L'énergie, le travail, la puissance et le rendement

I. L'énergie

On ne sait pas définir précisément le concept général d'énergie. Par contre on sait définir l'énergie :

- cinétique — liée à la vitesse d'un corps
- potentielle — liée à la hauteur à laquelle se trouve un corps
- mécanique — égale la somme : $E_{cinétique} + E_{potentielle}$
- thermique — liée à la température d'un corps
- électrique — liée à l'électricité
- chimique — liée aux liaisons chimiques entre les atomes
- rayonnante — liée aux ondes électromagnétiques : la lumière, l'infrarouge, l'ultraviolet etc.
- nucléaire — liée aux liaisons des protons et neutrons dans les noyaux d'atomes
- de masse — liée à la masse selon la relation d'Einstein : $E = m \cdot c^2$

L'énergie d'un système est la somme des énergies ci-dessus du système.
Un **système** est l'ensemble des corps d'une région de l'espace et l'espace qui contient ces corps.
Exemples : Le système solaire = tous les corps et l'espace autour du Soleil, allant jusqu'à Pluton.
La Terre avec tout ce qu'elle contient. Un moteur, une casserole, une voiture, ...

L'énergie peut être *transformée* d'une forme à une autre.
Exemples :

- La force de frottement transforme de l'énergie mécanique en énergie thermique.
- Un barrage transforme de l'énergie potentielle en énergie électrique grâce à la force de pesanteur.
- Une cellule photoélectrique transforme de l'énergie rayonnante en énergie électrique.
- Votre peau transforme l'énergie rayonnante en énergie thermique.
- Une machine à vapeur transforme de l'énergie thermique en énergie mécanique.
- Une centrale nucléaire transforme l'énergie nucléaire en énergie thermique, puis cette énergie thermique est transformée partiellement en énergie électrique.
- Un moteur à essence transforme de l'énergie chimique en énergie mécanique.

Dans tous les cas, un principe fondamental est vérifié :

L'énergie totale d'un système isolé reste constante !

Un système est isolé si aucune matière, ni rayonnement, ni chaleur ne s'échappe, ni ne rentre.

Autrement dit :

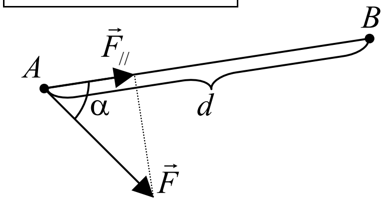
Il est **impossible** d'avoir **création** ou **disparition** d'énergie.
L'énergie ne peut que se **transformer** d'une forme en une autre, se **transférer** d'un système à un autre ou se **stocker**.

C'est le principe de **la conservation de l'énergie.**

L'unité officielle de mesure de l'énergie est **le joule** [J].

II. Le travail d'une force

Lorsqu'une force $\vec{F}$ déplace un corps sur une distance d, on dit que cette force effectue un travail.
Le **travail de la force** $\vec{F}$ **sur la distance** $d = \overline{AB}$ est définie par : $\boldsymbol{W = F_{//} \cdot d}$, où $F_{//}$ est la composante de la force parallèle à la direction de déplacement.
Puisque $F_{//} = F \cdot \cos(\alpha)$, où α est l'angle entre $\vec{F}$ et $[AB]$, on a : $\boxed{W = F \cdot d \cdot \cos(\alpha)}$



L'unité du travail est comme pour l'énergie : **le joule** [J].
Faites l'exercice II.1 pour savoir ce que représente 1 Joule.

<u>Remarques :</u>
Une force n'effectue de travail **que lorsque son point d'application se déplace.** Par exemple, la force musculaire d'un haltérophile effectue un travail lorsqu'il soulève une haltère mais n'en n'accomplit plus pendant qu'il la maintient à bout de bras au-dessus de la tête.

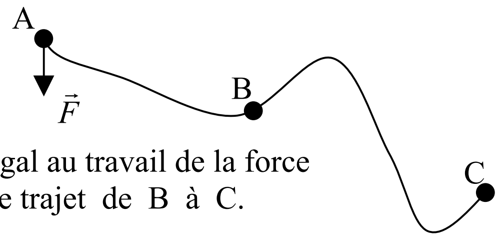
Le travail d'une force est une grandeur scalaire obtenue à partir de deux grandeurs vectorielles $\vec{F}$ et $\vec{d}$.

On parle de travail **moteur** lorsque $\alpha < 90°$ et donc $\cos(\alpha) > 0$.
Donc le travail d'une force motrice est généralement positif.

On parle de travail **résistant** lorsque $\alpha > 90°$ et donc $\cos(\alpha) < 0$.
Donc le travail d'une force de frottement est généralement négatif.

Une force perpendiculaire au déplacement ($\alpha = 90°$) n'effectue aucun travail c'est le cas de la force centripète du mouvement circulaire. Par exemple la Lune tournant autour de la Terre.

Le travail d'une force est une grandeur additive; ainsi le calcul du travail d'une force lors d'un déplacement non rectiligne se fait en sommant les travaux de la force le long d'éléments rectilignes épousant au mieux la trajectoire non rectiligne.



<u>Propriétés du travail d'une force :</u>

i) Le travail de la force $\vec{F}$ sur le trajet de A à C est égal au travail de la force sur le trajet de A à B, plus le travail de la force sur le trajet de B à C.

ii) Le travail effectué par une force sur le trajet de A à B est égal à moins le travail effectué par la même force sur le trajet de B à A : $W_{AB} = -W_{BA}$.

iii) Le travail de la résultante de plusieurs forces est égal à la somme des travaux de ces forces.

iv) Une force est dite **conservative** si son travail du point A au point B est indépendant du chemin suivi.
Exemple : La force de pesanteur est conservative, alors que la force de frottement est non-conservative ! (Démonstration en classe)

Le travail d'une force permet de transformer une forme d'énergie en une autre.

III. La puissance

La plupart des transformations d'énergies s'opèrent au cours du temps. Par exemple, le carburant d'une voiture se consomme petit à petit pour fournir au véhicule de l'énergie mécanique. Il y a transformation d'énergie chimique en énergie mécanique.

Dire qu'une énergie ΔE est transformée est équivalent à dire qu'un travail $W = \Delta E$ est effectué !

Supposons que pendant un intervalle de temps Δt une énergie ΔE soit transformée. Le rapport $\frac{\Delta E}{\Delta t}$ exprime la quantité d'énergie transformée par unité de temps. Ce rapport définit la **puissance moyenne** :

$$\boxed{P_{\text{moyenne}} = \frac{\Delta E}{\Delta t}} = \frac{W}{\Delta t}$$

Souvent la puissance moyenne est indépendante de la durée Δt. Dans ce cas, on parle de **puissance**, sans ajouter le mot "moyenne".

Quand la puissance est constante dans le temps, on en déduit que : $\boxed{\Delta E = P \cdot \Delta t}$

L'unité dans le Système International de la puissance est **le watt** [W].

<u>Exemples :</u>

1) Une ampoule électrique sur laquelle il est écrit : 100 [W], signifie que dans des conditions normales d'utilisation, elle consomme 100 joules par secondes.

2) Dans le cas d'une voiture qui consomme de l'essence, plus elle consomme d'essence par seconde, plus elle fournit une grande puissance. Cette puissance sert à fournir de l'énergie mécanique à la voiture et à compenser le travail des forces de frottement.
   Mais une partie de cette puissance chauffera le moteur et sera non utile pour faire avancer la voiture.
   Ceci mène à la notion de rendement.

IV. Le rendement

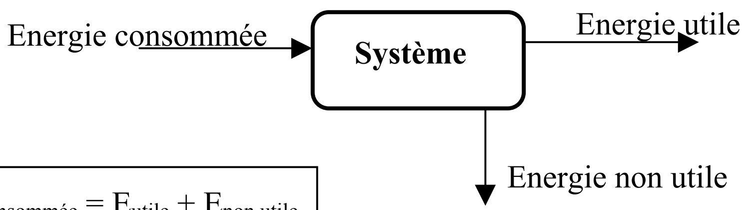
Idéalement, lors d'une transformation d'énergie par un système, il n'y a que deux formes d'énergies.
L'**énergie consommée** est la forme d'énergie qui se transforme en l'énergie utile.
L'**énergie utile** est la forme d'énergie obtenue par transformation de l'énergie consommée.

Dans la réalité, il y a toujours une troisième forme d'énergie obtenue, qui n'est pas désirée, mais inévitable. On l'appelle l'**énergie non utile**.

<u>Exemple n° 1:</u>
Dans une voiture, l'*énergie consommée* est celle stockée sous forme chimique dans l'essence.
L'énergie utile est celle qui sert à fournir de l'énergie mécanique à la voiture et à compenser le travail des forces de frottement.
L'énergie non utile est représentée par toutes les autres formes d'énergies obtenue. Principalement celle sous forme thermique, qui fait chauffer le moteur.

<u>Exemple n° 2:</u>
Dans une ampoule électrique, l'*énergie consommée* provient de l'électricité.
L'*énergie utile* est celle qui sert à éclairer.
L'*énergie non utile* est celle qui fait chauffer l'ampoule.

On peut représenter cette transformation d'énergie par le schéma suivant :



Dans l'exemple n° 1,
le système = la voiture.

Dans l'exemple n° 2,
le système = l'ampoule.

On a : $\boxed{E_{\text{consommée}} = E_{\text{utile}} + E_{\text{non utile}}}$

Le rendement η est défini comme le rapport entre l'énergie utile que délivre un système et l'énergie totale fournie à ce même système :

$$\boxed{\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{consommée}}}}$$

En divisant par l'intervalle de temps Δt, le rendement peut aussi s'écrire :

$$\boxed{\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{cosommée}}}}$$

Le rendement n'a pas unité car c'est un rapport entre deux grandeurs identiques, on écrit un rendement en pour-cent.
Rappel : 1 = 100% ; 0,60 = 60% ; 0,32 = 32 % etc

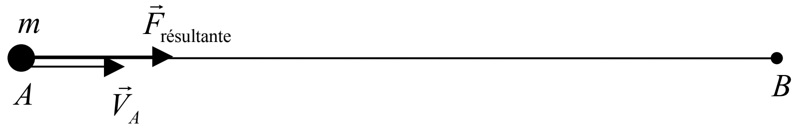
On a aussi : $\boxed{P_{\text{consommée}} = P_{\text{utile}} + P_{\text{non utile}}}$

Dégradation de l'énergie
Il est possible de transformer intégralement une énergie mécanique en chaleur, mais il est par contre impossible de transformer intégralement de la chaleur en énergie mécanique. C'est la raison pour laquelle on dit que la chaleur est une forme dégradée de l'énergie.

V. L'énergie cinétique, l'énergie potentielle et l'énergie mécanique

Energie cinétique (énergie de mouvement)
L'expression "énergie cinétique", du grec *kinèsis* qui signifie 'mouvement'.

Montrons que le <u>travail de la force résultante</u> sur le trajet de A à B est : $W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_B^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_A^2$



Notons :
Δx = la distance de A à B.
$\vec{V}_A$ = la vitesse de la masse au point A.
$\vec{V}_B$ = la vitesse de la masse au point B.
a = l'accélération de la masse.
La formule de Torricelli nous dit que : $V_B^2 = V_A^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta x$

La 2ème loi de Newton nous dit que : $a = \frac{F_{\text{résultante}}}{m}$

Donc $V_B^2 = V_A^2 + 2 \cdot \frac{F_{\text{résultante}}}{m} \cdot \Delta x$. (On a substitué a par $\frac{F_{\text{résultante}}}{m}$ dans la formule de Torricelli.)

$V_B^2 - V_A^2 = 2 \cdot \frac{F_{\text{résultante}}}{m} \cdot \Delta x$. (On a soustrait V_A^2 des deux côtés.)

$\frac{1}{2} \cdot m \cdot V_B^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_A^2 = F_{\text{résultante}} \cdot \Delta x$. (On a multiplié par $\frac{1}{2} \cdot m$ des deux côtés et simplifié.)

On a montré que : $\frac{1}{2} \cdot m \cdot V_B^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_A^2$ = le travail de la force résultante sur le trajet [AB].

On <u>définit</u> **l'énergie cinétique** d'un corps de masse m se déplaçant à vitesse V par

$$\boxed{E_{\text{cinétique}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2}$$

On peut montrer plus généralement qu'on a toujours :

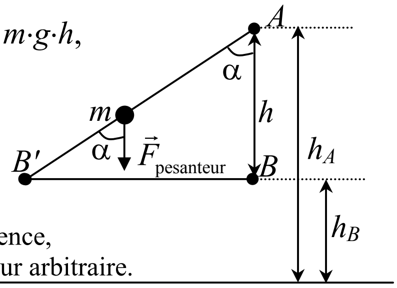
$$\boxed{\text{Le travail de la force résultante sur un trajet de } A \text{ à } B = E_{\text{cinétique en } B} - E_{\text{cinétique en } A}}$$

Ce travail dépend des positions A et B, mais pas du trajet, entre A et B.

Rappelons que l'unité de l'énergie est **le joule** [J].

Energie potentielle (Energie de position, de situation)

Montrons que le travail de la force de la pesanteur pour aller de A à B égale $m \cdot g \cdot h$, où $h = h_A - h_B$ = la différence de hauteur entre les points A et B.



La force de la pesanteur = $m \cdot g$

Le travail de la force de la pesanteur pour aller de A à B' égale :

$W_{AB'} = m \cdot g \cdot \underbrace{\overline{AB} \cdot \cos(\alpha)}_{=h} = m \cdot g \cdot h$

Le travail $W_{B'B}$ de la force de la pesanteur pour aller de B' à B est nul, car la force de la pesanteur est perpendiculaire au déplacement de B' à B.

Donc le travail de la force de la pesanteur pour aller de A à B égale :

$W_{AB} = m \cdot g \cdot h = m \cdot g \cdot (h_A - h_B)$.

On peut écrire de façon équivalente : $W_{AB} = m \cdot g \cdot h_A - m \cdot g \cdot h_B$.

On définit **l'énergie potentielle** que possède un corps de masse m dans un champ de gravitation g par $\boxed{E_{\text{potentielle en } A} = m \cdot g \cdot h_A}$ (et aussi $E_{\text{potentielle en } B} = m \cdot g \cdot h_B$)

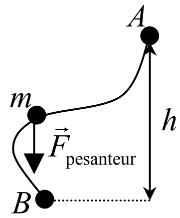
h_A est la hauteur par rapport à un niveau arbitraire de la position A.

L'énergie potentielle est donc définie par rapport à niveau choisi arbitrairement. Mais la variation d'énergie potentielle ne dépend pas de ce choix.

On a toujours :

$\boxed{\text{Le travail de la force de la pesanteur sur un trajet de } A \text{ à } B = E_{\text{potentielle en } A} - E_{\text{potentielle en } B}}$

Ce travail dépend des positions A et B, mais pas du trajet, entre A et B.



Energie mécanique

On définit **l'énergie mécanique** d'un corps ou d'un système par la somme des énergies cinétique et potentielle de ce corps ou ce système.

$$\boxed{E_{\text{mécanique}} = E_{\text{cinétique}} + E_{\text{potentielle}}}$$

> En l'absence de forces motrices ou de forces de frottement, l'énergie mécanique d'un système est conservée (elle reste constante au cours du temps et du mouvement).

Si des forces de frottement ou motrice interviennent, le travail de ces forces est égal à la variation d'énergie mécanique du système :

$$\boxed{W_{\text{moteur}} + W_{\text{frottement}} = E_{\text{mécanique finale}} - E_{\text{mécanique initiale}}}$$

Rappelons que le travail des forces de frottement $W_{\text{frottement}}$, calculé de manière habituelle, est négatif, car $\cos(180°) = -1$.

La variation d'énergie mécanique peut être positive, nulle ou négative, suivant que le travail de la force motrice est supérieur, égale ou inférieur au travail de la force de frottement.

Exercices qui suivent le cours sur l'énergie, le travail et la puissance.

I.1 Ecrivez 7 formes d'énergie.

I.2 Quel est le type d'énergie utilisé dans un barrage ?

I.3 Quel est le type d'énergie stockée dans l'essence ?

I.4 Quel est le type d'énergie stockée dans une pile ?

I.5 Que dit le principe de conservation d'énergie ?

I.6 Cherchez dans la table CRM quelques ordres de grandeurs d'énergies diverses. Ecrivez en dix.

II.1 Que représente 1 joule ? Exprimez 1 joule dans d'autres unités connues et dans les unités du système international MKSA.

II.2 Quel est le travail effectué par un corps subissant une force de 15 Newtons dans la direction et le sens du mouvement, se déplaçant sur une distance de 2 [km] ?

II.3 Pourquoi la Lune qui tourne autour de la Terre n'effectue aucun travail ? On admettra que la trajectoire de la Lune autour de la Terre est circulaire.

II.4 Sachant que le travail effectué par une force pour aller d'un point A à un point B est de 25 Joules et que le travail effectué par cette force pour aller du point A à un point C est de 42 Joules, quel est le travail effectué par cette force pour aller du point B au point C ?

II.5 On utilise aussi fréquemment la tonne équivalent pétrole [tep] comme unité d'énergie.
1 [tep] = 42 [GJ] (gigajoules)
Ecrivez 1 gigajoule en joules, en utilisant les puissances de 10.
Ecrivez 1 mégajoule [MJ] en joules, en utilisant les puissances de 10.
Convertissez 200 [MJ] en [tep].

II.6 Les factures de consommation d'électricité que reçoivent vos parents utilisent le kilowattheure [kWh] comme unité d'énergie. Consommer 1'000 joules par seconde pendant une heure, correspond à consommer 1 kilowattheure. Combien de joules font 1 [kWh] ? Combien de [kWh] font 1 [tep] ?

III.1 Montrez que 1 watt égale 1 joule par seconde : 1 [W] = 1 [J/s]

III.2 Exprimez 1 watt en unités du système international MKSA.

III.3 Cherchez dans la table CRM quelques ordres de grandeurs de puissances. Ecrivez en dix.

III.4 Le cheval-vapeur était fréquemment utilisé du temps où les chevaux effectuaient beaucoup de travaux dans les fermes. Par définition, un cheval vapeur est la puissance fournie pour soulever une masse de 75 kilogrammes d'une hauteur de 1 mètre en une seconde.
Combien de watts font un cheval vapeur ?

III.5 1 kilowattheure [kWh] correspond à l'énergie consommée pendant une heure d'un appareil consommant une puissance de 1'000 watts. Combien de joules font 1 [kWh] ?

III.6 Quelle est l'énergie consommée si on fournit une puissance de 2'000 watts pendant une minute ?

IV.1 convertissez en pour-cent les valeurs : 0,15; 0,47; 0,882; 0,9; 0,02; 0,005; 1,25; 2.

IV.2 Cherchez dans la table CRM quelques rendements de machines. Ecrivez-en dix.

IV.3 Cherchez dans la table CRM quelques rendements de lampes. Ecrivez-en cinq.

IV.4 Un rendement, peut-il être supérieur à 100% ?

IV.5 En consommant une puissance de 3'000 watts pendant 10 secondes pour faire avancer une voiture de 1,2 tonnes sur une route horizontale, elle est passée de l'arrêt à une vitesse de 21,6 [km/h].
Quelle est l'énergie consommée ? Quelle est l'énergie utile ? Quelle est l'énergie non utile ? Quelle est le rendement ?

V.1 Quelle est l'énergie cinétique d'une voiture d'une tonne roulant à 72 [km/h] ?
Quel travail faut-il effectuer pour arrêter cette voiture ?

V.2 Quelle est l'énergie potentielle d'un plongeur de 75 [kg] sur le plongeoir des 10 mètres ?
En négligeant le frottement, quelle est sa vitesse en arrivant dans l'eau, 10 mètres plus bas ?
Quelle est son énergie cinétique à l'arrivée dans l'eau ?
Quelle est son énergie mécanique sur le plongeoir et à l'arrivée dans l'eau ?

V.3 Une voiture de 1,5 tonnes est accélérée par une force de 3'000 newtons sur une distance horizontale de 20 mètres. Quel est le travail effectué par cette force ?
Sachant que la voiture était à l'arrêt au départ et en négligeant les forces de frottements, quelle est sa vitesse après 20 mètres ?

Corrigé des exercices qui suivent le cours sur l'énergie, le travail et la puissance.

I.1 9 formes d'énergies sont données en début de cours. On trouve l'énergie cinétique, potentielle, mécanique, calorifique, électrique, nucléaire, lumineuse, chimique et de masse, selon la relation d'Einstein : $E = m \cdot c^2$.

I.2 L'énergie utilisée dans un barrage est l'énergie potentielle. Elle est transformée en énergie cinétique, qui elle-même est transformée en énergie électrique.

I.3 L'énergie stockée dans l'essence est une énergie chimique.

I.4 L'énergie stockée dans une pile est aussi une énergie chimique. Par réaction chimique, cette énergie se transforme en énergie électrique

I.5 Le principe de conservation d'énergie dit que l'énergie totale d'un système isolé reste constante. Il n'y a jamais création ou disparition d'énergie, mais seulement transformation ou transfert d'énergie.

I.6 En cherchant dans l'index de la table CRM le mot "énergie" puis "ordre de grandeur", on trouve à la page 174 (ou 178) les valeurs suivantes :

L'énergie d'un photon dans le domaine visible	$\approx 10^{-19}$ [J]
L'énergie d'un électron dans un tube TV	$\approx 10^{-15}$ [J]
L'énergie d'un clin d'œil	$\approx 10^{-7}$ [J]
L'énergie d'un proton dans un grand accélérateur	$\approx 10^{-7}$ [J]
L'énergie d'une pomme en chute libre	≈ 1 [J]
L'énergie d'une balle de tennis	$\approx 10^{2}$ [J]
L'énergie d'une balle de fusil	$\approx 10^{4}$ [J]
L'énergie de chauffage de l'eau d'un bain	$\approx 10^{7}$ [J]
L'énergie du travail journalier d'un homme	$\approx 10^{7}$ [J]
L'énergie d'une bombe d'une tonne de TNT	$\approx 10^{10}$ [J]
L'énergie d'un éclair (de la foudre)	$\approx 10^{10}$ [J]
L'énergie consommée quotidiennement en Suisse	$\approx 10^{14}$ [J]
L'énergie d'une bombe H (100 mégatonnes)	$\approx 10^{18}$ [J]
L'énergie d'une éruption solaire	$\approx 10^{24}$ [J]
L'énergie d'une explosion de supernova	$\approx 10^{40}$ [J]

II.1 Selon la formule $W = F \cdot d \cdot \cos(\alpha)$, les joules sont des Newtons fois des mètres.
1 [J] = 1 [N · m].
De la formule $F = m \cdot a$, on en déduit : 1 [N] = 1 [kg · m / s^2].
Donc 1 [J] = 1 [kg · m^2 / s^2].

II.2 Travail = force fois distance. Ici l'angle entre la force et le déplacement est nulle, donc cos(α)=1.
Le travail effectué = 15 [N] · 2'000 [m] = 30'000 [J].

II.3 La force d'attraction que subit la Lune est perpendiculaire au déplacement, donc α = 90°.
Puisque cos(90°) = 0, le travail effectué par la Lune est nul.
En réalité, la Lune subit une légère force de frottement due aux particules cosmiques qui effectue un petit travail, qui ralenti la Lune. Mais ce ralentissement est très faible.

II.4 Le travail effectué pour aller de A à B plus celui pour aller de B à C égale celui pour aller de A à C. Donc le travail pour aller de B à C égale 42 [J] - 25 [J] = 17 [J].

II.5 1 gigajoule = 10^9 Joules
1 mégajoule = 10^6 Joules
1 [tep] = $42 \cdot 10^9$ Joules
x [tep] = $200 \cdot 10^6$ Joules
$x = 200 \cdot 10^6 / 42 \cdot 10^9 = 0{,}00476$.
Donc 200 [MJ] correspondent à 0,00476 [tep].

II.6 Une heure = 3'600 secondes. Consommer 1'000 Joules par secondes pendant 3'600 secondes revient à consommer $3{,}6 \cdot 10^6$ Joules. Donc 1 [kWh] = $3{,}6 \cdot 10^6$ Joules.
1 [kWh] = $3{,}6 \cdot 10^6$ Joules
x [kWh] = $42 \cdot 10^9$ Joules
$x = 42 \cdot 10^9 / 3{,}6 \cdot 10^6 = 11'667$. Donc 1 [tep] = 11'667 [kWh]

III.1 Puissance = énergie sur temps, donc 1[W] = 1 [J / s].

III.2 1 [J] = 1 [kg · m^2 / s^2] selon l'exercice II.1.
Donc 1 [W] = 1 [kg · m^2 / s^3]

III.3 En cherchant dans l'index de la table CRM le mot "puissance" puis "ordre de grandeur", on trouve à la page 174 (ou 178) les valeurs suivantes :

Puissance dégagée par un corps humain au repos	≈ 70 à 100 [W]
Puissance consommée par un récepteur TV	≈ 100 [W]
Puissance consommée par un vélomoteur de 50 cm^3	≈ 900 [W]
Puissance consommée par un brûleur butane	≈ 900 [W]
Puissance consommée par un sèche-cheveux	≈ 1'000 à 1'300 [W]
Puissance consommée par une plaque électrique	$\approx 1{,}5 \cdot 10^3$ [W]
Puissance dégagée par un corps humain en activité	≈ 300 à 2'000 [W]
Puissance consommée par séchoir à linge	≈ 5 à $8 \cdot 10^3$ [W]
Puissance consommée par une voiture de tourisme (1'400 cm^3)	$\approx 40 \cdot 10^3$ [W]
Puissance consommée par une Locomotive électrique	$\approx 5 \cdot 10^6$ [W]
Puissance dégagée par une centrale nucléaire (Goesgen)	$\approx 600 \cdot 10^6$ [W]
Puissance dégagée par une centrale hydroélectrique	$\approx 750 \cdot 10^6$ [W]

III.4 Pour soulever 75 [kg] d'une hauteur de 1 [m], on effectue un travail de $75 \cdot 9{,}81 \cdot 1 = 736$ [J].
En effectuant ce travail en une seconde, on fournit une puissance de 736 [W].
Donc un cheval vapeur correspond à 736 Watts.

III.5 1 [kWh] = 1'000 Watts consommés durant 3'600 secondes.
Puisque $\Delta E = P \cdot \Delta t$, on a : 1 [kWh] = 1'000 [W] · 3'600 [s] = $3{,}6 \cdot 10^6$ [J].

IV.1 0,15 = 15% ; 0,47 = 47% ; 0,882 = 88,2% ; 0,9 = 90% ; 0,02 = 2% ; 0,005 = 0,5% ;
1,25 = 125% ; 2 = 200%

IV.2 En cherchant dans l'index de la table CRM le mot "rendement", on trouve à la page 173 (ou 177):

Le rendement d'un générateur électrique	≈ 70 à 99 %
Le rendement d'une pile sèche	≈ 90 %
Le rendement d'un moteur électrique industriel	≈ 60 à 90 %
Le rendement d'une pile à combustible hydrogène-oxygène	≈ 60 %
Le rendement d'un moteur diesel	≈ 34 à 50 %
Le rendement d'une fusée à carburant liquide	≈ 47 %
Le rendement d'une turbine à vapeur	≈ 35 à 46 %
Le rendement d'une centrale électrique à combustible fossile	≈ 40 %
Le rendement d'une centrale électrique à combustible nucléaire	≈ 32 %
Le rendement d'un moteur à essence	≈ 27 %
Le rendement d'un corps humain	≈ 25 %
Le rendement d'une machine à vapeur à piston	≈ 10 à 25 %

IV.3 En cherchant dans l'index de la table CRM le mot "rendement", on trouve à la page 173 (ou 177):

Le rendement d'une lampe à incandescence	≈ 5 à 10 %
Le rendement d'une lampe à basse tension au krypton	≈ 10 à 14 %
Le rendement d'un tube fluorescent compact	≈ 18 à 46 %
Le rendement d'un tube fluorescent TL	≈ 40 à 57 %
Le rendement d'un tube fluorescent TL-HF	≈ 64 à 78 %

IV.4 Un rendement supérieur à 100 % signifie que l'énergie utile est supérieure à l'énergie consommée. Ce n'est pas possible.
Dans l'utilisation de pompes à chaleurs, où l'énergie consommée est sous forme électrique et celle utile est sous forme calorifique, on parle de rendement supérieur à 100 %, car on utilise aussi de l'énergie calorifique de l'environnement, sans la compter dans l'énergie consommée.
C'est un cas particulier, où on ne tient pas compte de toutes les énergies consommées, car l'énergie calorifique de l'environnement est gratuite.
Mais elle n'est pas transformable en une autre forme d'énergie.

IV.5 L'énergie consommée = Puissance fois le temps = 3'000 [W] · 10 [s] = 30'000 [J]
La vitesse de la voiture après 10 secondes est de 21,6 / 3,6 = 6,00 [m/s]
L'énergie utile = la variation d'énergie cinétique = $\frac{1}{2} \cdot 1'200\,[\mathrm{kg}] \cdot \left(6\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]\right)^2 - 0\,[\mathrm{J}] = 21'600\,[\mathrm{J}]$
L'énergie non utile = l'énergie fournie - l'énergie utile = 30'000 - 21'600 [J] = 8'400 [J]
Le rendement = $\frac{\text{l'énergie utile}}{\text{l'énergie consommée}} = \frac{21'600}{30'000} = 0,72 = 72\ \%$

V.1 V = 72 [km/h] = 72 / 3,6 = 20 [m/s]
m = Une tonne = 1'000 [kg]
L'énergie cinétique = $\frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 = \frac{1}{2} \cdot 1'000 \cdot 20^2 = 200'000\,[\mathrm{J}]$
Il faut effectuer un travail de 200'000 Joules pour arrêter la voiture.

V.2 Prenons la hauteur de l'eau comme hauteur de référence.
L'énergie potentielle du plongeur égale $m \cdot g \cdot h =$ 75 [kg] · 9,81 [m/s^2] · 10 [m] = 7'358 [J]
Selon la formule de Torricelli, $V_{\text{arrivée}}^2 = V_{\text{départ}}^2 + 2 \cdot g \cdot h = 2 \cdot 9,81\,[\mathrm{m/s^2}] \cdot 10\,[\mathrm{m}] = 196,2\,[\mathrm{m^2/s^2}]$
Donc $V_{\text{arrivée}}$ = 14,0 [m/s].
L'énergie cinétique à l'arrivée = $\frac{1}{2} \cdot m \cdot V_{\text{arrivée}}^2 = \frac{1}{2} \cdot 75\,[\mathrm{kg}] \cdot 196,2\,[\mathrm{m^2/s^2}] = 7'358\,[\mathrm{J}]$

L'énergie mécanique au départ = l'énergie cinétique au départ + l'énergie potentielle au départ = 0 [J] + 7'358 [J] = 7'358 [J]
L'énergie mécanique à l'arrivée = l'énergie cinétique à l'arrivée + l'énergie potentielle à l'arrivée = 7'358 [J] + 0 [J] = 7'358 [J]
Puisque les frottements ont été négligés et qu'il n'y a pas de forces motrices, l'énergie mécanique est conservée !

V.3 Le travail = force fois la distance. Ici, l'angle entre la force et la direction du mouvement est nul.
Le travail = 3'000 [N] · 20 [m] = 60'000 [J]
La route est horizontale donc il n'y a pas de variation d'énergie potentielle.
La variation d'énergie cinétique est donc égale à la variation d'énergie mécanique.
On néglige le frottement, donc aucune force de frottement ne travail.
Donc tout le travail est converti en énergie cinétique. Au départ, la voiture est à l'arrêt, elle possède donc une énergie cinétique nulle.
Conclusion : $\frac{1}{2} \cdot m \cdot V_{\text{arrivée}}^2 = 60'000\,[\mathrm{J}]$.
Donc la vitesse après 20 mètres = $V_{\text{arrivée}} = \sqrt{2 \cdot 60'000\,[\mathrm{J}] / 1'500\,[\mathrm{kg}]} = 8,94\,[\mathrm{m/s}] =$ 32,2 [km/h]