

# Mémo de cours n°1

## Notions de base en physique newtonienne

v1.0.1

CC-BY-SA Olivier Cleynen – introméca.ariadacapo.net

### 1.1 Énergie

---

L'énergie est une notion bien trop difficile pour que nous nous risquions ici à la définir ou à en étudier la nature. Nous nous contenterons de dire que dans le cadre de ce cours, elle représente la capacité d'un corps à en mettre un autre en mouvement.

Nous mesurons l'énergie en Joules (J).

L'énergie ne peut être ni créée, ni détruite. Nous ne pouvons que la transformer d'une forme à une autre.

#### 1.1.1 Énergie cinétique

L'énergie que possède un corps en mouvement est appelée énergie cinétique. Elle doit lui être fournie pour le mettre en mouvement et retirée pour l'immobiliser.

$$E_c = \frac{1}{2}mC^2 \quad (1/1)$$

où  $E_c$  est l'énergie cinétique (J),

$m$  la masse du corps (kg),

et  $C$  la vitesse ( $\text{m s}^{-1}$ ).

#### 1.1.2 Énergie potentielle d'altitude

Dans un champ de gravité il faut de l'énergie pour éloigner un corps de sa source d'attraction ; nous nommons cette énergie « potentielle d'altitude ». Lorsque le champ est uniforme (par exemple dans un intervalle de quelques dizaines de kilomètres autour du sol terrestre) elle est simplement proportionnelle à l'altitude.

$$E_p = mgz \quad (1/2)$$

où  $E_p$  est l'énergie potentielle d'altitude (J),

$m$  la masse du corps (kg),

où  $g$  est la valeur locale de l'accélération gravitationnelle (considérée constante) ( $\text{m s}^{-2}$ ),

et  $z$  l'altitude par rapport au point de référence (m).

L'énergie potentielle d'altitude sera négative en dessous du point de référence choisi pour mesurer l'altitude.

### 1.1.3 Énergie mécanique

Énergie cinétique et potentielle d'altitude sont souvent rassemblées ensemble en un seul terme, nommé « énergie mécanique » :

$$E_m \equiv E_c + E_p = m \left( \frac{1}{2} C^2 + gz \right) \quad (1/3)$$

Lorsqu'un objet n'est pas soumis aux forces de frottement son énergie mécanique reste constante.

### 1.1.4 Autres formes d'énergie

Il existe de multiples autres formes d'énergie (par exemple, énergie nucléaire, électrique, potentielle de compression, chaleur), que nous n'étudierons pas dans ce cours.

Une dernière forme d'énergie importante en mécanique, le *travail*, est abordée plus bas dans ce cours (§1.4).

## 1.2 Puissance

---

La puissance représente un débit d'énergie dans le temps. Son unité SI est le Joule par seconde, c'est à dire le Watt :

$$1 \text{ W} \equiv 1 \text{ J s}^{-1} \quad (1/4)$$

D'autres unités sont souvent utilisées, comme le cheval-vapeur :

$$1 \text{ ch.} = 735 \text{ W} \quad (1/5)$$

Nous dénoterons les puissances avec un point au dessus du symbole de l'énergie ; ainsi on note  $\dot{E}$  une puissance (par exemple mécanique) apportant une énergie  $E$  chaque seconde.

Dans le langage courant, le terme « puissance » est utilisé pour quantifier *la puissance maximale utile* d'un système.

### 1.3 Force

---

L'action que peut exercer un corps sur un autre est nommée *force*. Nous mesurons les forces en Newton (N).

Une force que l'on retrouve souvent dans les applications en mécanique newtonienne est le poids. Nous retiendrons qu'il est directement proportionnel à la masse, selon la relation

$$P = mg \tag{1/6}$$

où  $P$  est le poids exercé sur le corps (N),

$m$  est la masse du corps (kg)

et  $g$  est la valeur locale de l'accélération due à la gravité ( $\text{m s}^{-2}$ ).

Une étude plus poussée révèle que la valeur de  $g$  dépend de l'altitude, et que sa valeur apparente (ressentie par le corps) dépend de l'accélération du corps. Ces facteurs n'importent pas dans ce cours et nous retiendrons simplement la valeur  $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$  pour toutes nos applications.

### 1.4 Travail

---

Le travail est une forme d'énergie. Lorsque l'on applique une force  $F$  sur un objet, et qu'il se déplace sur une distance  $d$  dans la même direction que la force  $F$ , on dépense une quantité d'énergie  $W$  :

$$W \equiv F d \tag{1/7}$$

où  $W$  est le travail (J),

$F$  la force (N), et

$d$  la distance sur laquelle la force  $F$  a été exercée (m).

Lorsque le déplacement est nul le travail est nul.

Seule la composante de la force s'appliquant dans l'axe du déplacement génère un travail.

Une force perpendiculaire au déplacement du sujet ne génère aucun travail.

Nous formaliserons cette définition avec la notion de produit scalaire pour le projet 5.

# Bureau d'études n°1

v1.0.1

CC-BY-SA Olivier Cleynen – introméca.ariadacapo.net

## 1.1 Freinage d'un train

---

Un train à propulsion électrique a une masse à vide de 435 t et transporte 430 passagers. Il circule à la vitesse de  $320 \text{ km h}^{-1}$  et est équipé de freins magnétiques et mécaniques capables d'exercer une force de freinage variable de 0 à 32 kN par essieu, sur 32 essieux. Pour mettre au point les systèmes de sécurité du train, on souhaite connaître ses performances en freinage d'urgence. Lors de ces calculs, on néglige l'influence des frottements aérodynamiques.

1. Quelle sera la distance minimale de freinage du train depuis sa vitesse de pointe sur une voie horizontale ?
2. De combien augmentera la distance si la vitesse de circulation est augmentée de 10 % ?
3. À quelle valeur faudrait-il porter la force de freinage par essieu, et quelle serait la puissance maximale absorbée par chacun d'entre eux, si le freinage depuis  $320 \text{ km h}^{-1}$  devait être effectué sur la même distance en descente, sur une voie de pente 3 % ?

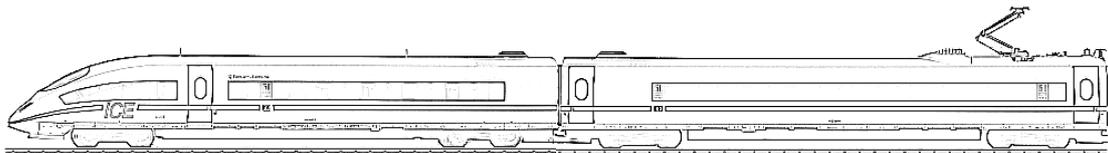


FIGURE 1.1 – Siemens Velaro (puissance 8 MW) exploité par la Deutsche Bahn.

*source inconnue*

## 1.2 Performances d'un avion de ligne

---

Un appareil de ligne quadriréacteur transportant 415 passagers débute sa croisière à une altitude de 33 000 pieds alors que sa masse est de 390 t, à une vitesse de 910 km h<sup>-1</sup>.

La finesse de l'appareil en croisière est de 17,5 et l'efficacité énergétique finale<sup>1</sup> des moteurs est de 30 %.

Le kérosène embarqué au sol a une masse volumique de 820 kg m<sup>-3</sup> et une capacité énergétique de 46 MJ kg<sup>-1</sup>.

1. Quelle est la poussée fournie par chaque moteur ?
2. Quelle est la puissance consommée par les quatre moteurs ?
3. Quelle est la consommation de carburant en litres par 100 km par passager ?
4. L'équipage envisage d'augmenter la vitesse de 1,8 %, ce qui provoquerait une réduction de finesse de 2,9 %. Comment cela affecterait-il les valeurs ci-haut ?

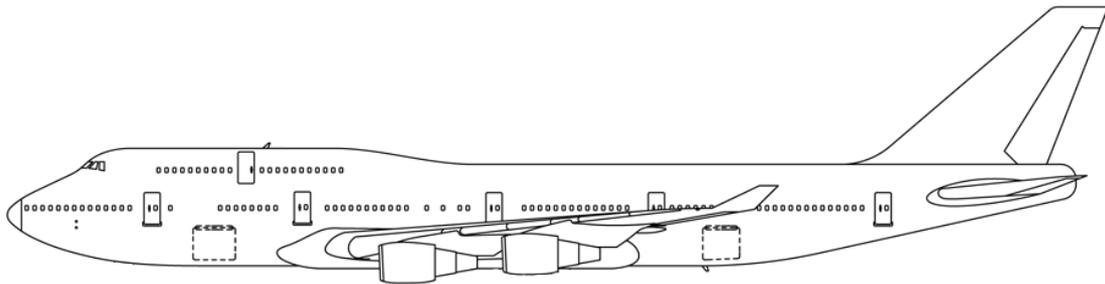


FIGURE 1.2 – Avion de ligne célèbre construit en 700 exemplaires entre 1988 et 2009.

*Dessin CC-BY-SA par Julien Scavini*

---

1. L'efficacité énergétique finale est égale à l'efficacité thermodynamique multipliée par l'efficacité propulsive. C'est le rapport entre l'énergie chimique du carburant et l'énergie qu'il a permis de transmettre à l'avion.

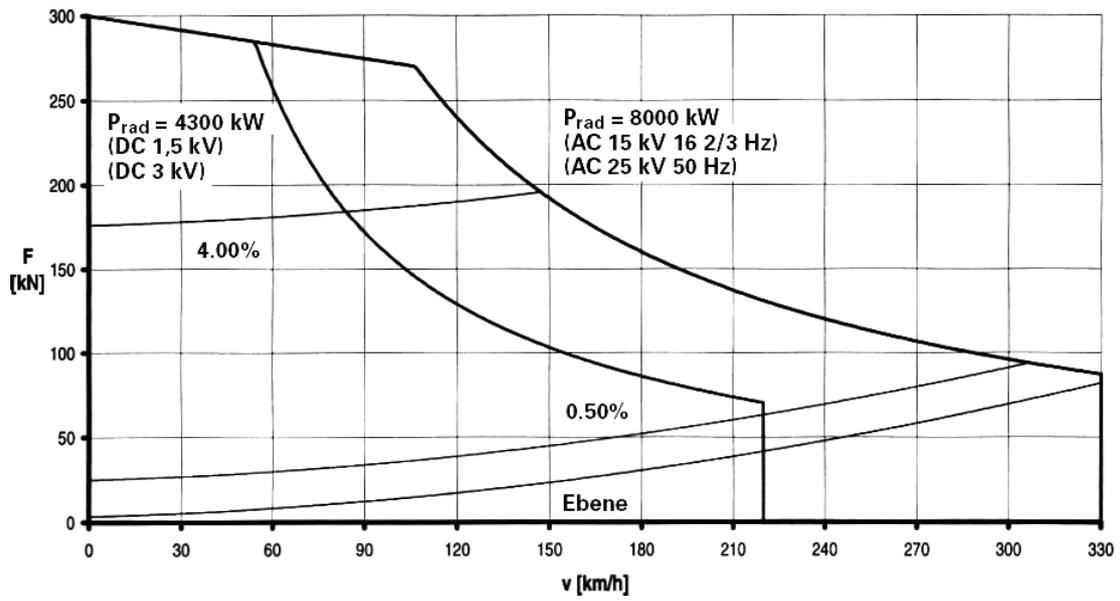


FIGURE 1.3 – Courbes de puissances pour un ICE-3MF.

source inconnue

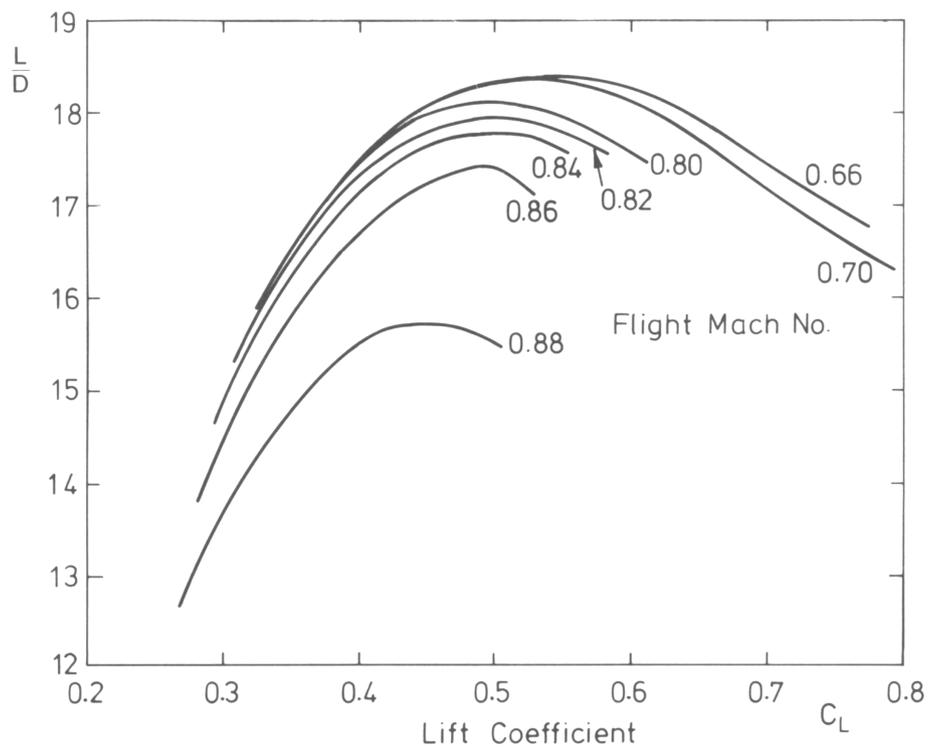


FIGURE 1.4 – Finesse d'un B747-400 en fonction du coefficient de portance et de la vitesse de croisière, au FL350.

source : Eshelby 2000