	U	R	S	P	O	L	A	I	R	E	T	R
M	V	I	R	L	N	O	I	T	C	A	E	R
B	A	O	R	A	N	X	I	E	U	X	E	U
U	H	C	I	E	S	E	C	I	L	E	H	E
S	M	O	H	W	L	T	W	Y	I	L	E	S
T	A	U	I	R	U	F	E	T	B	R	N	L
I	X	A	I	R	B	U	S	C	O	Q	I	U
O	I	S	B	I	U	S	E	A	U	N	B	P
N	T	O	I	R	E	E	T	A	B	L	R	O
S	T	A	T	O	R	E	A	C	T	E	U	R
B	I	E	N	P	O	U	S	S	E	E	T	P



# Recherche de vocabulaire-Correction

Première grille

			A			N	H		
	A	V	I	O	N	E	E		
			R			W	L		
C	O	M	B	U	S	T	I	O	N
			U			O	C		
			S			N	E		
T	U	R	B	O	F	U	S	E	E
P	R	O	P	U	L	S	E	U	R
		R	E	A	C	T	I	O	N
	T	U	R	B	I	N	E		



**Deuxième grille**

C												
O												
M					N	O	I	T	C	A	E	R
B	A				N							U
U		C			S	E	C	I	L	E	H	E
S			H			T	W				E	S
T					U	F		T			N	L
I		A	I	R	B	U	S		O		I	U
O			B			S				N	B	P
N		O				E					R	O
S	T	A	T	O	R	E	A	C	T	E	U	R
				P	O	U	S	S	E	E	T	P



