

Livret de cours

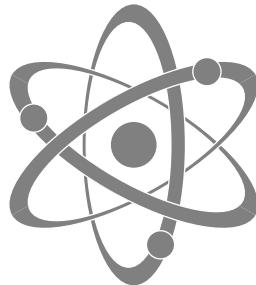
Enseignement Scientifique

Terminale

Partie Physique/Chimie

LYCÉE JEAN D'ALEMBERT - ALLIANCE FRANÇAISE DE VALPARAISO - ANNÉE SCOLAIRE 2026

$$E = P \times \Delta t$$



$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$$

Table des matières

1 Énergie, choix de développement et futur climatique	5
1.1 L'énergie	6
1.2 Les sources d'énergie et sa consommation	8
1.3 Combustion et empreinte carbone	10
1.4 La transition écologique.	12
1.5 Préparation de l'évaluation	13
1.6 Flashcards	15
2 Deux siècles d'énergie électrique	17
2.1 Histoire et énergie	18
2.2 De l'énergie mécanique à l'énergie électrique : l'alternateur	19
2.3 De l'énergie radiative à l'énergie électrique : la cellule photovoltaïque	21
2.4 Préparation de l'évaluation	24
2.5 Flashcards	25
3 Les atouts de l'électricité	27
3.1 La chaîne énergétique	27
3.2 La production d'énergie électrique sans combustion	29
3.3 Rendement	30
3.4 Impacts et stockage de l'énergie électrique	31
3.5 Préparation de l'évaluation	33
3.6 Flashcards	35
4 Optimisation du transport de l'électricité	37
4.1 Réseau électrique et pertes par effet Joule	37
4.2 Modèle du réseau de transport électrique.	39
4.3 Préparation de l'évaluation	42
4.4 Flashcards	43
5 L'intelligence artificielle	45
5.1 L'ordinateur, origine et fonctionnement	45
5.2 L'intelligence artificielle (IA)	49
5.3 Préparation de l'évaluation	53
5.4 Flashcards	55
A Grandeurs physiques, unités et conversions	57
A.1 Unités de base du Système International S.I.	57
A.2 Préfixe des unités	58
B Méthode des 5C : résoudre un problème de PC	61
C Tableau périodique des éléments	63

Préambule

Ce document va vous accompagner pendant votre année de terminale en enseignement scientifique, partie Physique/Chimie. Il est à consulter au cours de l'année.

CHAPITRE 1

Énergie, choix de développement et futur climatique

Plan du cours		Humour de physicien
1.1	L'énergie	6
	Définition ■ Unités d'énergie ■ Énergie et puissance ■	
	Les différentes formes d'énergie ■ Les transferts d'énergie ■	
	Principe de conservation de l'énergie	
1.2	Les sources d'énergie et sa consommation	8
	Ressources d'énergie ■ Consommation d'énergie	
1.3	Combustion et empreinte carbone	10
	Combustion et énergie massique ■ Combustion complète et incomplète ■ Empreinte carbone	
1.4	La transition écologique	12
1.5	Préparation de l'évaluation	13
1.6	Flashcards	15
 ◀ Histoire des sciences		
<p> <i>On se décarbone! (France Inter)</i></p> <p></p>		
 <p>Revue pour « PARIS-CLIMAT 2015 : 20 ANS APRÈS » de la Fondation de l'Ecologie Politique</p>		
		
		

La consommation mondiale d'énergie fait majoritairement appel aux combustibles fossiles, principale cause du réchauffement climatique. Il est donc essentiel d'identifier, pour toute activité, individuelle ou collective, ou tout produit, l'impact sur la production de gaz à effet de serre. L'identification d'autres effets collatéraux, notamment sur la santé, est importante. Les différents scénarios de l'évolution globale du climat dépendent des stratégies que l'humanité mettra en œuvre.

1.1 L'énergie

1.1.1 Définition

Définition 1.1: Énergie

En physique, l'**énergie** est la **capacité** d'un système à **agir** sur un autre système afin de modifier son état : modification de sa vitesse, température, aspect,...

Exemple 1.1

Il faut de l'énergie pour qu'une voiture prenne de la vitesse.

Définition 1.2: Source d'énergie

Une **source d'énergie** est un système qui peut **stocker et transférer** de l'énergie à un autre système.

Exemple 1.2

Le bois, l'uranium, le vent (masse d'air en mouvement), l'eau,... sont des sources d'énergie.

Remarque. \triangle L'électricité n'est pas une source d'énergie, le feu non plus (ce ne sont pas des systèmes).

1.1.2 Unités d'énergie

Définition 1.3: Joule

L'**unité** dans le système international de l'énergie est le **joule** (J).

Exemple 1.3

1 joule est environ l'énergie nécessaire sur Terre pour soulever un objet ayant une masse de 100 g à une hauteur de 1 m.

Remarque. Pour exprimer de grandes quantités d'énergie, on utilise plutôt la **tonne équivalent pétrole** (énergie produite par la combustion d'une tonne de pétrole brut; symbole : TEP) ou le **kilowattheure** (énergie mise en jeu en une heure pour une puissance d'1 KW; symbole : KWh).

Unité	Conversion en joules
kWh	$1 \text{ kWh} = 3,60 \times 10^6 \text{ J}$
TEP	$1 \text{ TEP} = 4,1868 \times 10^{10} \text{ J}$

1.1.3 Énergie et puissance

Définition 1.4: Puissance

La **puissance** correspond donc à l'**énergie consommée ou produite par unité de temps**.

L'énergie E produite ou consommée par un système de puissance moyenne P est liée à sa durée de fonctionnement Δt par la relation :

$$E = P \times \Delta t \quad (1.1)$$

avec E en Joules, P en Watts et Δt en secondes.

Remarque. Si l'unité de la puissance est le kilowatt (kW) et celle de la durée l'heure, alors on définit l'énergie électrique consommée comme étant le kilowatt-heure ($\text{kW} \cdot \text{h}$) : c'est ce que vous facture l'entreprise qui vous fournit l'électricité à la maison.

1.1.4 Les différentes formes d'énergie

Définition 1.5: Formes d'énergie

On peut **stocker** une forme d'énergie particulière dans un « réservoir d'énergie », c'est à dire un objet ou un endroit pour lequel on peut compter cette forme d'énergie. Il existe 4 grands types d'énergie :

- L'énergie **cinétique** (liée à la vitesse d'un objet qui se déplace)
- L'énergie **potentielle élastique** (liée à la déformation d'un objet élastique)
- L'énergie **potentielle de pesanteur** (liée à l'altitude des objets qui peuvent tomber)
- L'énergie **thermique** (liée à la température d'un objet)
- L'énergie **chimique** (liée aux possibilités de modification de la matière)
- L'énergie **nucléaire** (liée aux noyaux à l'intérieur des atomes)

Exemple 1.4

- L'eau d'un barrage hydroélectrique est un réservoir d'énergie potentielle de pesanteur.
- Les molécules du pétrole sont un réservoir d'énergie chimique.
- Le bois d'un arc est un réservoir d'énergie potentielle élastique.

1.1.5 Les transferts d'énergie

Définition 1.6: Les transferts d'énergie

Un **transfert énergétique** se produit quand de l'énergie associée à un objet particulier **diminue** pendant que de l'énergie **augmente** pour un autre objet (on passe d'un « réservoir d'énergie » à un autre « réservoir d'énergie »).

Il existe différents types de transferts énergétiques :

- le transfert **thermique**
- le transfert par **rayonnement**
- le transfert **mécanique**
- le transfert **électrique**

⚠ Un transfert n'est pas un déplacement d'une certaine forme d'énergie, c'est juste un phénomène qui permet la diminution d'un côté pendant l'augmentation de l'autre. L'énergie n'est pas matérielle donc ne se « déplace » pas vraiment.

Remarque. On parle souvent d'énergie électrique ou énergie lumineuse (rayonnement) : c'est un abus de langage car ce sont des transferts énergétiques, puisque qu'on ne peut pas stocker ni l'électricité ni la lumière.

Exemple 1.5

- Le Soleil est un réservoir d'énergie nucléaire, et convertit cette énergie sous forme d'un transfert par rayonnement, qui peut être capté par la peau d'une personne sous forme d'énergie thermique.

1.1.6 Principe de conservation de l'énergie

L'énergie suit une loi fondamentale de la physique : LE PRINCIPE DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE.

Propriété 1.1: Principe de conservation de l'énergie

L'énergie **se conserve** quelles que soient les conversions qu'elle subit, ses transferts et ses formes de stockage.

Remarque. Dans la majorité des situations étudiées, le convertisseur est supposé avoir un fonctionnement idéal : le transfert reçu est totalement converti en un ou plusieurs transferts **utiles**.

Dans la réalité, les convertisseurs ont un **rendement** qui indique la part de transfert utile par rapport au transfert reçu. Comme l'énergie se conserve, il y a donc d'autres transferts qui correspondent à la part qui reste. Ce reste qui n'est pas utilisé par les humains est souvent appelé « **transfert perdu** » ou « **perte** ». La totalité des « transferts reçus » sont convertis en « transferts donnés » qu'ils soient « utiles » ou « perdus ».

1.2 Les sources d'énergie et sa consommation

1.2.1 Ressources d'énergie

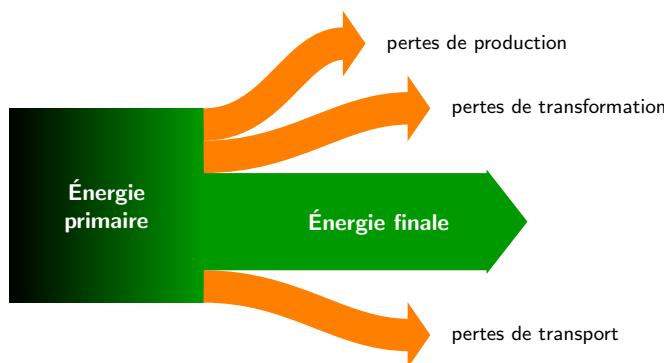


FIGURE 1.1 – Représentation des flux d'énergie et des pertes lors de la conversion d'une énergie primaire. dominent.

L'énergie **finale** est l'énergie consommée par un utilisateur, tandis que l'**énergie primaire** correspond à l'énergie totale nécessaire pour fournir l'énergie finale à l'utilisateur, incluant ainsi les **pertes** d'énergie entre sa production et son utilisation.

Les énergies primaires sont disponibles sous forme de **stocks** et de **flux**. Les stocks sont constitués d'énergies non renouvelables comme les combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon) et l'uranium. Les flux sont des énergies renouvelables comme le flux radiatif solaire, le flux géothermique et la puissance gravitationnelle à l'origine des marées. Il existe donc de très nombreuses ressources d'énergie parmi lesquelles les combustibles fossiles

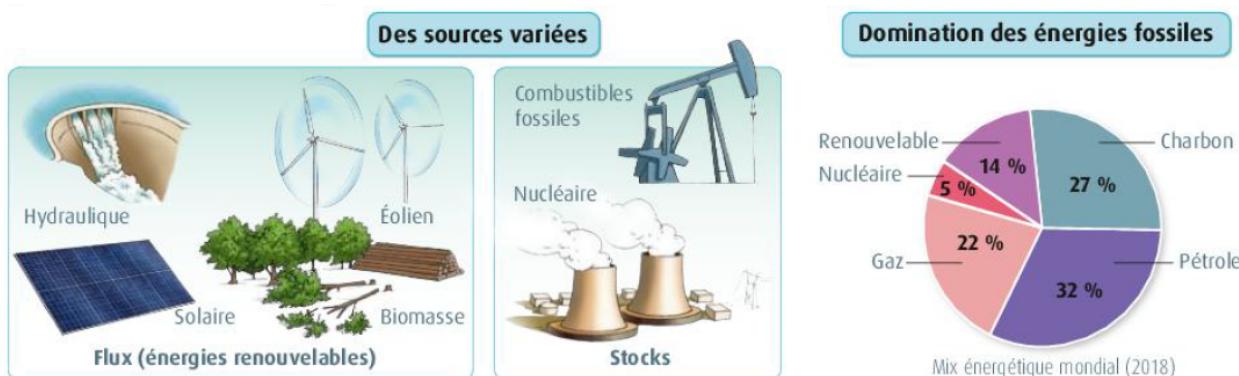


FIGURE 1.2 – Les sources d'énergie

1.2.2 Consommation d'énergie

La consommation d'énergie (tant finale que primaire) a doublé dans les 40 dernières années. Sa croissance est directement liée à notre modèle économique industriel de production et de consommation des sociétés, qui a fortement augmenté. En moyenne mondiale, cette énergie est utilisée à parts comparables par le secteur industriel, les transports, le secteur de l'habitat et, dans une très faible mesure, par le secteur agricole.

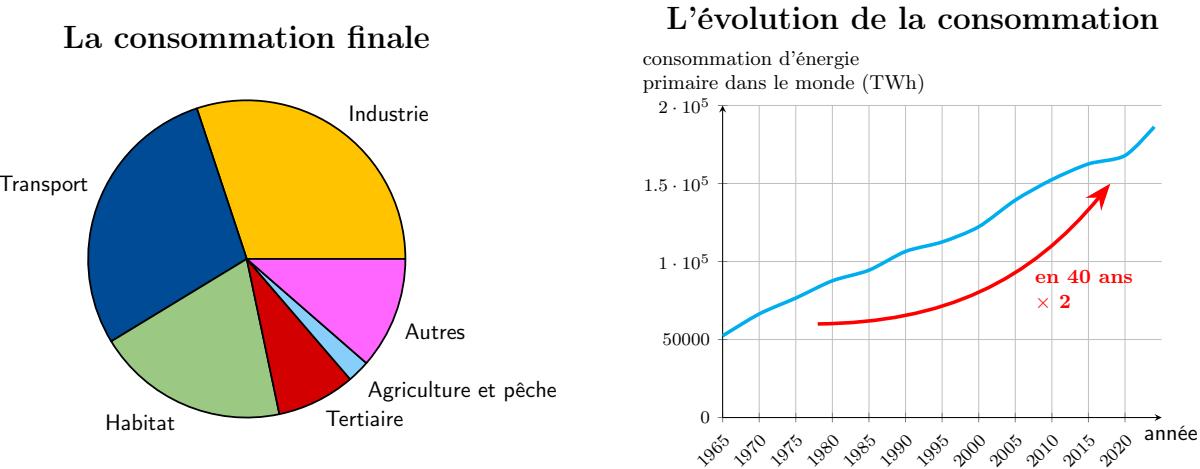


FIGURE 1.3 – Consommation par secteur d'activité et évolution de la consommation

La consommation mondiale moyenne d'énergie primaire est de 1,9 TEP par habitant en 2017. Mais de très grandes inégalités relatives à son accès existent entre les pays et les individus dans le monde.

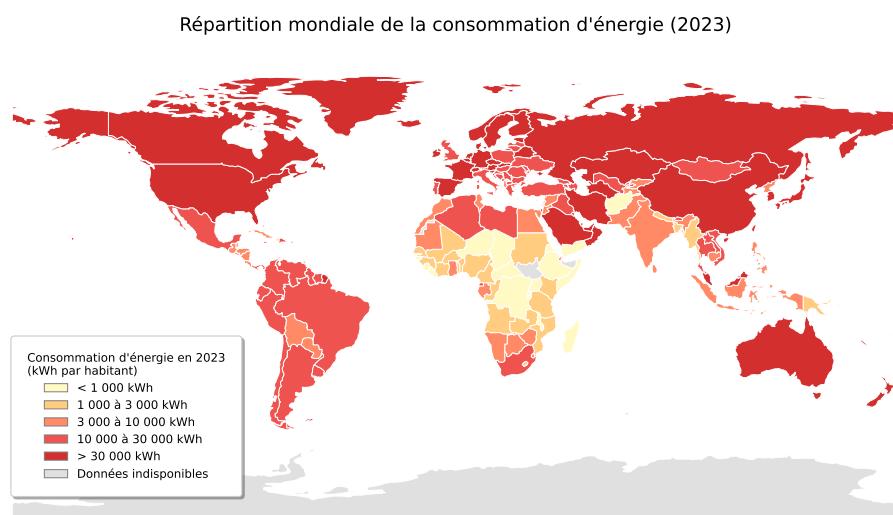


FIGURE 1.4 – Répartition de la consommation de l'énergie dans le monde

1.3 Combustion et empreinte carbone

1.3.1 Combustion et énergie massique

Une **combustion** est une **transformation chimique** dont les réactifs sont le plus souvent un composé carboné ou hydrocarburé (le combustible) et du dioxygène (le comburant).

Une combustion est **exothermique** et par conséquent génère de l'**énergie thermique**. L'**énergie massique** d'un combustible est l'**énergie produite lors de la combustion d'un kilogramme de ce combustible**. Brûler 1 kg d'essence libère 44 millions de joules, soit 3 fois plus que la combustion d'1 kg de bois.

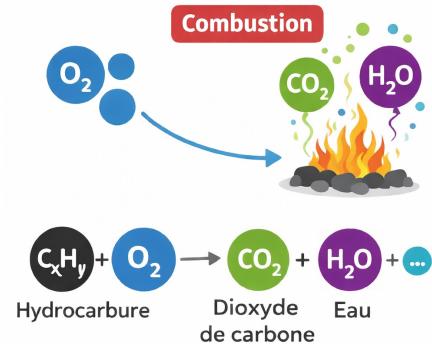


FIGURE 1.5 – Le mécanisme de combustion

Essence	Gazole	Biomasse	Charbon	Fioule domestique
$44 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	$44 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	$15 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	$23 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	$42 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

TABLE 1.1 – Énergie massique de différents combustibles

1.3.2 Combustion complète et incomplète

La combustion complète d'un combustible hydrocarburé produit du **dioxyde de carbone** (GES) et de l'eau. Si la combustion est incomplète ou si le combustible est constitué d'éléments autres que le carbone et l'hydrogène, de nombreux produits comme des aérosols, du monoxyde carbone (CO), des oxydes d'azote (NOx), de l'ozone (O3), des suies, des produits soufrés ou des particules fines sont émis. Cela affecte directement la **qualité de l'air** et la **santé** en provoquant des maladies respiratoires et cardiovasculaires.

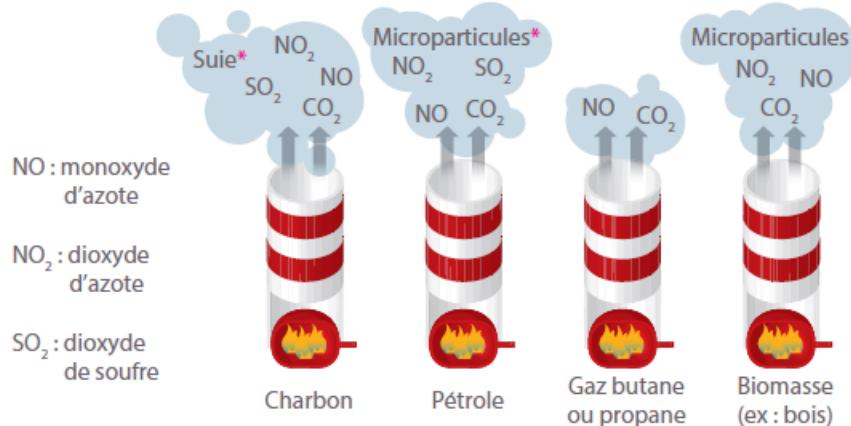


FIGURE 1.6 – Les combustions polluent

Les enfants et les personnes âgées sont particulièrement sensibles aux effets des polluants atmosphériques.

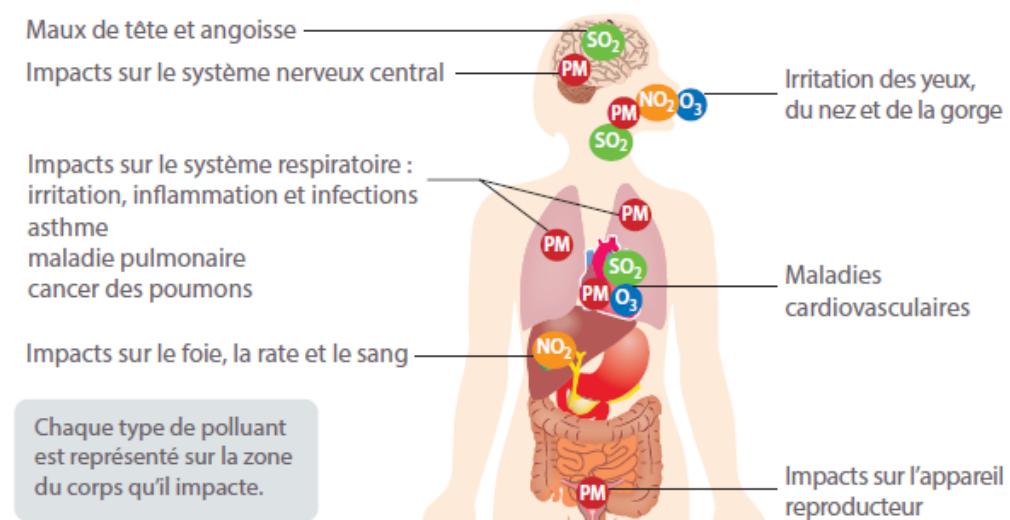
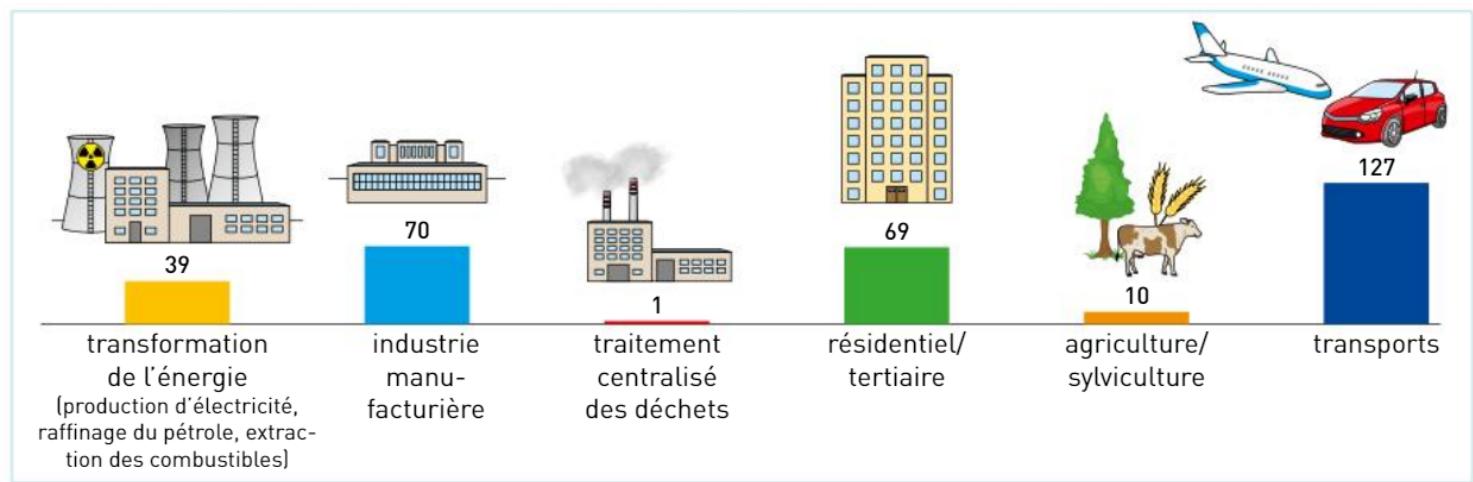


FIGURE 1.7 – Impacts de la pollution sur le corps humain. PM : Particules fines et Micro-particules.

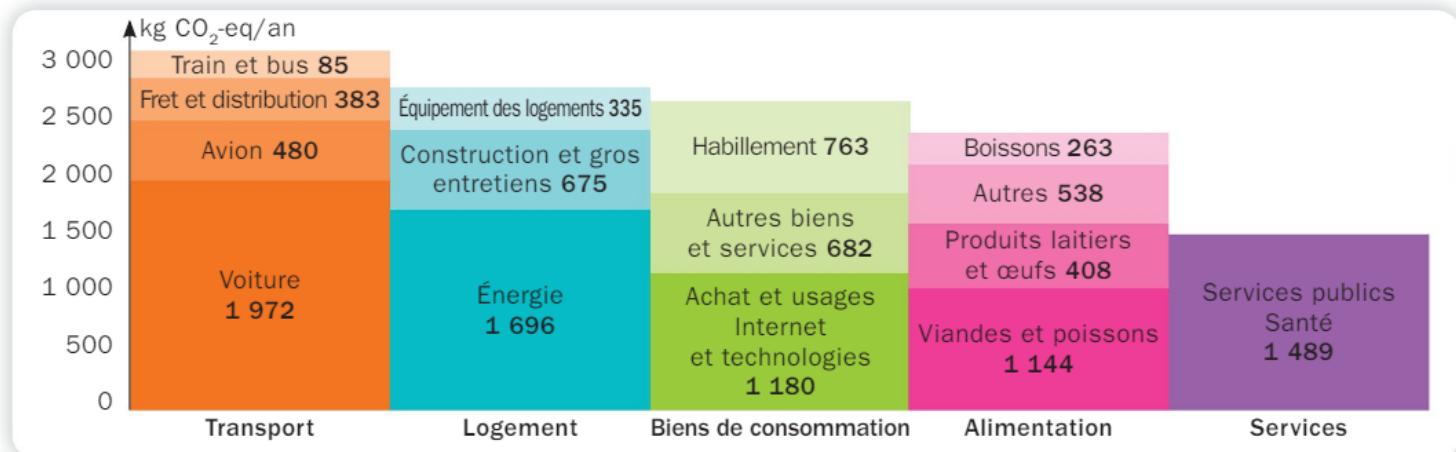
1.3.3 Empreinte carbone

L'**empreinte carbone** d'un produit, d'une activité ou d'une personne est la **masse de dioxyde de carbone produite directement ou indirectement par sa consommation d'énergie et/ou de matières premières**, tout au long de son cycle de vie. Les transports et l'habitat sont des domaines où l'empreinte carbone est importante. Pour la réduire, on peut covoiturer ou se déplacer à pied et isoler son logement.



a Empreinte carbone par secteur d'activité en France : estimations 2018 en millions de tonnes
(Source CITEPA avril 2019 format SECTEN).

FIGURE 1.8 – Empreinte carbone par secteur d'activité



Représentation de l'empreinte carbone d'un Français (en 2015-2016).

FIGURE 1.9 – Empreinte carbone d'un français

L'empreinte carbone moyenne d'un Français en 2016 est de plus de 12 tonnes de CO₂ produites!

1.4 La transition écologique

La transition écologique vise à mettre en place un nouveau modèle économique et social pour répondre aux enjeux écologiques du XXI^{ème} siècle. Elle doit favoriser le passage vers un modèle de production et de consommation qui intègre le changement climatique, la raréfaction des ressources, la diminution de la biodiversité et l'augmentation des risques sanitaires et environnementaux. Le GIEC propose des scénarios qui présentent les évolutions possibles des émissions de GES. Ces scénarios sont établis en fonction de l'empreinte carbone des activités humaines et de l'évolution des comportements et des technologies. Une stratégie d'atténuation est associée à chaque scénario afin de réduire les sources ou d'augmenter les puits de GES. En prévoyant les aléas et les risques affectant les écosystèmes et les populations, les scénarios aident les décideurs à prendre les mesures d'adaptation nécessaires.

Les changements climatiques en 2100

Une hausse minime du réchauffement a des conséquences importantes

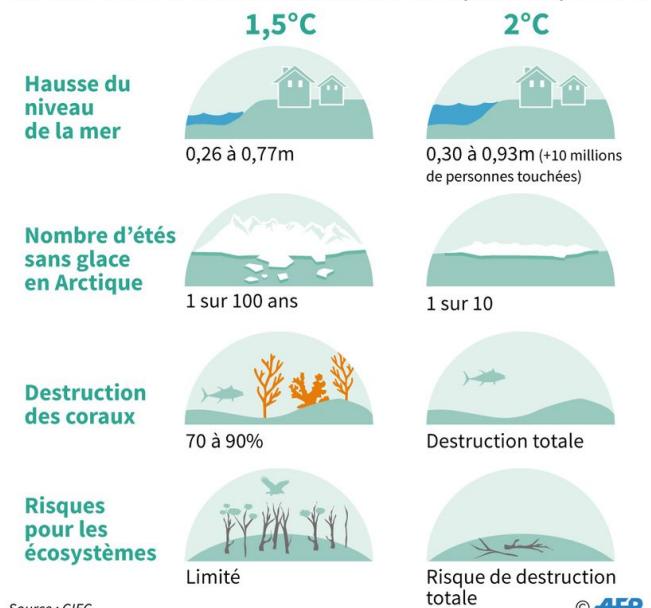


FIGURE 1.10 – Impact du réchauffement climatique

1.5 Préparation de l'évaluation

Je dois savoir :	OK	À revoir
L'énergie utilisée dans le monde provient d'une diversité de ressources parmi lesquelles les combustibles fossiles dominent.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
La consommation en est très inégalement répartie selon la richesse des pays et des individus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
La croissance de la consommation globale (doublement dans les 40 dernières années) est directement liée au modèle industriel de production et de consommation des sociétés.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
En moyenne mondiale, cette énergie est utilisée à parts comparables par le secteur industriel, les transports, le secteur de l'habitat et dans une moindre mesure par le secteur agricole.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les énergies primaires sont disponibles sous forme de stocks (combustibles fossiles, uranium) et de flux (flux radiatif solaire, flux géothermique, puissance gravitationnelle à l'origine des marées).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
La combustion de carburants fossiles et de biomasse libère du dioxyde de carbone et également des aérosols et d'autres substances (N_2O , O_3 , suies, produits soufrés), qui affectent la qualité de l'air respiré et la santé.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
L'empreinte carbone d'une activité ou d'une personne est la masse de CO_2 produite directement ou indirectement par sa consommation d'énergie et/ou de matière première.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les scénarios de transition écologique font différentes hypothèses sur la quantité de GES émise dans le futur. Ils évaluent les changements prévisibles, affectant les écosystèmes et les conditions de vie des êtres humains, principalement les plus fragiles.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les projections fournies par les modèles permettent de définir les aléas et peuvent orienter les prises de décision. Les mesures d'adaptation découlent d'une analyse des risques et des options pour y faire face.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je dois pouvoir :	OK	À revoir
Utiliser les différentes unités d'énergie employées (Tonne Équivalent Pétrole (TEP), kWh...) et les convertir en joules - les facteurs de conversion étant fournis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Exploiter des données de production et d'utilisation d'énergie à différentes échelles (mondiale, nationale, individuelle...).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Comparer quelques ordres de grandeur d'énergie et de puissance : corps humain, objets du quotidien, centrale électrique, flux radiatif solaire...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Calculer la masse de dioxyde de carbone produite par unité d'énergie dégagée pour différents combustibles (l'équation de réaction et l'énergie massique dégagée étant fournies).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
À partir de documents épidémiologiques, identifier et expliquer les conséquences sur la santé de certains polluants atmosphériques, telles les particules fines résultant de combustions.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Comparer sur l'ensemble de leur cycle de vie les impacts d'objets industriels (par exemple, voiture à moteur électrique ou à essence).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
À partir de documents, analyser l'empreinte carbone de différentes activités humaines et proposer des comportements pour la minimiser ou la compenser.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Analyser l'impact de l'augmentation du CO_2 sur le développement de la végétation.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Analyser des extraits de documents du GIEC ou d'accords internationaux proposant différents scénarios.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

FLASHCARD 1 Qu'est-ce que l'énergie ? CHAPITRE 1	FLASHCARD 2 Quelle est l'unité de l'énergie dans le S.I. ? CHAPITRE 1	FLASHCARD 3 Qu'est-ce que la puissance ? CHAPITRE 1	FLASHCARD 4 Quelle est l'unité de la puissance ? CHAPITRE 1
FLASHCARD 5 Quelle est la différence entre un stock et un flux d'énergie ? CHAPITRE 1	FLASHCARD 6 Quelle unité d'énergie est utilisée pour l'électricité domestique ? CHAPITRE 1	FLASHCARD 7 Conversion : 1 kWh = ? CHAPITRE 1	FLASHCARD 8 Quel est le principe de conservation de l'énergie ? CHAPITRE 1
FLASHCARD 9 Qu'est-ce qu'une source d'énergie ? CHAPITRE 1	FLASHCARD 10 Citer des énergies renouvelables CHAPITRE 1	FLASHCARD 11 Citer des énergies non renouvelables CHAPITRE 1	FLASHCARD 12 Qu'est-ce qu'une combustion ? CHAPITRE 1
FLASHCARD 13 Quels gaz sont principalement responsable de l'effet de serre anthropique ? CHAPITRE 1	FLASHCARD 14 Qu'est-ce que l'empreinte carbone ? CHAPITRE 1	FLASHCARD 15 Pourquoi l'énergie est un enjeu climatique ? CHAPITRE 1	FLASHCARD 16 Quel est l'objectif de la transition énergétique ? CHAPITRE 1

Le watt (W).	<p>La quantité d'énergie transférée par unité de temps.</p> $P = \frac{E}{\Delta t} \iff E = P \times \Delta t$	Le joule (J).	<p>Une grandeur physique qui mesure la capacité d'un système à agir sur un autre système afin de modifier son état : modification de sa vitesse, température, aspect,...</p>
<p>L'énergie ne peut être ni créée ni détruite : elle peut seulement être transformée ou transférée d'un système à un autre.</p>	$\begin{aligned} 1 \text{ kW} \cdot \text{h} &= 1 \text{ kW} \times 1 \text{ h} \\ &= 1 \times 10^3 \text{ W} \times 3600 \text{ s} \\ &= 3,6 \times 10^6 \text{ J} \end{aligned}$	Le kilowattheure (kWh).	<p>Les stocks sont constitués d'énergies non renouvelables comme les combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon) et l'uranium. Les flux sont des énergies renouvelables comme le flux radiatif, le flux d'énergie solaire, le flux géothermique et la puissance gravitationnelle à l'origine des marées.</p>
<p>Une transformation chimique entre un combustible et un comburant produisant de l'énergie.</p>	<p>Charbon, pétrole, gaz naturel, uranium.</p>	<p>Solaire, éolienne, hydraulique, biomasse.</p>	<p>Un système qui peut stocker et transférer de l'énergie à un autre système.</p>
<p>Réduire les émissions de gaz à effet de serre en utilisant des énergies moins polluantes.</p>	<p>Parce que sa production émet des gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique.</p>	<p>La quantité totale de CO₂ émise par une activité ou une personne.</p>	<p>Le dioxyde de carbone (CO₂, longue durée de vie dans l'atmosphère) et le méthane (CH₄, durée de vie plus courte).</p>

CHAPITRE 2

Deux siècles d'énergie électrique

☰ Plan du cours	☺ Humour de physicien
<p>2.1 Histoire et énergie 18 L'électricité dans l'histoire de l'énergie ■ Une (brève) histoire de l'électricité</p> <p>2.2 De l'énergie mécanique à l'énergie électrique : l'alternateur . . 19 Principe d'induction ■ Alternateur ■ Rendement</p> <p>2.3 De l'énergie radiative à l'énergie électrique : la cellule photovoltaïque. 21 Description quantique de l'atome ■ Le capteur photovoltaïque, un convertisseur d'énergie radiative ■ Rendement</p> <p>2.4 Préparation de l'évaluation 24</p> <p>2.5 Flashcards 25</p>	<p>DON'T BE FOOLED! SOLAR POWER IS NOT RENEWABLE ENERGY.</p> <p>THE SUN WILL DIE IN 4.5 BILLION YEARS.</p> <p><small>imgflip.com</small></p>
◀ Histoire des sciences	
<p>🎧 <i>Les enjeux de l'énergie solaire photovoltaïque (France Culture)</i></p> 	

L'électricité est omniprésente dans nos usages, que ce soit pour écouter la radio, s'éclairer, se déplacer, calculer...

Or, cette électricité doit être générée et injectée dans le réseau avant son utilisation. Dans ce chapitre, nous verrons succinctement les découvertes importantes dans le domaine de l'électricité, puis nous nous focaliserons sur deux moyens de la produire : l'alternateur (le plus important), qui convertit un transfert d'énergie mécanique en transfert d'énergie électrique et les cellules photovoltaïques qui convertissent un transfert par rayonnement en transfert d'énergie électrique.

2.1 Histoire et énergie

2.1.1 L'électricité dans l'histoire de l'énergie

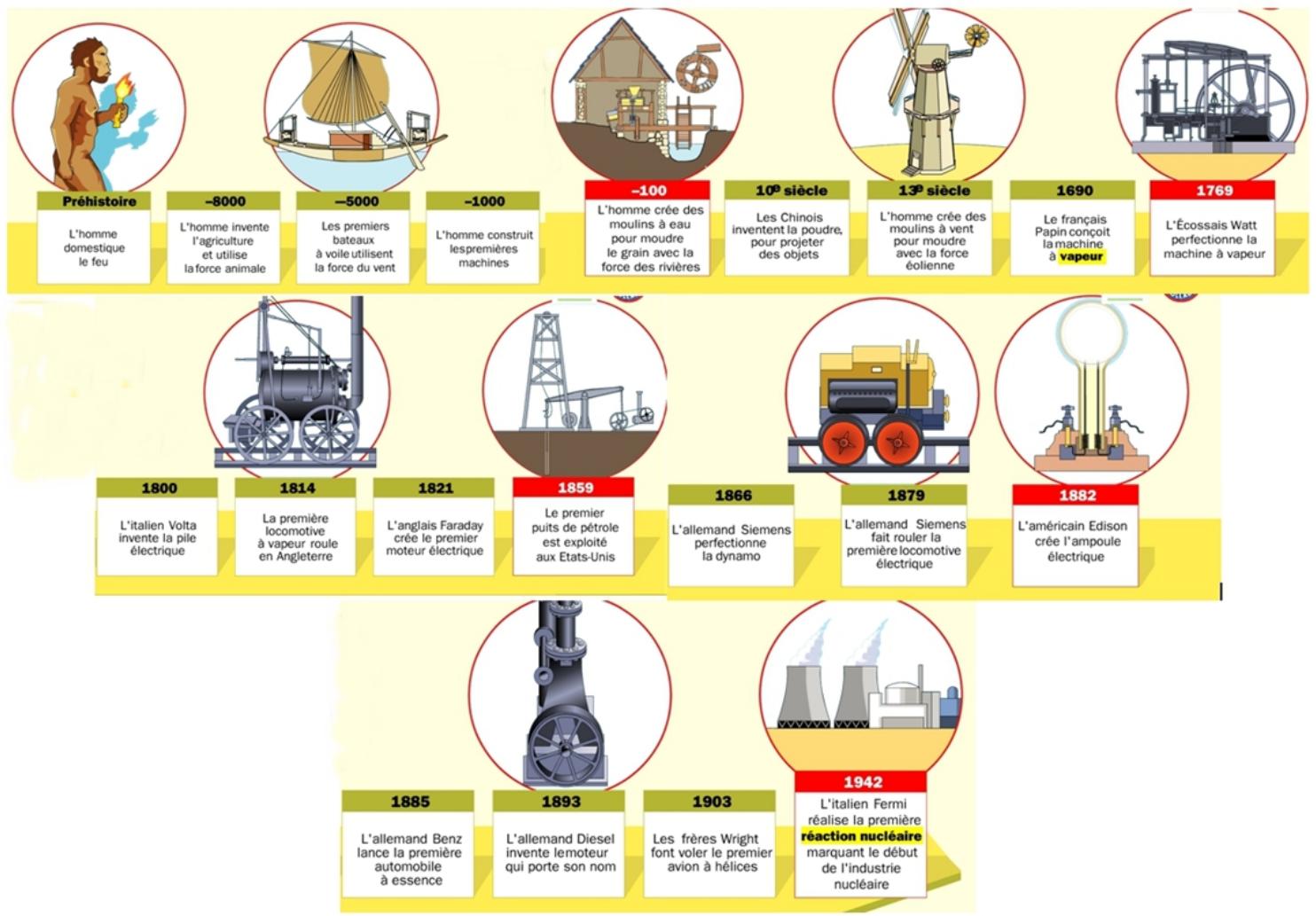


FIGURE 2.1 – Histoire de l'énergie. Source : CEA

2.1.2 Une (brève) histoire de l'électricité

- Thalès : philosophe grec découvre que l'ambre attire la paille par un fluide.
- Franklin : inventeur américain donne une explication sur la foudre qui est une décharge électrique et invente le paratonnerre.
- Galvani : physicien italien croit connaître le secret de l'électricité en supposant qu'elle provient des animaux en observant le mouvement des cuisses d'une grenouille attachées à des barreaux de fer.
- Volta : physicien italien démontre que Galvani s'était trompé en créant la première pile.
- Ampère : physicien français, donna les premières lois de l'électromagnétisme et découvrit le solénoïde (bobine), le télégraphe et l'électroaimant avec le concours de François Arago.
- Faraday : physicien britannique, découvrit qu'on pouvait produire de l'électricité à partir d'un aimant et d'une bobine en faisant des allers-retours.
- Edison : scientifique industriel américain. Fondateur de la General Electric, l'une des premières puissances industrielles mondiales, il fut un inventeur prolifique et fut également l'un des principaux inven-

teurs du cinéma.

- Tesla : inventeur et ingénieur américain d'origine serbe. Il est notamment connu pour son rôle prépondérant dans le développement et l'adoption du courant alternatif pour le transport et la distribution de l'électricité.



FIGURE 2.2 – Principales découvertes en électricité

2.2 De l'énergie mécanique à l'énergie électrique : l'alternateur

2.2.1 Principe d'induction

L'énergie électrique est la forme d'énergie la plus utilisée dans les objets du quotidien. Elle est obtenue par conversion d'énergie dans les centrales électriques. En 1831, Michael Faraday met en évidence le phénomène d'induction électromagnétique : lorsqu'une source de champ magnétique (un aimant par exemple) est mise en mouvement à proximité d'un matériau conducteur, ou lorsqu'un matériau conducteur est mis en mouvement à proximité d'une source de champ magnétique, une tension apparaît aux bornes du conducteur et un courant électrique le traverse. On dit qu'il sont induits. Le physicien et mathématicien, James Clerk Maxwell, formule plusieurs années plus tard les lois mathématiques modélisant ce phénomène.

Propriété 2.1: Principe d'induction

Lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ magnétique, ou qu'un conducteur est placé dans un champ magnétique variable, il peut apparaître une tension à ses bornes (ou un courant s'il s'agit d'un circuit fermé).

2.2.2 Alternateur

Définition 2.1: Alternateur

Un alternateur est un convertisseur de transfert d'énergie mécanique en transfert d'énergie électrique et thermique. L'alternateur est composé :

1. d'une partie mobile, le **rotor**. Le plus souvent, il porte la source de champ magnétique (aimant ou électroaimant) ;
2. d'une partie fixe, le **stator**. Le plus souvent, il porte une bobine (enroulements de câbles de cuivre) dans lesquels apparaissent les tensions et les courants électriques induits par le rotor ;
3. d'un système d'entraînement qui met le rotor en mouvement.

Remarque. Ce dispositif produit un **courant alternatif**.

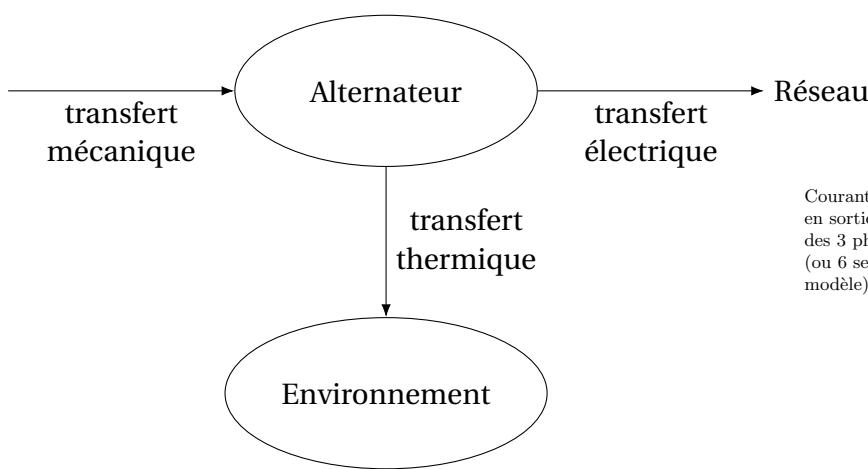


FIGURE 2.3 – Chaîne de conversion énergétique d'un alternateur : il permet de convertir un transfert d'énergie mécanique en transfert d'énergie électrique.

Dans la plupart des centrales, la partie mobile est entraînée par une turbine afin de produire de l'énergie électrique. La quantité d'énergie produite dépend alors :

- de la vitesse de rotation ;
- du nombre de spires (tours de la bobine de fil de cuivre) ;
- de l'intensité du champ magnétique (aimants plus ou moins puissants) ;

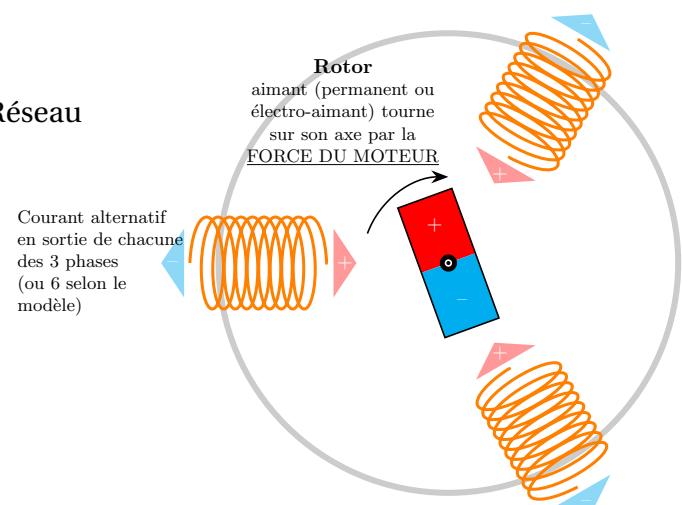


FIGURE 2.4 – L'alternateur est constitué d'un rotor au centre et en mouvement ainsi que d'un stator, ensemble de bobines.

2.2.3 Rendement

La conversion au sein de l'alternateur ne se fait pas sans pertes énergétiques dû notamment aux frottements des pièces mécanique et à l'effet Joule dans les fils électriques (échauffement des fils). On définit alors le rendement de l'alternateur comme étant le rapport entre l'énergie utile (électricité) sur l'énergie fournie (transfert mécanique).

Définition 2.2: Rendement d'un alternateur

Le rendement de cette conversion est donnée par la relation :

$$\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{fournie}}} = \frac{E_{\text{électrique}}}{E_{\text{mécanique}}} \quad (2.1)$$

Remarque. Un rendement de 100% signifie que l'alternateur convertit toute l'énergie mécanique reçue en énergie électrique. Cela est impossible en pratique.

Exemple 2.1

Le rendement des alternateurs utilisés dans les centrales électriques est en moyenne de 0,95, ce qui signifie que 95% de l'énergie mécanique est convertie en énergie électrique.

Exemple 2.2

L'énergie éolienne joue et jouera un rôle important dans la transition énergétique de sources d'énergie fossile à des sources d'énergie renouvelable. On peut calculer le rendement d'une éolienne à partir de la puissance du vent incident (fonction de la vitesse du vent).

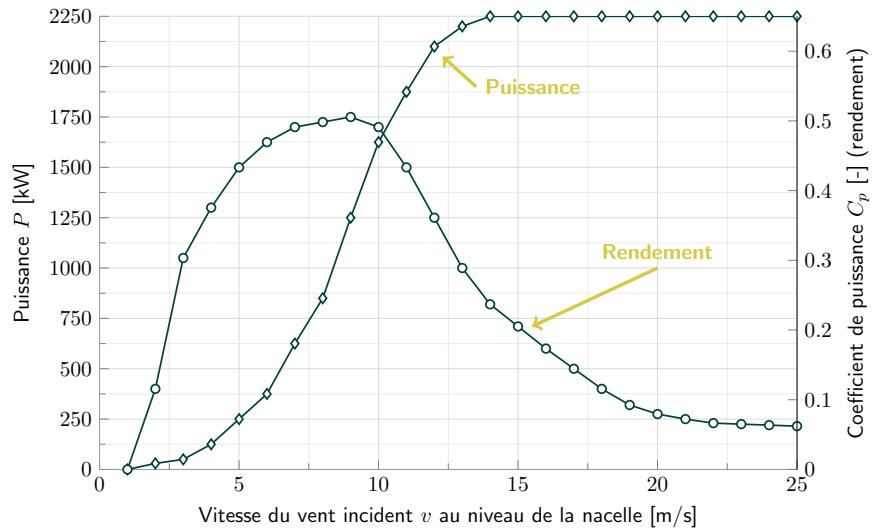


FIGURE 2.5 – Rendement typique d'une éolienne en fonction de la vitesse du vent incident.

2.3 De l'énergie radiative à l'énergie électrique : la cellule photovoltaïque

2.3.1 Description quantique de l'atome

Au début du 20^{ème} siècle, la physique quantique a connu une révolution conceptuelle à travers la notion de comportement probabiliste de la Nature. Cela a permis, notamment, d'expliquer la structure des raies d'émission des atomes.

Un atome ne peut exister que dans des états d'énergie quantifiés et discontinus. Chaque raie d'émission correspond au passage de l'atome d'un état d'énergie à un état d'énergie inférieur. On dit que l'énergie est quantifiée. Parmi toutes les transitions possibles, seules certaines sont autorisées par les lois de la physique quantique et leur intensité lumineuse dépend de la probabilité de la transition.

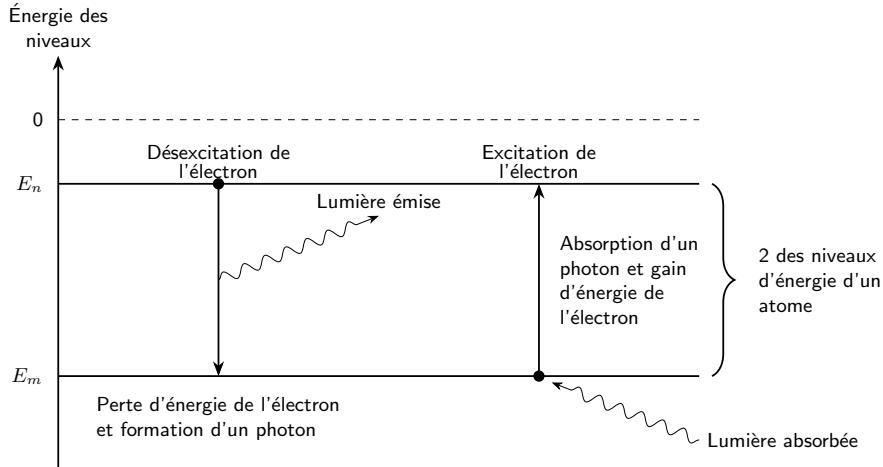


FIGURE 2.6 – Niveaux d'énergie d'un atome.

Propriété 2.2: Énergie d'un photon

Chaque photon possède une énergie (en Joule) proportionnelle à la fréquence de l'onde électromagnétique considérée : c'est le quantum d'énergie. On relie quantum d'énergie et fréquence par la formule

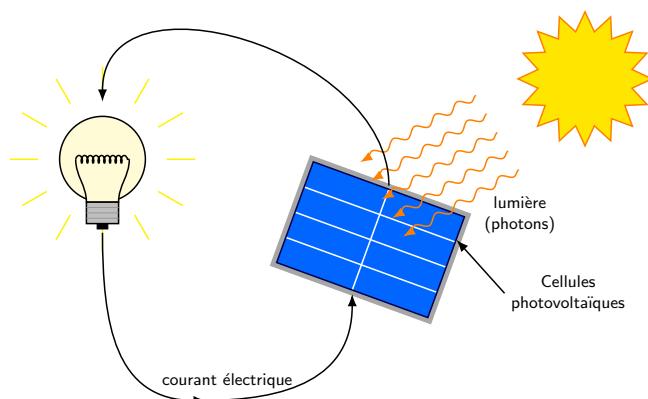
$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.2)$$

avec

- E l'énergie du photon en J;
- h la constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$;
- ν la fréquence de l'onde électromagnétique en Hz;
- c la vitesse de la lumière en m/s;
- λ la longueur d'onde de l'onde électromagnétique en m.

2.3.2 Le capteur photovoltaïque, un convertisseur d'énergie radiative

Le modèle quantique de l'atome a été un outil indispensable au développement de l'électronique, en particulier des semi-conducteurs. Les matériaux semi-conducteurs, comme le silicium, sont utilisés dans les capteurs photovoltaïques. Ces capteurs absorbent l'énergie radiative et la convertissent en partie en énergie électrique.



L'action des photons, ces paquets d'énergie, peut avoir un impact sur les électrons de valence des atomes. Ces derniers peuvent voir leur niveau d'énergie changer. Ce postulat a permis d'expliquer les comportements conducteur, semi-conducteur ou isolant de certains matériaux. On distingue trois cas :

- les **matériaux isolants** : l'écart entre la bande de valence et la bande de conduction est très grand. Le courant électrique ne peut donc s'établir.
- les **matériaux conducteurs** : les électrons de valence peuvent passer librement vers des niveaux d'énergie plus élevés (appelés bande de conduction). Un courant électrique s'établit.
- les **matériaux semi-conducteurs** : l'écart entre la bande de valence et la bande de conduction est suffisamment faible. Le courant électrique peut donc s'établir si l'énergie apportée à l'électron est suffisante.

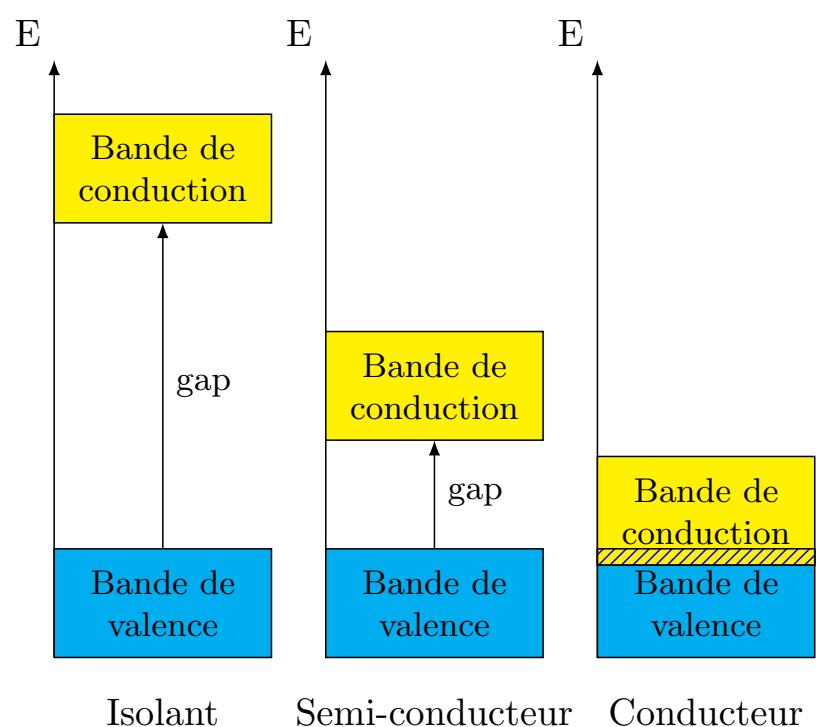


FIGURE 2.7 – Bandes de valence et de conduction pour les matériaux conducteurs, semi-conducteurs et isolants.

Exemple 2.3

Le silicium est le matériau semi-conducteur le plus utilisé commercialement, du fait de ses bonnes propriétés, et de son abondance naturelle même s'il existe également des dizaines d'autres semi-conducteurs utilisés, comme le germanium (Ge) ou l'arséniure de gallium (GaAs). Voici quelques valeurs de gap, c'est-à-dire d'énergie à fournir pour pouvoir faire passer un électron de la bande de valence à la bande de conduction : 1,12 eV pour le silicium, 0,66 eV pour le germanium, 1,42 eV pour l'arséniure de gallium.

2.3.3 Rendement

Définition 2.3: Rendement d'une cellule photovoltaïque

Le rendement de la conversion entre l'énergie radiative et l'énergie électrique est donnée par la relation :

$$\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{fournie}}} = \frac{E_{\text{électrique}}}{E_{\text{rayonnement}}} \quad (2.3)$$

où E_e est l'énergie électrique (en J) et E_r est l'énergie radiative (en J).

Exemple 2.4

En 2020, le rendement d'une cellule photovoltaïque varie typiquement de 6 à 7% pour une cellule en silicium amorphe commerciale à plus de 47% au laboratoire pour une cellule multi-jonction à concentration.

2.4 Préparation de l'évaluation

Je dois savoir :	OK	À revoir
Les alternateurs électriques exploitent le phénomène d'induction électromagnétique découvert par Faraday puis théorisé par Maxwell au XIXe siècle. Ils réalisent une conversion d'énergie mécanique en énergie électrique avec un rendement potentiellement très proche de 1.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Au début du XXe siècle, la physique a connu une révolution conceptuelle à travers la vision quantique qui introduit un comportement probabiliste de la nature. Le caractère discret des spectres de raies d'émission des atomes s'explique de cette façon.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
L'exploitation technologique des matériaux semi-conducteurs, en particulier du silicium, en est également une conséquence. Ces matériaux sont utilisés en électronique et sont constitutifs des capteurs photovoltaïques. Ceux-ci absorbent l'énergie radiative et la convertissent en énergie électrique.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je dois pouvoir :	OK	À revoir
Reconnaître les éléments principaux d'un alternateur (source de champ magnétique et fil conducteur mobile) dans un schéma fourni.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Analyser les propriétés d'un alternateur modèle étudié expérimentalement en classe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Définir le rendement d'un alternateur et citer un phénomène susceptible de l'influencer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Interpréter et exploiter un spectre d'émission atomique.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Comparer le spectre d'absorption d'un matériau semi-conducteur et le spectre solaire pour décider si ce matériau est susceptible d'être utilisé pour fabriquer un capteur photovoltaïque.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tracer la caractéristique $I(U)$ d'une cellule photovoltaïque et exploiter cette représentation pour déterminer la résistance d'utilisation maximisant la puissance électrique délivrée.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

FLASHCARD 1 Qu'est-ce que l'induction électromagnétique ? CAPHITRE 2	FLASHCARD 2 Quel physicien a mis en évidence l'induction électromagnétique ? CAPHITRE 2	FLASHCARD 3 Quel est le rôle d'un alternateur ? CAPHITRE 2	FLASHCARD 4 Quels sont les deux éléments principaux d'un alternateur ? CAPHITRE 2
FLASHCARD 5 Quel type de courant fournit un alternateur ? CAPHITRE 2	FLASHCARD 6 De quoi dépend l'énergie produite par un alternateur ? CAPHITRE 2	FLASHCARD 7 Qu'est-ce que le rendement d'un alternateur ? CAPHITRE 2	FLASHCARD 8 Pourquoi le rendement est-il toujours inférieur à 1 ? CAPHITRE 2
FLASHCARD 9 Quelle est la relation du rendement énergétique ? CAPHITRE 2	FLASHCARD 10 Qu'est-ce qu'un photon ? CAPHITRE 2	FLASHCARD 11 La relation entre énergie et longueur d'onde d'un photon est $E = \frac{hc}{\lambda}$. Que représente chaque terme ? Quelle sont les unités employées ? CAPHITRE 2	FLASHCARD 12 Qu'est-ce qu'un semi-conducteur ? CAPHITRE 2
FLASHCARD 13 Quel matériau est le plus utilisé en photovoltaïque ? CAPHITRE 2	FLASHCARD 14 Quel est le rôle d'une cellule photovoltaïque ? CAPHITRE 2	FLASHCARD 15 Que représente le gap d'un semi-conducteur ? CAPHITRE 2	FLASHCARD 16 Que permet de déterminer la caractéristique $I(U)$ d'une cellule ? CAPHITRE 2

Le rotor (mobile) et le stator (fixe).	Convertir un transfert d'énergie mécanique en transfert d'énergie électrique.	Michael Faraday.	Apparition d'une tension électrique lorsqu'un conducteur est soumis à un champ magnétique variable ou un conducteur est en mouvement dans un champ magnétique.
À cause des pertes par frottement et effet Joule.	Le rapport entre l'énergie électrique produite et l'énergie mécanique reçue.	De la vitesse de rotation du rotor, de l'intensité du champ magnétique et du nombre de spires des bobines.	Un courant alternatif.
Un matériau qui est isolant mais qui peut devenir conducteur en fonction de l'énergie reçue par rayonnement.	<ul style="list-style-type: none"> — E l'énergie du photon en J ; — h la constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; — ν la fréquence de l'onde électromagnétique en Hz ; — c la vitesse de la lumière en m/s ; — λ la longueur d'onde de l'onde électromagnétique en m. 	Un quantum d'énergie associé à une onde électromagnétique.	$\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{fournie}}}$
La puissance maximale délivrée et la résistance optimale.	L'énergie minimale pour qu'un électron passe de la bande de valence à la bande de conduction, permettant la création d'un courant électrique.	Convertir un transfert d'énergie lumineuse en transfert d'énergie électrique.	Le silicium.

3

CHAPITRE

Les atouts de l'électricité

Plan du cours	Humour de physicien
<p>3.1 La chaîne énergétique 27 Transformation d'énergie et convertisseurs ▪ Formalisme de la chaîne énergétique</p> <p>3.2 La production d'énergie électrique sans combustion 29</p> <p>3.3 Rendement 30 Rendement d'un convertisseur ▪ Rendement global d'une chaîne de conversion énergétique</p> <p>3.4 Impacts et stockage de l'énergie électrique 31 Impacts des méthodes sans combustion ▪ Stockage de l'énergie</p> <p>3.5 Préparation de l'évaluation 33</p> <p>3.6 Flashcards 35</p>	<p>RENEWABLE ENERGY?</p>  <p>I'M A BIG FAN</p>
<p>◀ Histoire des sciences</p>	
<p>⌚ <i>Les éoliennes sont-elles dangereuses pour les oiseaux? (France Inter)</i></p> 	

L'énergie électrique présente de nombreux avantages : une distribution aisée, sûre et à faible impact écologique. Les procédés d'obtention d'énergie électrique sans combustion justifient le rôle central que cette forme d'énergie est amenée à jouer à l'avenir.

3.1 La chaîne énergétique

3.1.1 Transformation d'énergie et convertisseurs

Définition 3.1: Convertisseur

Un **convertisseur** permet le changement de type de transfert : le transfert reçu par le convertisseur est alors différent du transfert donné.

Remarque. Un convertisseur reçoit de l'énergie grâce à un certain transfert et en fournit à l'aide d'un ou de plusieurs autres transferts. **Il ne stocke pas** d'énergie durant cette conversion.

Exemple 3.1

Un panneau photovoltaïque reçoit un transfert par rayonnement alors qu'il en ressort un transfert électrique.

3.1.2 Formalisme de la chaîne énergétique

Comme l'énergie ne se voit pas, en physique on adopte un langage particulier, avec des schémas, qui permet de décrire et d'expliquer les observations du point de vue de l'énergie.

Méthode 3.1: Chaîne énergétique

Modélisation des phénomènes par une chaîne énergétique :

- → Une flèche représente un transfert d'énergie. On écrit le nom du transfert au-dessus ou en-dessous de la flèche.
- [] Un rectangle représente un réservoir d'énergie. On écrit le nom du réservoir au dessus et la forme d'énergie qu'il contient à l'intérieur en dessous.
- ○ Un cercle représente un convertisseur d'énergie. On écrit le nom du convertisseur à l'intérieur du cercle.

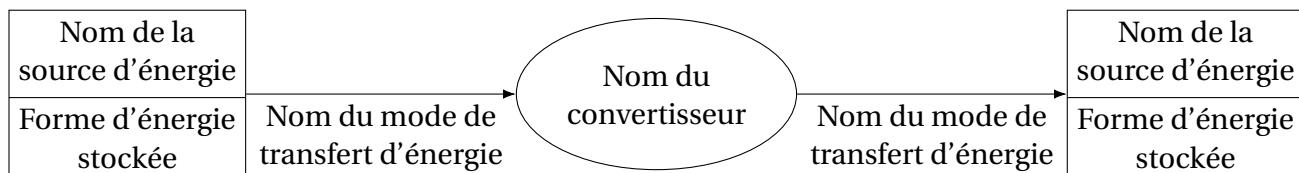


FIGURE 3.1 – Formalisme de la chaîne énergétique

Remarque. Une chaîne énergétique peut comporter plusieurs convertisseurs. Au niveau d'un convertisseur, il peut y avoir plusieurs transferts.

Remarque. L'environnement est souvent le réservoir final dans une chaîne énergétique.

Exemple 3.2

Exemple détaillé de la chaîne de conversion énergétique d'une éolienne.

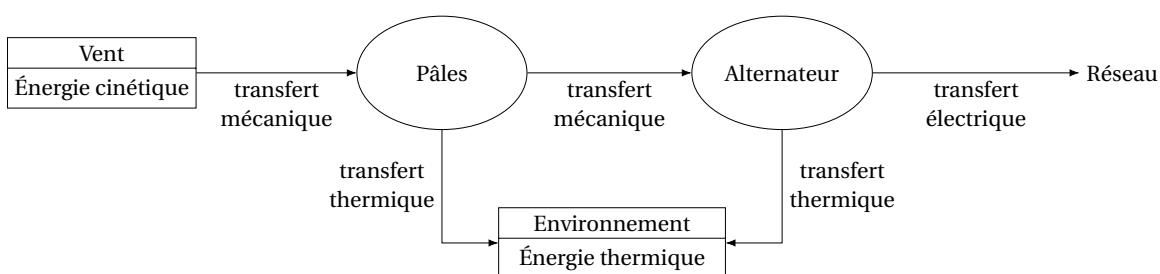


FIGURE 3.2 – Chaîne de conversion énergétique détaillée d'une éolienne

qu'on peut simplifier, si on considère l'éolienne comme un convertisseur en entier :

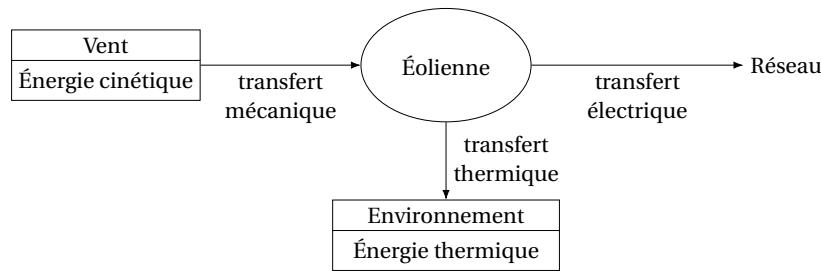


FIGURE 3.3 – Chaîne de conversion énergétique simplifiée d'une éolienne

3.2 La production d'énergie électrique sans combustion

L'électricité est un élément essentiel à toutes activités humaines et sa consommation ne cesse d'augmenter à cause de la croissance démographique et du développement économique. Ainsi, la production mondiale d'électricité croît d'environ 2% par an et devrait doubler d'ici 2040. L'énergie électrique est obtenue à partir de source d'énergie primaire, directement disponible sur Terre, telle que le charbon, le gaz naturel, l'uranium, le Soleil, le vent ou l'eau. En France en 2017, l'électricité est majoritairement produite sans combustion et provient de centrales nucléaires (72%) et hydrauliques (10%). Seuls 10% de l'électricité proviennent encore de centrales thermiques avec combustion.

L'énergie électrique présente de nombreux avantages : la distribution en est aisée, sûre et à faible impact écologique. De nombreux dispositifs à bon rendement permettent de produire de l'énergie électrique ou de convertir de l'énergie électrique en d'autres formes d'énergie. Les dispositifs permettant d'obtenir de l'énergie électrique les plus répandus sur Terre sont basés sur la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz). Ces procédés ont de forts impacts environnementaux : épuisement de ressources fossiles, émissions de gaz à effet de serre, pollutions environnementales.

Le développement de dispositifs d'obtention d'énergie électrique sans combustion connaît un essor très significatif à travers le monde. Plusieurs méthodes permettent d'obtenir de l'énergie électrique sans nécessiter de combustion.

Définition 3.2: Convertisseurs

Il existe trois méthodes pour convertir un transfert d'énergie en transfert d'énergie électrique :

- **Convertisseur électromécanique** : alternateur ;
- **Convertisseur photoélectrique** : panneaux solaires photovoltaïques ;
- **Convertisseur électrochimique** : piles, accumulateurs.

Dans le détail,

- **la conversion d'énergie mécanique** : grâce à un alternateur, l'énergie mécanique est convertie en énergie électrique dans les centrales éoliennes, hydroélectriques, thermiques nucléaires, solaires thermiques et géothermiques ;
- **la conversion de l'énergie radiative** : dans une centrale solaire, les cellules photovoltaïques convertissent l'énergie radiative du Soleil en énergie électrique ;
- **la conversion électrochimique** : les piles et accumulateurs sont le siège de conversions électrochimiques. Des transformations chimiques permettant de convertir l'énergie chimique contenue dans les réactifs en énergie électrique.

3.3 Rendement

3.3.1 Rendement d'un convertisseur

Pour évaluer l'efficacité d'une conversion d'énergie, on définit une grandeur sans dimension appelée rendement du convertisseur.

Définition 3.3: Rendement d'un convertisseur

Le rendement est égal au rapport de l'énergie utile délivrée par le convertisseur sur l'énergie qu'il a reçue à l'entrée :

$$\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{reçue}}} \quad (3.1)$$

avec

- η le rendement (sans unité),
- E_{utile} l'énergie utile en Joules (J),
- $E_{\text{reçue}}$ l'énergie reçue en Joules (J).

Remarque. Le rendement peut également s'écrire comme un rapport de puissance :

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{reçue}}} \quad (3.2)$$

avec

- η le rendement (sans unité),
- P_{utile} la puissance utile en Joules (J),
- $P_{\text{reçue}}$ la puissance reçue en Joules (J).

3.3.2 Rendement global d'une chaîne de conversion énergétique

La conversion de l'énergie électrique en d'autres formes d'énergie n'est pas sans conséquences. Le rendement de ces conversions est peu élevé, ce qui entraîne des pertes d'énergie. Plus il y aura d'étapes de conversion, plus le rendement sera bas.

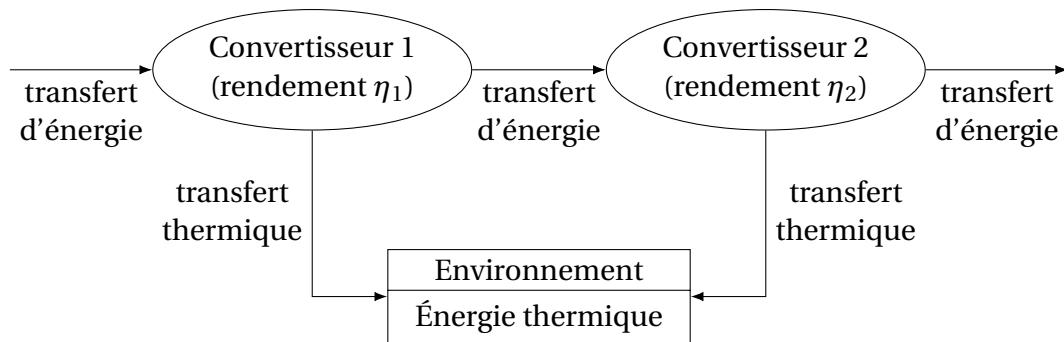


FIGURE 3.4 – Chaîne énergétique composée de plusieurs convertisseurs

Propriété 3.1: Rendement global d'une chaîne de conversion énergétique

Le rendement global η_{tot} d'un système réalisant une succession de conversions énergétiques est égal au produit du rendement de chaque conversion :

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_1 \times \eta_2 \times \dots \quad (3.3)$$

3.4 Impacts et stockage de l'énergie électrique

3.4.1 Impacts des méthodes sans combustion

Propriété 3.2: Émissions de gaz à effet de serre des méthodes sans combustion

Les méthodes de production d'énergie électrique sans combustion ont, par les techniques employées, une empreinte carbone nettement plus réduites que les dispositifs basés sur la combustion de matière carbonées.

Ils ont néanmoins des impacts sur l'environnement et la biodiversité. En effet, la conception et la construction de ces dispositifs consomment :

- de l'énergie issue de sources non renouvelables carbonées;
- des matières premières présentes en faibles quantités sur Terre et dont l'extraction est souvent polluante.

En outre, ces méthodes de production peuvent également présenter des risques spécifiques : pollution chimique, déchets radioactifs, accidents industriels, etc. La production d'électricité est responsable de 42,5% des émissions mondiales de CO₂ qui reste le principal responsable de l'effet de serre.

En plus des quantités de gaz émises lors du fonctionnement des centrales ; il est aussi nécessaire de prendre en compte le cycle de vie complet de différentes installations : fabrication, construction, approvisionnement en carburant, recyclage, etc.

Le tableau ci-dessous présente les masses de CO₂ (en gramme) émises pour un kWh d'énergie électrique produit.

	éolien	solaire	hydrau -lique	nucléaire	charbon	Gaz naturel	fioul
Émission de CO ₂ pendant la durée de production d'énergie électrique (g/kWh)	0	0	0	0	345	272	204
Émission de CO ₂ pendant la durée totale de vie de l'installation (g/kWh)	12,5	55	6	6	1060	730	418

3.4.2 Stockage de l'énergie

Les dispositifs d'obtention d'énergie électrique sans combustion sont basés sur l'exploitation de sources intermittentes en fonction des conditions météorologiques, des variations diurnes et saisonnières de la Terre, ... Les besoins des consommateurs sont également variables tout au long de la journée. Avec l'essor des énergies renouvelables, le besoin de stocker l'énergie électrique est de plus en plus grand, afin de continuer à répondre à la demande qui ne coïncide pas avec la production.

Toutefois, il n'est pas possible d'accumuler directement de l'énergie électrique. Elle doit être convertie en une autre forme d'énergie :

- chimique (accumulateurs au plomb, Li-ion, ...)
- potentielle (pompage-turbinage sur les barrages hydrauliques)
- électromagnétique (super-capacités, ...)

Ces dispositifs présentent des caractéristiques très différentes en termes de capacité de stockage, de durée, de masses mises en jeu et d'impact écologique.

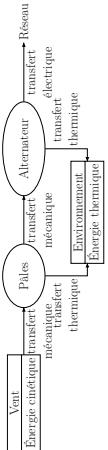
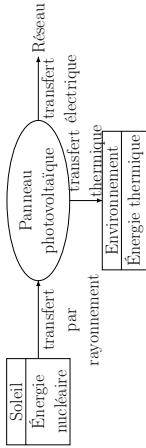
Technologie	Puissance	Densité d'énergie	Rendement	Temps de stockage
STEP (Hydraulique)	Très élevée (GW)	Faible	70 – 85%	Heures à des mois
CAES (Air comprimé)	Très élevée (MW au GW)	Moyenne	40 – 50%	Heures à des mois
Batteries Li-ion	Moyenne (kW-MW)	Élevée	70 – 80%	De la journée à la semaine
Hydrogène	Élevée (kW au MW)	Faible	30 – 50%	Jours à des mois
Volant d'inertie	Élevée (MW)	Élevée	80 – 90%	Quelques minutes
Supercondensateurs	Élevée (kW au MW)	Élevée	90 – 95%	Quelques minutes

TABLE 3.1 – Comparaison des technologies de stockage de l'énergie électrique

3.5 Préparation de l'évaluation

Je dois savoir :	OK	À revoir
Trois méthodes permettent d'obtenir de l'énergie électrique sans nécessiter de combustion : - la conversion d'énergie mécanique, soit directe (dynamos, éoliennes, hydroliennes, barrages hydroélectriques), soit indirecte à partir d'énergie thermique (centrales nucléaires, centrales solaires thermiques, géothermie) ; - la conversion de l'énergie radiative reçue du Soleil (panneaux photovoltaïques) ; - la conversion électrochimique (piles ou accumulateurs conventionnels, piles à hydrogène).	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ces méthodes sans combustion ont néanmoins un impact sur l'environnement et la biodiversité ou présentent des risques spécifiques (pollution chimique, déchets radioactifs, accidents industriels...).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pour faire face à l'intermittence liée à certains modes de production ou à la consommation, l'énergie électrique doit être convertie sous une forme stockable : - énergie chimique (accumulateurs) ; - énergie potentielle (barrages) ; - énergie électromagnétique (super-capacités).	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Je dois pouvoir :	OK	À revoir
Décrire des exemples de chaînes de transformations énergétiques permettant d'obtenir de l'énergie électrique à partir de différentes ressources primaires d'énergie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Calculer le rendement global d'un système de conversion d'énergie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Analyser des documents présentant les conséquences de l'utilisation de ressources géologiques (métaux rares, etc.).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Comparer différents dispositifs de stockage d'énergie selon différents critères (masses mises en jeu, capacité et durée de stockage, impact écologique).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

FLASHCARD 1 Qu'est-ce qu'un convertisseur d'énergie ?	FLASHCARD 2 Que représente une chaîne énergétique ?	FLASHCARD 3 Décrire la chaîne de conversion énergétique d'une éolienne.	FLASHCARD 4 Décrire la chaîne de conversion énergétique d'un panneau photovoltaïque.
CHAPITRE 3	CHAPITRE 3	CHAPITRE 3	CHAPITRE 3
FLASHCARD 5 Quel est l'impact sur l'environnement de la production d'électricité avec combustion ?	FLASHCARD 6 Citer trois moyens de produire de l'électricité sans combustion.	FLASHCARD 7 Quels sont les trois types de convertisseurs électriques ?	FLASHCARD 8 Qu'est-ce que le rendement d'un convertisseur ?
CHAPITRE 3	CHAPITRE 3	CHAPITRE 3	CHAPITRE 3
FLASHCARD 9 Expression du rendement énergétique.	FLASHCARD 10 Pourquoi le rendement est-il inférieur à 1 ?	FLASHCARD 11 Comment calcule-t-on le rendement global d'une chaîne ?	FLASHCARD 12 Quel est l'impact climatique des productions sans combustion ?
CHAPITRE 3	CHAPITRE 3	CHAPITRE 3	CHAPITRE 3
FLASHCARD 13 Lors de la durée d'une exploitation d'énergie renouvelable ou nucléaire, y-a-t-il émission de gaz à effet de serre ?	FLASHCARD 14 Pourquoi faut-il stocker l'énergie électrique ?	FLASHCARD 15 Citer trois formes de stockage de l'énergie.	FLASHCARD 16 Donner des exemples de dispositifs de stockage.
CHAPITRE 3	CHAPITRE 3	CHAPITRE 3	CHAPITRE 3



La succession des transferts et conversions d'énergie d'un système.

Un dispositif qui transforme une forme d'énergie en une autre.

Le rapport entre l'énergie utile et l'énergie reçue.

Électromécanique, photoélectrique, électrochimique.

Éolien, hydraulique, photovoltaïque.

Une production nécessitant de brûler des combustibles fossiles émet des gaz à effet de serre.

Une empreinte carbone plus faible que les énergies fossiles.

En multipliant les rendements de chaque conversion.

À cause des pertes d'énergie (chaleur, frottements, etc.).

$$\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{reçue}}}$$

Batterie, barrage hydraulique, supercondensateur, air comprimé, volant d'inertie...

Chimique, potentielle, électromagnétique.

Parce que production et consommation ne coïncident pas toujours.

Si pendant le fonctionnement il n'y a pas d'émissions de GES, ce n'est pas le cas durant la construction ou le démantèlement des infrastructures.

4

CHAPITRE

Optimisation du transport de l'électricité

☰ Plan du cours	☺ Humour de physicien
<p>4.1 Réseau électrique et pertes par effet Joule 37 De la production électrique à sa consommation ■ Pertes par effet Joule ■ Transformateur</p> <p>4.2 Modèle du réseau de transport électrique 39 Modéliser une ligne à haute tension ■ Modéliser et optimiser un réseau ■ Limitations des pertes et fonction à minimiser</p> <p>4.3 Préparation de l'évaluation 42</p> <p>4.4 Flashcards 43</p>	
◀ Histoire des sciences	
<p>▶ <i>Le transport de l'électricité, un enjeu géopolitique et stratégique</i> (rfi)</p> 	<p>Comment les électrons conduisent l'électricité... mais aussi la chaleur</p> <p></p>

Au cours de son transport, une partie de l'énergie électrique est dissipée par effet Joule et ne parvient pas à l'utilisateur. Minimiser les pertes énergétiques constitue un enjeu majeur : les mathématiques et la physique permettent de répondre à cet enjeu grâce à la modélisation du réseau de distribution électrique.

4.1 Réseau électrique et pertes par effet Joule

4.1.1 De la production électrique à sa consommation

Le transport de l'électricité des sites de production aux sites de consommation passe par un réseau électrique constitué de lignes aériennes, de câbles souterrains et de postes de transformation. La transport à travers le réseau électrique est en revanche une activité régulée, assurée par Réseau Transport d'Électricité (RTE), filiale d'Enedis. Deux niveaux de transport peuvent être distingués :

- Le réseau de grand transport sous très haute tension (THT) de 400 kV de grandes quantités d'énergie sur de longues distances avec un faible niveau de perte. Il permet de relier les pays et les régions entre eux, ainsi que d'alimenter les villes.
- Le réseau de répartition régionale et locale grâce à un ensemble de lignes à haute tension (HT) qui acheminent l'électricité aux industries lourdes et aux grands consommateurs électriques. Leur tension est de

225 kV, 90 kV ou 63 kV.

Le réseau de répartition régionale fait le lien avec le réseau de distribution. Le relais de distribution est assuré par deux types de lignes : le réseau moyenne tension (MT), qui alimente les petites industries, les petites et moyennes entreprises (PME et commerces avec une tension de réseau comprise entre 15 kV et 30 kV, et le réseau basse tension (BT) qui alimente les particuliers et les artisans avec une tension de réseau de 230 V. Enedis est chargée de la gestion de l'aménagement de la quasi-totalité du réseau de distribution d'électricité en France dans une activité régulée.

4.1.2 Pertes par effet Joule

Le réseau de distribution transporte l'énergie électrique dans des câbles où une partie de la puissance transportée est dissipée par effet Joule.

Définition 4.1: Pertes par effet Joule

Les pertes dépendent de la résistance R du câble et de l'intensité du courant qui y circule selon :

$$P = U \times I = R \times I^2 \quad (4.1)$$

avec

- P la puissance des pertes par effet Joule en watts (W) ;
- U la tension aux bornes du câble en volts (V) ;
- I l'intensité du courant électrique circulant dans le câble en ampères (A) ;
- R la résistance du câble en ohms (Ω) .

Remarque. Cette formule se retrouve en utilisant la formule de la puissance d'un dipôle ($P = U \times I$) et la loi d'Ohm ($U = RI$).

Pour calculer l'énergie électrique transportée pendant une durée Δt , on utilise la relation :

$$E = P \times \Delta t = R \times I^2 \times \Delta t \quad (4.2)$$

Pour minimiser ces pertes, l'énergie électrique est transportée à haute tension. À puissance constante, l'élévation de la tension d'alimentation du câble entraîne une diminution de l'intensité du courant électrique, réduisant ainsi la puissance dissipée par effet Joule. Les transformateurs élèvent la tension électrique pour le transport puis l'abaissent pour la rendre utilisable par tout usager.

Propriété 4.1: Diminuer les pertes par effet Joule

À puissance constante, éléver la tension entraîne une diminution de l'intensité et donc de la puissance des pertes par effet Joule.

Remarque. On l'explique aisément d'après la formule précédente $P = RI^2$: pour minimiser les pertes lors du transport de l'électricité dans les câbles, il faut donc diminuer I et à puissance constante, cela revient à augmenter la tension ($I = \frac{P}{U}$).

4.1.3 Transformateur

Définition 4.2: Transformateur

Un **transformateur électrique** (parfois abrégé en « transfo ») est une machine électrique permettant de modifier la tension délivrée par une source d'énergie électrique alternative, une transformation qu'il effectue avec un excellent rendement.

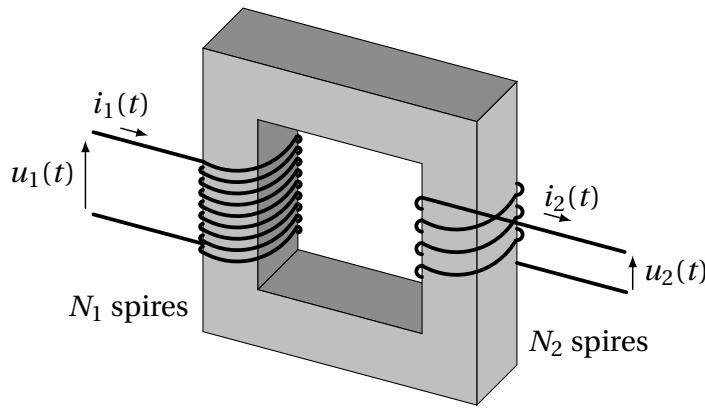


FIGURE 4.1 – Un transformateur est tout simplement composé de deux bobines proches l'une de l'autre. Le courant passant par la première bobine crée un champ magnétique qui à son tour crée un courant dans le deuxième bobine d'après le principe d'induction. *Image d'après Thibault Giauffret*

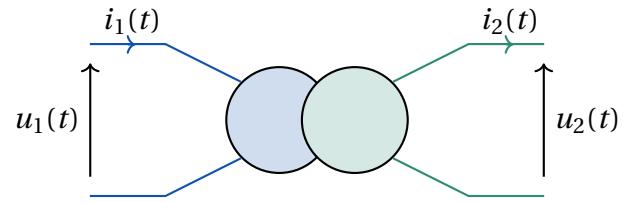


FIGURE 4.2 – Symbole électrique du transformateur. *Image d'après Thibault Giauffret*

4.2 Modèle du réseau de transport électrique

4.2.1 Modéliser une ligne à haute tension

Une ligne à haute tension peut être modélisée expérimentalement par un circuit électrique avec les correspondances suivantes : le transformateur élévateur permet d'obtenir une tension supérieure à celle du générateur (modélisation de la haute tension). Comme l'intensité du courant qui parcourt les résistances est alors plus faible, la puissance dissipée par effet Joule est moindre. Le transformateur abaisseur permet ensuite à l'utilisateur de disposer d'une tension adéquate.

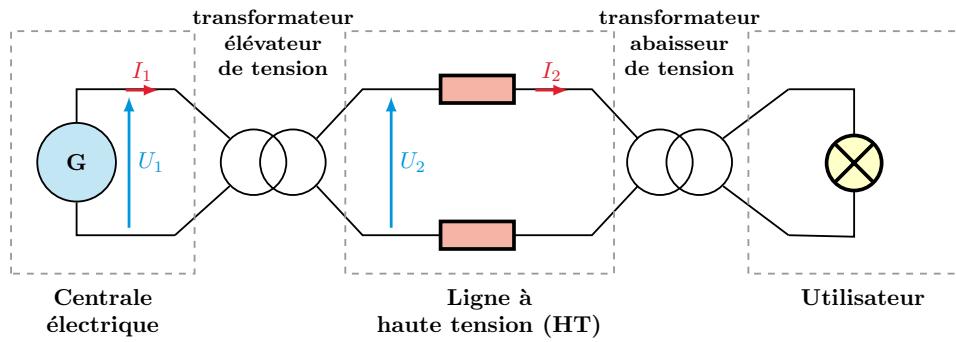


FIGURE 4.3 – Modélisation par un circuit électrique d'une ligne à haute tension.

4.2.2 Modéliser et optimiser un réseau

Un réseau de distribution électrique comporte de nombreuses sources et de nombreux destinataires. Un réseau optimal doit satisfaire à plusieurs contraintes : minimiser les pertes ohmiques, réduire le coût de construction et

assurer aux destinataires la puissance dont ils ont besoin, même en cas d'anomalie sur le réseau. Le réseau électrique schématisé est constitué du réseau de transport, du réseau de répartition et du réseau de distribution. Il peut être modélisé par un graphe orienté. Un graphe orienté est un modèle mathématique, formé de sommets reliés par des arcs. Chaque arc, associé à un couple de sommets, possède un sens de parcours.

Sur le graphe orienté ci-contre modélisant le réseau électrique :

- les sommets représentent les lieux de production (sources distributives S), les transformateurs (nœuds intermédiaires N) et les consommateurs (cibles destinatrices C),
- les arcs représentent les lignes électriques.

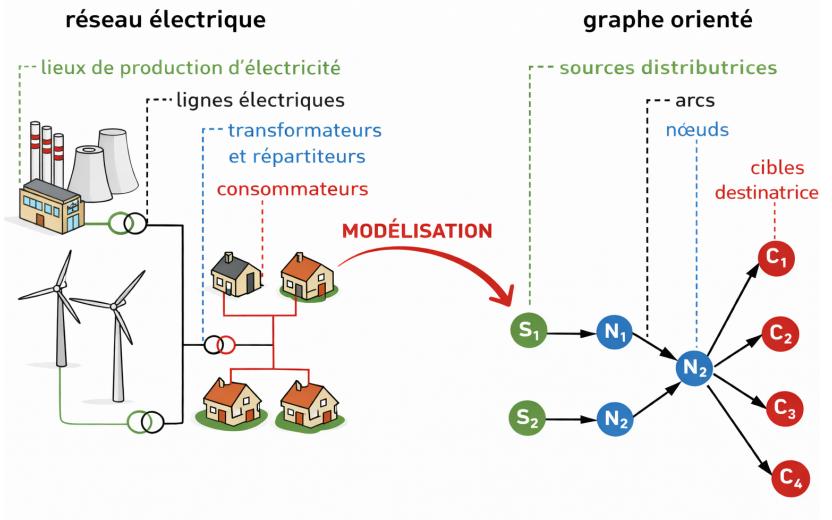


FIGURE 4.4 – Graph orienté d'un réseau électrique (d'après Bordas).

Optimiser l'acheminement de l'énergie électrique signifie minimiser les pertes par effet Joule sur l'ensemble du réseau, en respectant des contraintes naturelles (production des sources, besoin des cibles, conservation de l'intensité au nœud intermédiaire). Dans ce modèle, l'objectif est de minimiser les pertes par effet Joule sur l'ensemble du réseau sous les contraintes suivantes :

- l'intensité totale sortant d'une source est limitée par la puissance maximale distribuée :

$$P_S = U \times I_S \leq P_{S,max} \quad (4.3)$$

- l'intensité totale entrant dans chaque nœud intermédiaire est égale à l'intensité totale qui en sort :

$$I_{S_1} + I_{S_2} + \dots = I_{C_1} + I_{C_2} + \dots \quad (4.4)$$

- l'intensité totale arrivant à chaque cible est imposée par la puissance qui y est utilisée :

$$I_C = \frac{P_C}{U} \quad (4.5)$$

L'étude du graphe orienté permet d'exprimer la fonction objectif, puis de déterminer les valeurs des intensités distribuées par les sources pour lesquelles les pertes sont minimales.

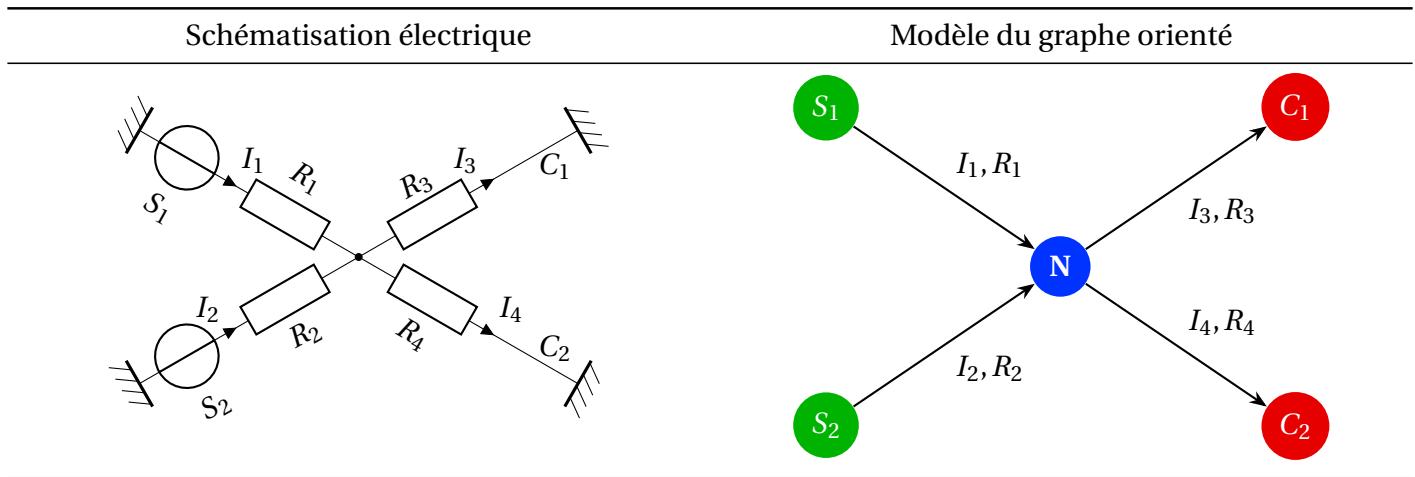
4.2.3 Limitations des pertes et fonction à minimiser

Les pertes par effets Joule sont à minimiser le long des lignes THT et HT de transport électrique. Pour cela, il suffit d'exprimer mathématiquement les contraintes à partir de la représentation en graphe orienté et de définir la fonction à minimiser.

La fonction $f(x)$ à minimiser a pour variable x . Cette dernière correspond en général à la puissance produite par une des sources. Dans le cas d'un graphe orienté avec deux sources, deux cibles et un seul nœud intermédiaire, on peut montrer que la fonction à minimiser est de la forme $f(x) = ax^2$ avec x la puissance produite par l'une des deux sources et $a > 0$ un coefficient dépendant de la résistance de l'arc orienté issu de cette source et la puissance maximale qu'elle produit.

Exemple 4.1

On considère un réseau à comportant deux sources, un nœud et deux cibles :



Au niveau d'un nœud, d'après la loi des nœuds, la somme des intensités électriques qui arrivent est égale à celle des intensités électriques qui repartent :

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 \quad (4.6)$$

L'intensité du courant électrique maximale que peut fournir une source distributive est liée à sa puissance électrique maximale P_{max} :

$$I_1 \leq P_{1,max}/U \quad (4.7)$$

$$I_2 \leq P_{2,max}/U \quad (4.8)$$

avec U la tension au niveau de la source.

Pour minimiser les pertes par effet Joule dans un réseau électrique, il faut chercher à réduire la valeur de la puissance dissipée par effet Joule dans les lignes électriques :

$$P_J = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 \quad (4.9)$$

On fait l'hypothèse que la demande de chaque cible est constante, on a donc

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 = I_{tot} (= constante) \quad (4.10)$$

Or, comme R_3 et R_4 sont constants, on en déduit que

$$R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 = constante = C \quad (4.11)$$

On peut donc écrire que

$$P_J = R_1 I_1^2 + R_2 (I_{tot} - I_1)^2 + C \quad (4.12)$$

La fonction à minimiser est donc bien un polynôme du second degré. En recherchant ce qui annule sa dérivée on peut en déduire son minimum qui correspond à la situation de minimisation des pertes par effet Joule.

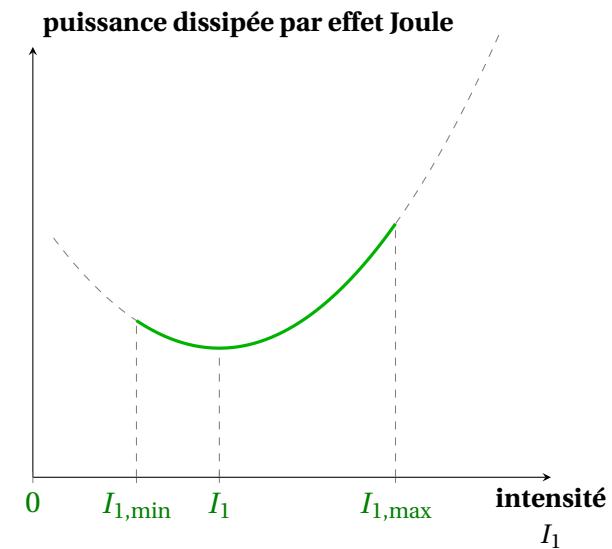
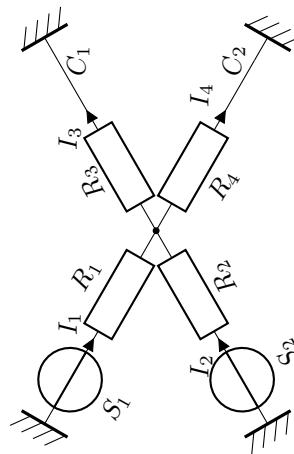


FIGURE 4.5 – Recherche du minimum de la fonction P_J .

4.3 Préparation de l'évaluation

Je dois savoir :	OK	À revoir
Au cours du transport, une partie de l'énergie électrique, dissipée dans l'environnement par effet Joule, ne parvient pas à l'utilisateur.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
L'utilisation de la haute tension dans les lignes électriques limite les pertes par effet Joule, à puissance transportée fixée.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Un réseau de transport électrique peut être modélisé mathématiquement par un graphe orienté dont les arcs représentent les lignes électriques et dont les sommets représentent les sources distributrices, les nœuds intermédiaires et les cibles destinatrices.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dans ce modèle, l'objectif est de minimiser les pertes par effet Joule sur l'ensemble du réseau sous les contraintes suivantes : - l'intensité totale sortant d'une source est limitée par la puissance maximale distribuée ; - l'intensité totale entrant dans chaque nœud intermédiaire est égale à l'intensité totale qui en sort ; - l'intensité totale arrivant à chaque cible est imposée par la puissance qui y est utilisée.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Je dois pouvoir :	OK	À revoir
Faire un schéma d'un circuit électrique modélisant une ligne à haute tension.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Utiliser les formules littérales reliant la puissance à la résistance, l'intensité et la tension pour identifier l'influence de ces grandeurs sur l'effet Joule.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Modéliser un réseau de distribution électrique simple par un graphe orienté. Exprimer mathématiquement les contraintes et la fonction à minimiser.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sur l'exemple d'un réseau comprenant uniquement deux sources, un nœud intermédiaire et deux cibles, formuler le problème de minimisation des pertes par effet Joule et le résoudre pour différentes valeurs numériques correspondant aux productions des sources et aux besoins des cibles.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

FLASHCARD 1 Pourquoi y a-t-il des pertes lors du transport de l'électricité ?	FLASHCARD 2 Qu'est-ce que l'effet Joule ?	FLASHCARD 3 Expression de la puissance perdue par effet Joule.	FLASHCARD 4 De quoi dépendent les pertes par effet Joule ?
CHAPITRE 4	CHAPITRE 4	CHAPITRE 4	CHAPITRE 4
FLASHCARD 5 Pourquoi transporte-t-on l'électricité à haute tension ?	FLASHCARD 6 Quelle relation lie puissance, tension et intensité ?	FLASHCARD 7 Quel est le rôle d'un transformateur ?	FLASHCARD 8 Pourquoi utilise-t-on des transformateurs dans le réseau ?
CHAPITRE 4	CHAPITRE 4	CHAPITRE 4	CHAPITRE 4
FLASHCARD 9 Comment modélise-t-on une ligne à haute tension ?	FLASHCARD 10 Schématiser d'un circuit électrique modélisant un réseau comportant deux générateurs et deux cibles.	FLASHCARD 11 Comment est représenté un réseau électrique ?	FLASHCARD 12 Que représentent les sommets d'un graphe électrique ?
CHAPITRE 4	CHAPITRE 4	CHAPITRE 4	CHAPITRE 4
FLASHCARD 13 Que représentent les arcs du graphe ?	FLASHCARD 14 Quelle loi s'applique à un nœud du réseau ?	FLASHCARD 15 Quel est l'objectif de l'optimisation du réseau ?	FLASHCARD 16 Quelle est la contrainte sur une source électrique ?
CHAPITRE 4	CHAPITRE 4	CHAPITRE 4	CHAPITRE 4

De la résistance du câble et de l'intensité du courant.	$P = RI^2$	La dissipation d'énergie électrique sous forme de chaleur dans un conducteur.	À cause de l'effet Joule dans les câbles électriques.
Pour éléver la tension lors du transport et l'abaisser à l'arrivée.	Modifier la tension du courant alternatif.	$P = U \times I$	Pour diminuer l'intensité et réduire les pertes par effet Joule.
Les sources (générateur), les nœuds intermédiaires (transformateurs) et les cibles (consommateurs).	Par un graphe orienté.		Par une résistance.
Sa puissance maximale disponible.	Minimiser les pertes par effet Joule.	Loi des nœuds: la somme des intensités entrantes est égale à celle des sortantes.	Les lignes électriques reliant les différents éléments.

5

CHAPITRE

L'intelligence artificielle

 Plan du cours	 Humour de physicien
<p>5.1 L'ordinateur, origine et fonctionnement 45 L'histoire de l'ordinateur ■ Fonctionnement de l'ordinateur ■ Les différents types de fichiers</p> <p>5.2 L'intelligence artificielle (IA) 49 Qu'est-ce que l'IA ■ Les mathématiques de l'IA ■ L'éthique de l'intelligence artificielle ■ Résumé</p> <p>5.3 Préparation de l'évaluation 53</p> <p>5.4 Flashcards 55</p>	 <p>J'AI ARRÊTÉ DE CALCULER AVEC L'ARRIVÉE DE LA CALCULLETTE...</p> <p>JE VAIS POUVOIR ARRÊTER DE PENSER AVEC L'ARRIVÉE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE !</p>
 Histoire des sciences	 <p>MOI JE DIS : L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE, C'EST BIEN</p> <p>SAUF QUAND ELLE SE MET AU SERVICE DE LA CONNERIE NATURELLE</p>
 <i>L'Intelligence artificielle : utopie dystopique (France Culture)</i>	



5.1 L'ordinateur, origine et fonctionnement

5.1.1 L'histoire de l'ordinateur

En 1936, Alan Turing propose le concept théorique de machine universelle. En 1945, ses travaux permettent, grâce à des chercheurs comme John von Neumann, de créer les premiers ordinateurs. Ceux-ci sont constitués d'au moins une mémoire et un processeur. L'évolution des ordinateurs les rend aujourd'hui capables d'utiliser des langages de haut niveau* (Scratch, Python ou C++ par exemple). Certains programmes pouvant atteindre des milliers de lignes, la présence d'erreurs, appelées bogues* (ou bugs), est inévitable. Des techniques sont développées pour les déceler et les corriger. Quelques figures historiques de l'informatique (et croyez moi, ça vaut le coup de chercher à en savoir plus sur ces personnages!).

Ada Lovelace (1815-1852)

En 1843, elle publie le premier programme informatique de l'histoire la rendant ainsi la première codiceuse de l'Histoire!

Grace Hopper (1906-1992)

C'est elle qui créa le terme "bug" pour désigner une panne informatique après qu'un insecte ("bug" en anglais) se soit infiltré dans les circuits de la machine sur laquelle elle travaillait.

Alan Turing (1912-1954)

Il a créé le "test de Turing", test permettant de juger la capacité d'une machine à faire preuve d'intelligence humaine.

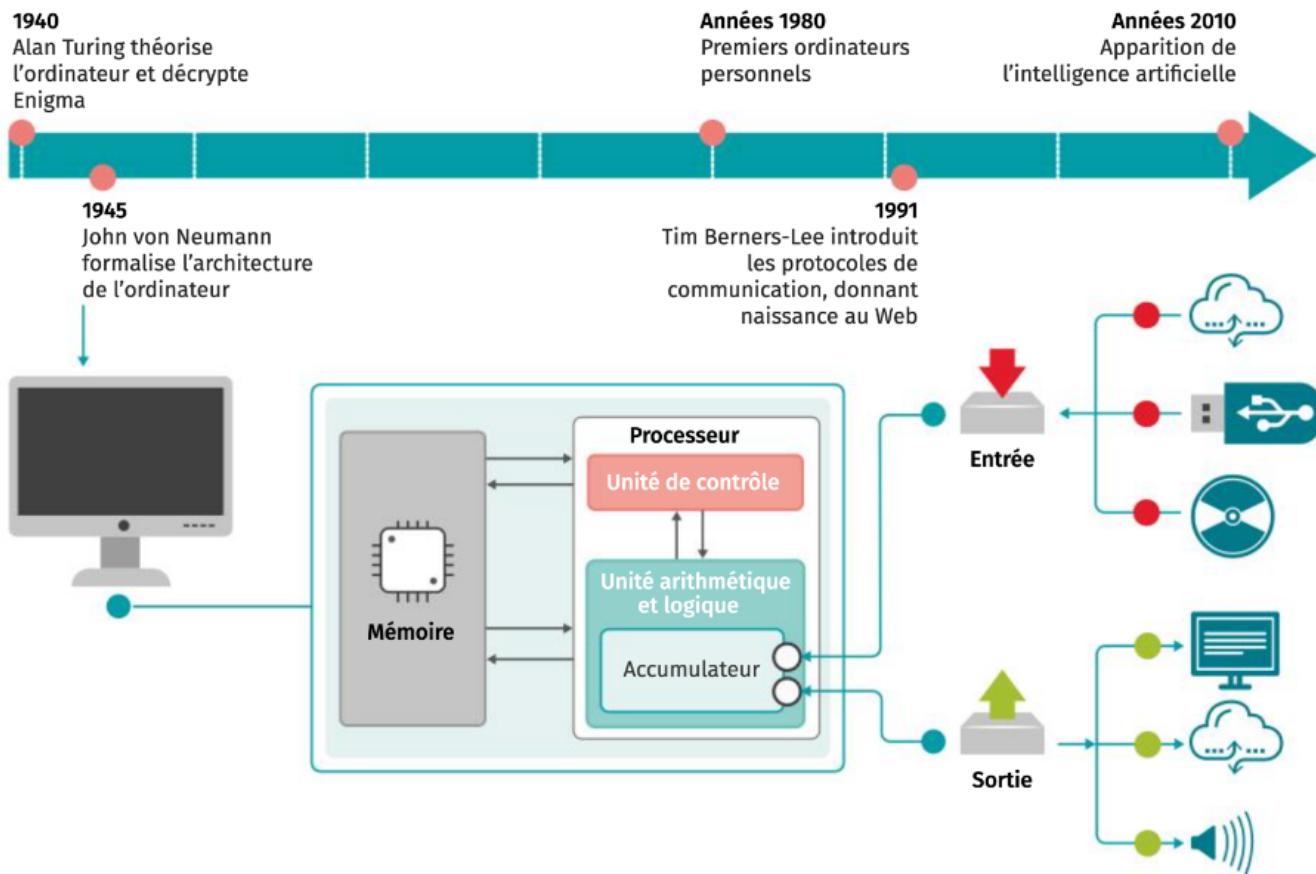


FIGURE 5.1 – D'après *Le Livre Scolaire*

5.1.2 Fonctionnement de l'ordinateur

Voici une liste de vocabulaire à connaître :

- **Langage de haut niveau** : language de programmation orienté autour du problème à résoudre.
- **Bogue (ou bug)** : anomalie de fonctionnement d'un programme
- **Extension d'un fichier** : permet d'identifier le format d'un fichier informatique
- **Algorithme** : liste d'instructions permettant de résoudre un problème
- **Compilateur / Interpréteur** : programme qui traduit le langage de haut niveau (code source) en langage machine (code binaire) compréhensible par le processeur.
- **Système d'exploitation (OS)** : ensemble de programmes qui gère les ressources matérielles (CPU, mémoire) et fournit une interface à l'utilisateur.
- **Code source** : version d'un programme informatique écrit dans un langage compréhensible par un être humain.
- **Bibliothèque (Library)** : ensemble de fonctions pré-écrites que les programmeurs utilisent pour gagner du temps (ex : numpy en Python).
- **Interface Homme-Machine (IHM)** : moyen par lequel un utilisateur communique avec un ordinateur (souris, écran tactile, commande vocale).
- **Compression** : technique consistant à réduire la taille d'un fichier en éliminant les redondances de données (ex : .zip, .mp3, .jpeg).

L'architecture de von Neumann

Le fonctionnement de la quasi-totalité des ordinateurs actuels repose sur le modèle théorique proposé par John von Neumann en 1945. Ce modèle sépare la machine en quatre composants principaux reliés par des **bus** (canaux de communication) :

- **L'unité arithmétique et logique (UAL)** : son rôle est d'effectuer les opérations de base;
- **L'unité de contrôle** : chargée du « séquençage » des opérations.
- **La mémoire** : Stocke les données et les programmes en cours d'exécution. Il y a deux types de mémoire :
 - la mémoire vive (RAM) pour les données nécessaires au programmes en cours de fonctionnement, et qui est volatile (s'efface au cours de l'exécution).
 - la mémoire permanente (stockée dans les disques durs).
- **L'unité d'entrée/sortie** : Permet de communiquer avec l'extérieur (clavier, écran, disque dur).

Le microprocesseur exécute les tâches en suivant un cycle répétitif à très haute fréquence (mesurée en Giga-hertz, *GHz*). Le composant matériel de base est le **transistor**, qui agit comme un interrupteur électronique. En combinant des millions de transistors, on crée des portes logiques complexes capables de réaliser des opérations comme l'addition.

Au niveau physique, l'ordinateur ne manipule que des signaux électriques (présence ou absence de tension), représentés par le système binaire : les chiffres **0** et **1** (bits).

Exemple 5.1

Caractère	Valeur Décimale	Code Binaire (8 bits)
A	65	01000001
B	66	01000010
a	97	01100001
b	98	01100010
@	64	01000000
!	33	00100001
0	48	00110000
(espace)	32	00100000

TABLE 5.1 – Exemples de codage binaire pour quelques caractères standards.

La hiérarchie logicielle

Pour qu'un humain puisse utiliser ces circuits, plusieurs couches logicielles se superposent :

- **Le matériel (Hardware)** : Les circuits physiques.
- **Le Système d'Exploitation (OS)** : (Windows, macOS, Linux) Gère les ressources matérielles et l'interface.
- **Les Applications** : Logiciels spécifiques utilisant les ressources de l'OS.

5.1.3 Les différents types de fichiers

A l'aide d'un ordinateur, on peut traiter des données de nature diverse : texte, image, son, etc. Ces données sont rangées dans des fichiers. A leur nom, on peut ajouter une extension pour caractériser leur contenu. Les fichiers exécutables contiennent des programmes qui peuvent être exécutés par l'ordinateur à leur ouverture.

Le "poids" d'un fichier dépend de la quantité d'informations qu'il contient (nombre de caractères, résolution d'une image, durée d'une vidéo).

Exemple 5.2

Type de fichier	Exemple de contenu	Poids moyen	Unité typique
Texte brut (.txt)	Une page de roman	2 à 4 Ko	Kiloctet (10^3 o)
Document Word (.docx)	Rapport de 10 pages avec logos	200 à 500 Ko	Kiloctet (10^3 o)
Musique (MP3)	Chanson de 3-4 minutes (128 kbps)	3 à 5 Mo	Mégaoctet (10^6 o)
Photo Smartphone	Cliché haute résolution (12 Mpx)	3 à 8 Mo	Mégaoctet (10^6 o)
Vidéo HD (MP4)	1 minute de vidéo (1080p)	80 à 120 Mo	Mégaoctet (10^6 o)
Film complet	Film de 1h30 en qualité Blu-ray	4 à 10 Go	Gigaoctet (10^9 o)
Jeu Vidéo moderne	Jeu "AAA" récent	50 à 150 Go	Gigaoctet (10^9 o)

TABLE 5.2 – Comparatif des tailles de fichiers courants.

Propriété 5.1: Taille des fichiers

Plus un média est **riche en détails** (haute définition) ou long (durée), plus le **nombre de bits nécessaires pour le coder est élevé**.

Remarque. La compression (comme le format MP3 ou JPEG) permet de réduire ce poids en supprimant les informations jugées "inutiles" pour l'œil ou l'oreille humaine.

5.2 L'intelligence artificielle (IA)

5.2.1 Qu'est-ce que l'IA

Selon la CNIL (Commission Nationale Informatique et Libertés), on peut d'éfinir l'IA comme :

Définition 5.1: Intelligence artificielle

L'intelligence artificielle est un **procédé logique et automatisé** reposant généralement sur un **algorithme** et en mesure de **réaliser des tâches bien définies**. Pour le Parlement européen, constitue une intelligence artificielle tout outil utilisé par une machine afin de « reproduire des comportements liés aux humains, tels que le raisonnement, la planification et la créativité ». Plus précisément, la Commission européenne considère que l'IA regroupe :

- les approches d'apprentissage automatique;
- les approches fondées sur la logique et les connaissances;
- les approches statistiques, l'estimation bayésienne, et les méthodes de recherche et d'optimisation.

Exemple 5.3

- systèmes de diagnostic médical;
- filtres antispam dans les courriels;
- traitement du langage naturel (compréhension des mots);
- génération de texte avec ChatGPT ou d'images avec Dall-E.

5.2.2 Les mathématiques de l'IA

Le terme « intelligence artificielle » (IA) recouvre un ensemble de théories et de techniques qui traitent de problèmes dont la résolution fait appel à l'intelligence humaine.

Les algorithmes d'intelligences artificielle sont basés sur des notions de mathématiques telles que les probabilités conditionnelles, l'algèbre linéaire, les études de fonctions, etc.

Les techniques de prédiction et d'anticipation de l'IA fonctionnent grâce à des données d'apprentissage, aussi appelées données d'entraînement. Ces données doivent être judicieusement choisies, toute erreur se répercutant dans les résultats.

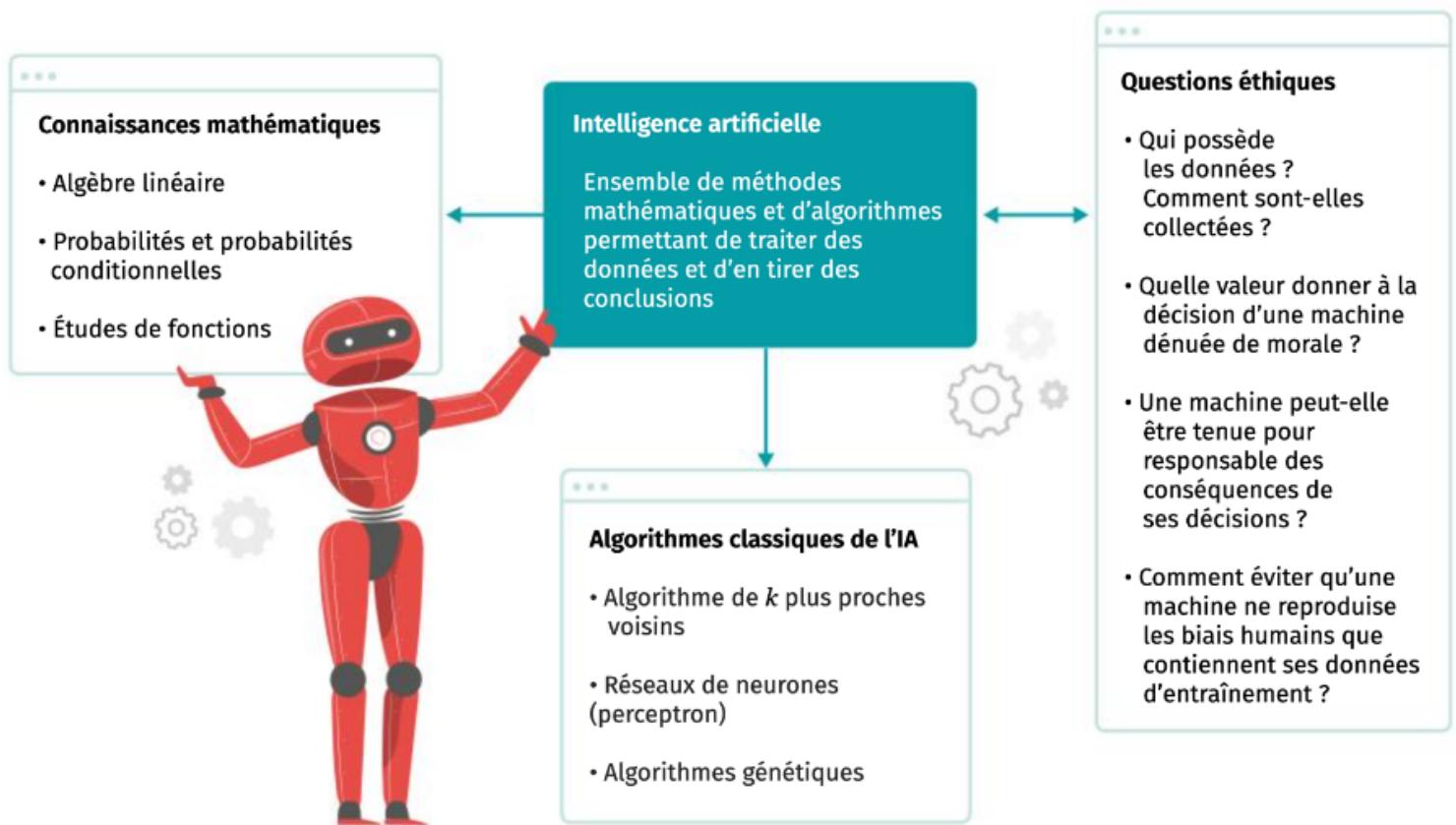
5.2.3 L'éthique de l'intelligence artificielle

Le développement de l'intelligence artificielle permet des progrès dans de nombreux domaines (médecine, construction automobile, architecture, justice, etc.) en déchargeant l'être humain de tâches laborieuses et répétitives.

Ces progrès vont de pair avec des questions éthiques telles que :

- Si une machine peut prendre une décision, peut-elle être tenue pour responsable des conséquences de cette décision?
- Une machine peut-elle avoir une influence sur la vie des humains sans avoir de morale?
- Quelles sont les implications de la collecte systématique de données sur tous les utilisateurs?

5.2.4 Résumé

FIGURE 5.2 – D'après *Le Livre Scolaire*

5.3 Préparation de l'évaluation

Je dois savoir :	OK	À revoir
Jusqu'au début du XXe siècle, les machines traitant l'information sont limitées à une ou quelques tâches prédéterminées (tisser grâce à un ruban ou des cartes perforées, trier un jeu de carte perforées, séparer des cartes selon un critère, sommer des valeurs indiquées sur ces cartes, ...). Turing a été le premier à proposer le concept de machine universelle qui a été matérialisé dix ans plus tard avec les premiers ordinateurs. Ceux-ci sont constitués à minima d'un processeur et d'une mémoire vive.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Un ordinateur peut manipuler des données de natures diverses une fois qu'elles ont été numérisées : textes, images, sons. Les programmes sont également des données : ils peuvent être stockés, transportés, et traités par des ordinateurs. En particulier, un programme écrit dans un langage de programmation de haut niveau (Python, Scratch...) peut être traduit en instructions spécifiques à chaque type de processeur.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Un programme peut comporter jusqu'à plusieurs centaines de millions de lignes de code, ce qui rend très probable la présence d'erreurs appelées bogues (ou bugs). Ces erreurs peuvent conduire un programme à avoir un comportement inattendu et entraîner des conséquences graves.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Le terme « intelligence artificielle » (IA) recouvre un ensemble de théories et de techniques qui traite de problèmes dont la résolution fait appel à l'intelligence humaine.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
L'apprentissage machine (ou « apprentissage automatique ») utilise des programmes capables de s'entraîner à partir de données. Il exploite des méthodes mathématiques qui, à partir du repérage de tendances (corrélations, similarités) sur de très grandes quantités de données (big data), permet de faire des prédictions ou de prendre des décisions sur d'autres données.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
La qualité et la représentativité des données d'entraînement sont essentielles pour la qualité des résultats. Les biais dans les données peuvent se retrouver amplifiés dans les résultats.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
L'inférence bayésienne est une méthode de calcul de probabilités de causes à partir des probabilités de leurs effets. Elle est utilisée en apprentissage automatique pour modéliser des relations au sein de systèmes complexes, notamment en vue de prononcer un diagnostic (médical, industriel, détection de spam...). Cela permet de détecter une anomalie à partir d'un test imparfait.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je dois pouvoir :	OK	À revoir
Analyser des documents historiques relatifs au traitement de l'information et à son automatisation.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Recenser les différentes situations de la vie courante où sont utilisés les ordinateurs, identifier lesquels sont programmables et par qui (thermostat d'ambiance, smartphone, box internet, ordinateur de bord d'une voiture...).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Savoir distinguer les fichiers exécutables des autres fichiers sous un système d'exploitation donné.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Connaître l'ordre de grandeur de la taille d'un fichier image, son, vidéo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Savoir calculer la taille en octets d'une page de texte (en ASCII et non compressé).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Étant donné un programme très simple, proposer des jeux de données d'entrée permettant d'en tester toutes les lignes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Corriger un algorithme ou un programme bogué simple.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Analyser des documents relatifs à une application de l'intelligence artificielle.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Utiliser une courbe de tendance (encore appelée courbe de régression) pour estimer une valeur inconnue à partir de données d'entraînement.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Analyser un exemple d'utilisation de l'intelligence artificielle : identifier la source des données utilisées et les corrélations exploitées.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sur des exemples réels, reconnaître les possibles biais dans les données, les limites de la représentativité.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Expliquer pourquoi certains usages de l'IA peuvent poser des problèmes éthiques.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
À partir de données, par exemple issues d'un diagnostic médical fondé sur un test, produire un tableau de contingence afin de calculer des fréquences de faux positifs, faux négatifs, vrais positifs, vrais négatifs. En déduire le nombre de personnes malades suivant leur résultat au test.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

FLASHCARD 1 Qu'est-ce qu'un ordinateur ?	FLASHCARD 2 Qui a proposé le concept de machine universelle ?	FLASHCARD 3 Quels sont les éléments essentiels d'un ordinateur selon Van Neuman ?	FLASHCARD 4 Qu'est-ce qu'un algorithme ?
CHAPITRE 5	CHAPITRE 5	CHAPITRE 5	CHAPITRE 5
FLASHCARD 5 Qu'est-ce qu'un bug ?	FLASHCARD 6 Qu'est-ce qu'un langage de haut niveau ?	FLASHCARD 7 Quel est le rôle du système d'exploitation ?	FLASHCARD 8 Que contient la mémoire vive (RAM) ?
CHAPITRE 5	CHAPITRE 5	CHAPITRE 5	CHAPITRE 5
FLASHCARD 9 Qu'est-ce qu'un fichier exécutable ?	FLASHCARD 10 De quoi dépend la taille d'un fichier ?	FLASHCARD 11 Qu'est-ce que la compression ?	FLASHCARD 12 Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ?
CHAPITRE 5	CHAPITRE 5	CHAPITRE 5	CHAPITRE 5
FLASHCARD 13 Sur quoi repose l'IA ?	FLASHCARD 14 Qu'est-ce que l'apprentissage automatique ?	FLASHCARD 15 Pourquoi les données d'entraînement sont-elles importantes ?	FLASHCARD 16 Quel est un enjeu éthique de l'IA ?
CHAPITRE 5	CHAPITRE 5	CHAPITRE 5	CHAPITRE 5

<p>Une suite d'instructions permettant de résoudre un problème.</p>	<ul style="list-style-type: none"> — L'unité arithmétique et logique — L'unité de contrôle — La mémoire — L'unité d'entrée/sortie 	<p>Alan Turing, en 1936.</p>	<p>Une machine capable de traiter automatiquement des informations grâce à un programme.</p>
<p>Les données et programmes en cours d'utilisation.</p>	<p>Gérer le matériel et permettre l'interaction avec l'utilisateur.</p>	<p>Un langage proche du langage humain, facile à comprendre (Python, Scratch...).</p>	<p>Une erreur ou anomalie dans un programme.</p>
<p>L'intelligence artificielle est un procédé logique et automatisé reposant généralement sur un algorithme et en mesure de réaliser des tâches bien définies.</p>	<p>Une technique qui réduit la taille d'un fichier.</p>	<p>De la quantité d'informations qu'il contient.</p>	<p>Un fichier contenant un programme que l'ordinateur peut lancer.</p>
<p>Les biais, la responsabilité et l'impact sur les humains.</p>	<p>Parce qu'elles influencent directement la qualité des résultats.</p>	<p>Une méthode où la machine apprend à partir de données.</p>	<p>Des algorithmes et des données.</p>

Grandes physiques, unités et conversions

◀ Histoire des sciences

▶ Les unités de mesure



▶ Système d'unités : une réforme sur mesure



A.1 Unités de base du Système International S.I.

Grandeur	Symbol de la grandeur	Unité S.I.	Symbol associé à l'unité
Masse	m	kilogramme	kg
Temps	t	seconde	s
Longueur	$l, x, r...$	mètre	m
Température	T	kelvin	K
Intensité électrique	I, i	ampère	A
Quantité de matière	n	mole	mol
Intensité lumineuse	I_V	candela	cd

A.2 Préfixe des unités

Préfixe	Tetra	Giga	Mega	kilo	hecto	deca	-	deci	centi	milli	micro	nano	pico	femto
Symbol	T	G	M	k	h	da	-	d	c	m	μ	n	p	f
Facteur de conversion	10^{12}	10^9	10^6	10^3	10^2	10^1	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}

A.2.1 Exemples de tableaux de conversion

km	hm	dam	m	dm	cm	mm

kg	hg	dag	g	dg	cg	mg

ks	hs	das	s	ds	cs	ms

Pour passer d'une colonne à une autre on multiplie ou on divise par 10.

A.2.2 Cas des aires

km ²	hm ²	dam ²	m ²	dm ²	cm ²	mm ²

Pour passer d'une colonne à une autre on multiplie ou on divise par 100, ou alors par 10 dans le cas des sous-colonnes.

A.2.3 Cas des volumes et contenances

km ³	hm ³	dam ³	m ³	dm ³	cm ³	mm ³							
				kL	hL	daL	L	dL	cL	mL			

Pour passer d'une colonne à une autre on multiplie ou on divise par 1000, ou alors par 10 dans le cas des sous-colonnes. Retenir que :
 $1 L = 1 dm^3$

Méthode des 5C : résoudre un problème de PC

	Étapes	Exemple
Je Cherche	On lit attentivement tout le texte. On surligne les données du texte. On trouve dans l'énoncé ce que l'on doit chercher.	Un coureur court 30 minutes à la vitesse de 6 km/h. Quelle distance a t-il parcourue?
	On écrit ce qu'on recherche en remplaçant la grandeur par la lettre.	On cherche la distance d parcourue par le coureur pendant 30 minutes à la vitesse de 6 km/h.
Je Connais	On indique ce qu'on sait en remplaçant les grandeurs par les lettres correspondantes et on indique la valeur avec son unité.	On sait que : $\Delta t = 30 \text{ min}$ et $v = 6 \text{ km/h}$
Je Calcule	Si possible, on écrit le nom de la loi ou propriété utilisée. Puis, on écrit la relation mathématique littérale permettant de calculer la grandeur recherchée. On indique les unités.	On utilise la relation suivante : $v = \frac{d}{\Delta t}$
	Si besoin, on isole l'inconnue devant le calcul littéral.	On en déduit que : $\frac{d}{\Delta t} = v$ puis $\frac{d}{\Delta t} \times \Delta t = v \times \Delta t$ et finalement $d = v \times \Delta t$
Je Convertis	On convertit si les unités des données ne conviennent pas.	On convertit : $d = v \times \Delta t = 6 \text{ km/h} \times 30 \text{ min} = \frac{6 \text{ km}}{1 \text{ h}} \times 30 \text{ min} = \frac{6 \text{ km}}{60 \text{ min}} \times 30 \text{ min}$
	On fait l'application numérique. On encadre le résultat.	On calcule : $d = 3 \text{ km}$
Je Conclus	On fait une phrase de conclusion où on indique l'unité.	On en conclut que le coureur parcourt 3 km pendant ses 30 minutes de course à 6 km/h.

TABLE B.1 – Méthode des 5C

C

Annexe

Tableau périodique des éléments

Tableau périodique

1 H Hydrogène	2 He Hélium
3 Li Lithium	4 Be Béryllium
11 Na Sodium	12 Mg Magnésium
19 K Potassium	20 Ca Calcium
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium
55 Cs Césium	56 Ba Baryum
87 Fr Francium	88 Ra Radium
57 La Lanthane	58 Ce Cérium
89 Ac.. Actinides	90 Th Thorium
91 Pa Protactinium	92 U Uranium
93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium
95 Am Américium	96 Cm Curium
97 Bk Berkélium	98 Cf Californium
99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium
101 Md Mendélévium	102 No Nobélium
103 Lr Lawrencium	
5 Bore	6 Carbone
13 Aluminium	14 Silicone
15 Phosphore	16 Soufre
17 Chlore	18 Argon
19 Ga	20 Ge
21 As	22 Se
23 Br	24 Kr
25 Rb	26 Iode
26 Sb	27 Xe
27 Te	28 At
28 Po	29 Rn
29 At	30 Og
30 Tm	31 Lu
31 Yb	
32 Dy	
33 Ho	
34 Er	
35 Tm	
36 Yb	
37 Lu	
38 Rb	
39 Sr	
40 Yttrium	
41 Zirconium	
42 Nb	
43 Mo	
44 Tc	
45 Ru	
46 Rh	
47 Pd	
48 Ag	
49 Cd	
50 In	
51 Sn	
52 Sb	
53 Te	
54 I	
55 Cs	
56 Ba	
57-71 La..	
58 Hf	
59 Ta	
60 W	
61 Re	
62 Os	
63 Ir	
64 Pt	
65 Au	
66 Hg	
67 Tl	
68 Pb	
69 Bi	
70 Po	
71 At	
72 Rutherfordium	
73 Dubnium	
74 Seaborgium	
75 Bohrium	
76 Hassium	
77 Meitnérium	
78 Darmstadtium	
79 Roentgenium	
80 Copernicium	
81 Nihonium	
82 Flérovia	
83 Moscovium	
84 Livermorium	
85 Tennessine	
86 Oganesson	
87 Francium	
88 Radium	
89-103 Actinides	
104 Rutherfordium	
105 Dubnium	
106 Seaborgium	
107 Bohrium	
108 Hassium	
109 Meitnérium	
110 Darmstadtium	
111 Roentgenium	
112 Copernicium	
113 Nihonium	
114 Flérovia	
115 Moscovium	
116 Livermorium	
117 Tennessine	
118 Oganesson	
119 Ununactinium	
120 Ununbium	
121 Ununtrium	
122 Ununquadium	
123 Ununpentium	
124 Ununhexium	
125 Ununseptium	
126 Ununoctium	
127 Ununnonium	
128 Ununnonium	
129 Ununnonium	
130 Ununnonium	
131 Ununnonium	
132 Ununnonium	
133 Ununnonium	
134 Ununnonium	
135 Ununnonium	
136 Ununnonium	
137 Ununnonium	
138 Ununnonium	
139 Ununnonium	
140 Ununnonium	
141 Ununnonium	
142 Ununnonium	
143 Ununnonium	
144 Ununnonium	
145 Ununnonium	
146 Ununnonium	
147 Ununnonium	
148 Ununnonium	
149 Ununnonium	
150 Ununnonium	
151 Ununnonium	
152 Ununnonium	
153 Ununnonium	
154 Ununnonium	
155 Ununnonium	
156 Ununnonium	
157 Ununnonium	
158 Ununnonium	
159 Ununnonium	
160 Ununnonium	
161 Ununnonium	
162 Ununnonium	
163 Ununnonium	
164 Ununnonium	
165 Ununnonium	
166 Ununnonium	
167 Ununnonium	
168 Ununnonium	
169 Ununnonium	
170 Ununnonium	
171 Ununnonium	
172 Ununnonium	
173 Ununnonium	
174 Ununnonium	
175 Ununnonium	
176 Ununnonium	
177 Ununnonium	
178 Ununnonium	
179 Ununnonium	
180 Ununnonium	
181 Ununnonium	
182 Ununnonium	
183 Ununnonium	
184 Ununnonium	
185 Ununnonium	
186 Ununnonium	
187 Ununnonium	
188 Ununnonium	
189 Ununnonium	
190 Ununnonium	
191 Ununnonium	
192 Ununnonium	
193 Ununnonium	
194 Ununnonium	
195 Ununnonium	
196 Ununnonium	
197 Ununnonium	
198 Ununnonium	
199 Ununnonium	
200 Ununnonium	
201 Ununnonium	
202 Ununnonium	
203 Ununnonium	
204 Ununnonium	
205 Ununnonium	
206 Ununnonium	
207 Ununnonium	
208 Ununnonium	
209 Ununnonium	
210 Ununnonium	
211 Ununnonium	
212 Ununnonium	
213 Ununnonium	
214 Ununnonium	
215 Ununnonium	
216 Ununnonium	
217 Ununnonium	
218 Ununnonium	
219 Ununnonium	
220 Ununnonium	
221 Ununnonium	
222 Ununnonium	
223 Ununnonium	
224 Ununnonium	
225 Ununnonium	
226 Ununnonium	
227 Ununnonium	
228 Ununnonium	
229 Ununnonium	
230 Ununnonium	
231 Ununnonium	
232 Ununnonium	
233 Ununnonium	
234 Ununnonium	
235 Ununnonium	
236 Ununnonium	
237 Ununnonium	
238 Ununnonium	
239 Ununnonium	
240 Ununnonium	
241 Ununnonium	
242 Ununnonium	
243 Ununnonium	
244 Ununnonium	
245 Ununnonium	
246 Ununnonium	
247 Ununnonium	
248 Ununnonium	
249 Ununnonium	
250 Ununnonium	
251 Ununnonium	
252 Ununnonium	
253 Ununnonium	
254 Ununnonium	
255 Ununnonium	
256 Ununnonium	
257 Ununnonium	
258 Ununnonium	
259 Ununnonium	
260 Ununnonium	
261 Ununnonium	
262 Ununnonium	
263 Ununnonium	
264 Ununnonium	
265 Ununnonium	
266 Ununnonium	
267 Ununnonium	
268 Ununnonium	
269 Ununnonium	
270 Ununnonium	
271 Ununnonium	
272 Ununnonium	
273 Ununnonium	
274 Ununnonium	
275 Ununnonium	
276 Ununnonium	
277 Ununnonium	
278 Ununnonium	
279 Ununnonium	
280 Ununnonium	
281 Ununnonium	
282 Ununnonium	
283 Ununnonium	
284 Ununnonium	
285 Ununnonium	
286 Ununnonium	
287 Ununnonium	
288 Ununnonium	
289 Ununnonium	
290 Ununnonium	
291 Ununnonium	
292 Ununnonium	
293 Ununnonium	
294 Ununnonium	
295 Ununnonium	
296 Ununnonium	
297 Ununnonium	
298 Ununnonium	
299 Ununnonium	
300 Ununnonium	
301 Ununnonium	
302 Ununnonium	
303 Ununnonium	
304 Ununnonium	
305 Ununnonium	
306 Ununnonium	
307 Ununnonium	
308 Ununnonium	
309 Ununnonium	
310 Ununnonium	
311 Ununnonium	
312 Ununnonium	
313 Ununnonium	
314 Ununnonium	
315 Ununnonium	
316 Ununnonium	
317 Ununnonium	
318 Ununnonium	
319 Ununnonium	
320 Ununnonium	
321 Ununnonium	
322 Ununnonium	
323 Ununnonium	
324 Ununnonium	
325 Ununnonium	
326 Ununnonium	
327 Ununnonium	
328 Ununnonium	
329 Ununnonium	
330 Ununnonium	
331 Ununnonium	
332 Ununnonium	
333 Ununnonium	
334 Ununnonium	
335 Ununnonium	
336 Ununnonium	
337 Ununnonium	
338 Ununnonium	
339 Ununnonium	
340 Ununnonium	
341 Ununnonium	
342 Ununnonium	
343 Ununnonium	
344 Ununnonium	
345 Ununnonium	
346 Ununnonium	
347 Ununnonium	
348 Ununnonium	
349 Ununnonium	
350 Ununnonium	
351 Ununnonium	
352 Ununnonium	
353 Ununnonium	
354 Ununnonium	
355 Ununnonium	
356 Ununnonium	
357 Ununnonium	
358 Ununnonium	
359 Ununnonium	
360 Ununnonium	
361 Ununnonium	
362 Ununnonium	
363 Ununnonium	
364 Ununnonium	
365 Ununnonium	
366 Ununnonium	
367 Ununnonium	
368 Ununnonium	
369 Ununnonium	
370 Ununnonium	
371 Ununnonium	
372 Ununnonium	
373 Ununnonium	
374 Ununnonium	
375 Ununnonium	
376 Ununnonium	
377 Ununnonium	
378 Ununnonium	
379 Ununnonium	
380 Ununnonium	
381 Ununnonium	
382 Ununnonium	
383 Ununnonium	
384 Ununnonium	
385 Ununnonium	
386 Ununnonium	
387 Ununnonium	
388 Ununnonium	
389 Ununnonium	
390 Ununnonium	
391 Ununnonium	
392 Ununnonium	
393 Ununnonium	
394 Ununnonium	
395 Ununnonium	
396 Ununnonium	
397 Ununnonium	
398 Ununnonium	
399 Ununnonium	
400 Ununnonium	
401 Ununnonium	
402 Ununnonium	
403 Ununnonium	
404 Ununnonium	
405 Ununnonium	
406 Ununnonium	
407 Ununnonium	
408 Ununnonium	
409 Ununnonium	
410 Ununnonium	
411 Ununnonium	
412 Ununnonium	
413 Ununnonium	
414 Ununnonium	
415 Ununnonium	
416 Ununnonium	
417 Ununnonium	
418 Ununnonium	
419 Ununnonium	
420 Ununnonium	
421 Ununnonium	
422 Ununnonium	
423 Ununnonium	
424 Ununnonium	
425 Ununnonium	
426 Ununnonium	
427 Ununnonium	
428 Ununnonium	
429 Ununnonium	
430 Ununnonium	
431 Ununnonium	
432 Ununnonium	
433 Ununnonium	
434 Ununnonium	
435 Ununnonium	
436 Ununnonium	
437 Ununnonium	
438 Ununnonium	
439 Ununnonium	
440 Ununnonium	
441 Ununnonium	
442 Ununnonium	
443 Ununnonium	
444 Ununnonium	
445 Ununnonium	
446 Ununnonium	
447 Ununnonium	
448 Ununnonium	
449 Ununnonium	
450 Ununnonium	
451 Ununnonium	
452 Ununnonium	
453 Ununnonium	
454 Ununnonium	
455 Ununnonium	
456 Ununnonium	
457 Ununnonium	
458 Ununnonium	
459 Ununnonium	
460 Ununnonium	
461 Ununnonium	
462 Ununnonium	
463 Ununnonium	
464 Ununnonium	
465 Ununnonium	
466 Ununnonium	
467 Ununnonium	
468 Ununnonium	
469 Ununnonium	
470 Ununnonium	
471 Ununnonium	
472 Ununnonium	
473 Ununnonium	
474 Ununnonium	
475 Ununnonium	
476 Ununnonium	
477 Ununnonium	
478 Ununnonium	
479 Ununnonium	
480 Ununnonium	
481 Ununnonium	
482 Ununnonium	
483 Ununnonium	
484 Ununnonium	
485 Ununnonium	
486 Ununnonium	
487 Ununnonium	
488 Ununnonium	
489 Ununnonium	
490 Ununnonium	
491 Ununnonium	
492 Ununnonium	
493 Ununnonium	
494 Ununnonium	
495 Ununnonium	
496 Ununnonium	
497 Ununnonium	
498 Ununnonium	
499 Ununnonium	
500 Ununnonium	
501 Ununnonium	
502 Ununnonium	
503 Ununnonium	
504 Ununnonium	
505 Ununnonium	
506 Ununnonium	
507 Ununnonium	
508 Ununnonium	
509 Ununnonium	
510 Ununnonium	
511 Ununnonium	
512 Ununnonium	
513 Ununnonium	
514 	