

## Des hommes plein d'énergie

### Inventeurs et découvreurs de l'antiquité au XXe siècle

L'histoire de l'énergie est intimement liée à celle de l'humanité, ainsi qu'à l'histoire des sciences et des techniques. L'homme a d'abord essayé d'exploiter le feu, il a fabriqué des machines et des outils, utilisé les éléments naturels que sont l'eau, le vent et le soleil pour accroître son efficacité. Il a ensuite cherché à comprendre et à maîtriser la vapeur et l'électricité, avant de s'intéresser à l'atome.

Cette aventure de l'énergie est aussi et avant tout une histoire d'hommes. De l'Antiquité au XXe siècle, des hommes et des femmes, éminents scientifiques ou autodidactes ingénieux, ont en effet consacré leur vie à chercher, à découvrir, à inventer et à créer des concepts, des procédés et des machines en lien avec l'énergie. Les recherches se font parfois pas à pas, se transmettent et s'enrichissent grâce aux communications dans les académies des sciences. Les XVIIIe et XIXe siècles voient un foisonnement de découvertes qui amènent à de véritables révolutions scientifique, industrielle ou économique et permettent le développement de nos sociétés.

Mais sait-on qui est Héron d'Alexandrie ? Qui le premier a défini la notion d'électricité ? De quand date la première turbine éolienne ? Ces scientifiques, ingénieurs, industriels sont nombreux et il ne pouvait être question d'en dresser un état exhaustif. Des hommes plein d'énergie permet de découvrir, à travers une galerie de vingt-six portraits, le parcours et la vie, parfois très surprenants, de ces hommes qui ont marqué l'histoire de l'énergie.

#### DESCRIPTIF DE L'EXPOSITION

- **6 bannières**

*Plastique souple*

*Dimensions : 60 x 232 cm*

*Formats verticaux*

*Système de suspension*



- **26 panneaux**

*Support : carton 10 mm*

*Dimensions 80x220 cm*

*Formats verticaux*

*Système de suspension*



**Emplacement nécessaire :** 35 mètres linéaires

**Conditionnement :** Emballages individuels (plastibulle)

**Type de véhicule nécessaire au transport :** Type Trafic

**Valeur d'assurance :** 8 000 €

**Prix de location :** Semaine : 200 € - Quinzaine : 400 € - Mois : 750 €

# Des hommes plein d'énergie

INVENTEURS ET DÉCOUVERTEURS DE L'ANTIQUITÉ AU XX<sup>e</sup> SIÈCLE

L'histoire de l'énergie est intimement liée à celle de l'humanité, ainsi qu'à l'histoire des sciences et des techniques. L'homme a d'abord essayé d'exploiter le feu, il a fabriqué des machines et des outils, utilisé les éléments naturels que sont l'eau, le vent et le soleil pour accroître son efficacité. Il a ensuite cherché à comprendre et à maîtriser la vapeur et l'électricité, avant de s'intéresser à l'atome.

Cette aventure de l'énergie est aussi et avant tout une histoire d'hommes. Le Titanisme au XX<sup>e</sup> siècle, des hommes et des femmes, éminents scientifiques ou autodidactes ingénieurs, ont en effet consacré leur vie à chercher, à découvrir, à inventer et à créer des concepts, des procédés et des machines en lien avec l'énergie. Les recherches se font parfois pas à pas, se transmettent et s'enrichissent grâce aux communications dans les académies des sciences. Les XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles voient un foisonnement de découvertes qui amènent à de véritables révolutions scientifiques, industrielle ou économique et permettent le développement de nos sociétés.

Mais sait-on qui est Héron d'Alexandrie ? Qui le premier a défini la notion d'électricité ? De quand date la première turbine éolienne ? Ces scientifiques, ingénieurs, industriels sont nombreux et il ne pouvait être dresser un état exhaustif. Des hommes plein d'énergie permet de documenter, à travers une galerie de vingt-six portraits, le parcours et la vie, parfois très surprenants, de ces hommes qui ont marqué l'histoire de l'énergie.

## Men of Energy

The history of energy is closely tied up with the story of humankind, as well as developments in science and technology. Humans first sought to harness the power of fire and then learned to use fire to create machines, using natural elements like water and wind to power their tools. Subsequently, they used natural elements like steam and electricity to increase their effectiveness, and later sought to understand and master nuclear energy and atomic power.

This adventure of energy is also and above all a history of men. The Titanism of the 20th century, men and women, eminent scientists or autodidact engineers, have in fact dedicated their lives to searching, discovering, inventing and creating concepts, processes and machines in connection with energy. Research is often done step by step, is passed on and enriched through communication in academies of science. The 18th and 19th centuries saw a proliferation of discoveries that brought about real revolutions in science, industry and economy, helping the transition to our modern-day society.

But how many people know the name of Heron of Alexandria? Who was the first person to define the concept of electricity? When did the first wind turbine appear? These scientists, engineers and manufacturers contributed to our ability to harness the power of fire, water, wind and sun in a variety of ways, and it is impossible to list all the names of these men who have marked the history of energy.

## Mensen vol energie

De geschiedenis van de energie hangt nauw samen met die van de mensheid. Het gaat niet om de geschiedenis van de natuurkunde en de techniek. Eerst ging de mens het vuur aanpakkelingen, hi gebruikte natuurlijke elementen als water en wind om zijn gereedschappen te laten werken. Vervolgens gebruikte hij natuurlijke elementen als stoom en elektriciteit om zijn effectiviteit te verhogen, en daarna zocht hij naar manieren om deze te begrijpen en te beheersen.

Deze avontuur van de energie is ook en vooral een verhaal van mensen. Van de Dark Ages tot de 20e eeuw hebben velen wetenschappers en autodidactische ingenieurs hun leven gewijd aan het zoeken, ontdekken, ontwikkelen en creëren van concepten, processen en machines die samenhangen met energie. Het onderzoek wordt vaak gedaan stap voor stap, wordt overgedragen en wordt verrijkt door communicatie in wetenschappelijke academies. De 18e en 19e eeuw zagen een overvloed aan ontdekkingen die tot werkelijke revoluties in wetenschap, industrie en economie leidden en het mogelijk maakten de transitie naar onze huidige maatschappij.

Maar weet u wie Heron van Alexandrië is? Wie was de eerste die het begrip elektriciteit heeft gedefinieerd? Wanneer is de eerste windturbine ontwikkeld? Deze wetenschappers, ingenieurs en fabrikanten hebben bijgedragen aan ons vermogen om de kracht van vuur, water, wind en zon op verschillende manieren te gebruiken, en het is niet mogelijk om een compleet lijst te maken. De biographies van deze mannen en vrouwen hebben de geschiedenis van de energie.

L'histoire de l'énergie est intimement liée à celle de l'humanité, ainsi qu'à l'histoire des sciences et des techniques. L'homme a d'abord essayé d'exploiter le feu, il a fabriqué des machines et des outils, utilisé les éléments naturels que sont l'eau, le vent et le soleil pour accroître son efficacité. Il a ensuite cherché à comprendre et à maîtriser la vapeur et l'électricité, avant de s'intéresser à l'atome.

Cette aventure de l'énergie est aussi et avant tout une histoire d'hommes. De l'Antiquité au XXe siècle, des hommes et des femmes, éminents Scientifiques ou autodidactes ingénieurs, ont en effet consacré leur vie à chercher, à découvrir, à inventer et à créer des concepts, des procédés et des machines en lien avec l'énergie. Les recherches se font parfois pas à pas, se transmettent et s'enrichissent grâce aux communications dans les académies des sciences. Les XVIIIe et XIXe siècles voient un foisonnement de découvertes qui amènent à de véritables révolutions scientifique, industrielle ou économique et permettent le développement de nos sociétés.

Mais sait-on qui est Héron d'Alexandrie ? Qui le premier a défini la notion d'électricité ? De quand date la première turbine éolienne ? Ces scientifiques, ingénieurs, industriels sont nombreux et il ne pouvait être question d'en dresser un état exhaustif. Des hommes plein d'énergie permet de découvrir, à travers une galerie de vingt-six portraits, le parcours et la vie, parfois très surprenants, de ces hommes qui ont marqué l'histoire de l'énergie.

1

# VOUS AVEZ DIT ÉNERGIE ?

**L'énergie est un aspect de notre existence.** Elle est un enjeu majeur dans de nombreux domaines, scientifiques, environnemental, politique et économique. Elle joue d'énergie, plus des domaines d'énergie, l'énergie d'énergie, ces expressions expriment que le terme énergie appartient à notre vocabulaire courant. Il revêt pourtant des sens différents en fonction des époques et même des domaines. La notion d'énergie désigne quelque chose qui agit et force en action. Selon le dictionnaire Le Robert, il s'agit de la « propriété d'un système physique capable de produire du travail ».

**L'énergie est un concept abstrait et multiforme ;** c'est aussi un objet mathématique et physique. Ses formes sont multiples : mécanique, électrique, calorifique... Au XVIIIe et au XIXe siècle, les découvertes scientifiques démontrent que l'énergie est une quantité mesurable qui s'échange et se modifie en permanence. Les travaux d'Hermann Von Helmholtz et de James Prescott Joule sur la loi de la conservation vont notamment impulser une nouvelle dynamique autour du concept d'énergie. Il devient le concept central de la physique.

**Le mot "Energy"**  
 L'anglais a emprunté le mot "Energy" au grec ancien "energeia" qui signifie "force en action". Le mot "Energy" est utilisé pour désigner la capacité d'un système à effectuer un travail ou à produire de la chaleur. Le mot "Energy" est également utilisé pour désigner la quantité de travail ou de chaleur que peut effectuer un système.

**Le mot "Energie"**  
 Le mot "Energie" est un terme scientifique qui désigne la capacité d'un système à effectuer un travail ou à produire de la chaleur. Le mot "Energie" est également utilisé pour désigner la quantité de travail ou de chaleur que peut effectuer un système.

L'énergie est au cœur de notre société. Elle est un enjeu majeur dans de nombreux domaines, scientifique, environnemental, politique et économique. Être plein d'énergie, faire des économies d'énergie, l'énergie du désespoir... ces expressions montrent que le terme énergie appartient à notre vocabulaire courant. Il revêt pourtant des sens différents en fonction des époques et surtout des domaines. Le mot énergie vient du grec energeia qui signifie « force en action ». Selon le dictionnaire Le Robert, il s'agit de la « propriété d'un système physique capable de produire du travail ».

L'énergie est un concept abstrait et multiforme ; c'est aussi un objet mathématique et physique. Ses formes sont multiples : mécanique, électrique, calorifique... Au XVIIIe et au XIXe siècle, les découvertes scientifiques démontrent que l'énergie est une quantité mesurable qui s'échange et se modifie en permanence. Les travaux d'Hermann Von Helmholtz et de James Prescott Joule sur la loi de la conservation vont notamment impulser une nouvelle dynamique autour du concept d'énergie. Il devient le concept central de la physique.

2



### Le « phénomène » Young

Thomas Young est un enfant surdoué. À quatorze ans, il maîtrise outre l'anglais, le français, l'italien, l'arabe, le latin et le grec. Il apprend également l'hébreu, le chaldéen, le persan, le turc, le syriaque. En 1792, il entame des études de médecine et à 19 ans, il intègre la Royal Society. Comme Léonard de Vinci, Thomas Young est un polymathe, c'est-à-dire qu'il excelle dans de nombreux domaines sans aucun lien. Son savoir est si vaste qu'il est même surnommé le « phénomène Young ». Toute sa vie, Thomas Young exerce la médecine tout en continuant ses recherches. Entre 1793 et 1801, ses travaux en optique sont considérables : il découvre la capacité de l'œil à accommoder la vision à différentes distances en modifiant la courbure du cristallin, il décrit l'astigmatisme et émet l'hypothèse que la perception de la couleur est due à la présence de récepteurs sur la rétine.

Dans le domaine de la mécanique, il a laissé son nom au module qui caractérise les déformations élastiques d'un matériau en fonction de la contrainte qui lui est appliquée. Thomas Young est aussi égyptologue et à partir de 1814, il tente de déchiffrer les hiéroglyphes de la pierre de Rosette. Mais dans le domaine scientifique, Thomas Young est surtout le premier à utiliser le mot « energy ». Pourtant, en 1807, ce terme n'a encore qu'un sens très vague.

### Le mot « énergie »

En 1807, Thomas Young donne dans une publication la première définition de l'énergie : « le terme énergie doit être appliqué au produit de la masse d'un corps et du carré de sa vitesse. Ainsi, si une masse d'une livre se déplace à une vitesse d'un pied par seconde, cette énergie vaut 1 ; si un second corps de deux livres se déplace à une vitesse de deux pieds par seconde, cette énergie vaudra deux fois le carré de deux, c'est-à-dire 18 ».

En 1850, William Thomson (futur baron Kelvin) propose à la communauté scientifique de remplacer définitivement le terme « force vive » par celui d'énergie. Plus tard, en l'honneur des travaux de James Prescott Joule (1818-1889) sur la nature de la chaleur, la communauté scientifique donne son nom à l'unité d'énergie. Le mot « énergie » ne fait cependant son apparition dans la littérature scientifique française qu'en 1875.

## Thomas Young - (1773 – 1829) Angleterre

### Le « phénomène » Young

Thomas Young est un enfant surdoué. À quatorze ans, il maîtrise outre l'anglais, le français, l'italien, l'arabe, le latin et le grec. Il apprend également l'hébreu, le chaldéen, le persan, le turc, le syriaque. En 1792, il entame des études de médecine et à 19 ans, il intègre la Royal Society. Comme Léonard de Vinci, Thomas Young est un polymathe, c'est-à-dire qu'il excelle dans de nombreux domaines sans aucun lien. Son savoir est si vaste qu'il est même surnommé le « phénomène Young ». Toute sa vie, Thomas Young exerce la médecine tout en continuant ses recherches. Entre 1793 et 1801, ses travaux en optique sont considérables : il découvre la capacité de l'œil à accommoder la vision à différentes distances en modifiant la courbure du cristallin, il décrit l'astigmatisme et émet l'hypothèse que la perception de la couleur est due à la présence de récepteurs sur la rétine. Dans le domaine de la mécanique, il a laissé son nom au module qui caractérise les déformations élastiques d'un matériau en fonction de la contrainte qui lui est appliquée. Thomas Young est aussi égyptologue et à partir de 1814, il tente de déchiffrer les hiéroglyphes de la pierre de Rosette. Mais dans le domaine scientifique, Thomas Young est surtout le premier à utiliser le mot « energy ». Pourtant, en 1807, ce terme n'a encore qu'un sens très vague.

### Le mot « énergie »

En 1807, Thomas Young donne dans une publication la première définition de l'énergie : « le terme énergie doit être appliqué au produit de la masse d'un corps et du carré de sa vitesse. Alors, si une masse d'une livre se déplace à une vitesse d'un pied par seconde, cette énergie vaut 1 ; si un second corps de deux livres se déplace à une vitesse de deux pieds par seconde, cette énergie vaudra deux fois le carré de deux, c'est-à-dire 18 ». En 1850, William Thomson (1824-1907) propose à la communauté scientifique de remplacer définitivement le terme « force vive » par celui d'énergie. Plus tard, en l'honneur des travaux de James Prescott Joule (1818-1889) sur la nature de la chaleur, la communauté scientifique donne son nom à l'unité d'énergie. Le mot « énergie » ne fait cependant son apparition dans la littérature scientifique française qu'en 1875.

3

## Herman Von Helmholtz - (1821 – 1894) Allemagne

### L'initiateur de la thermodynamique

Hermann Von Helmholtz souhaite étudier la physique mais doit choisir la médecine afin d'obtenir une bourse pour suivre des études scientifiques. Il peut alors s'intéresser à la philosophie, suivre des cours de chimie et de physiologie mais aussi s'initier seul aux mathématiques dans les traités de Laplace et de Bernoulli. En physique, ses travaux portent sur la thermodynamique et notamment sur le principe de conservation de l'énergie. Dans son mémoire sur la conservation de la force *Über die Erhaltung der Kraft* présenté à la Société de physique de Berlin en 1847, il développe les principes mathématiques de la conservation de l'énergie et leurs applications dans des domaines allant de la mécanique à la physiologie. Hermann Von Helmholtz appartient à cette catégorie de savants qui se sont illustrés dans de nombreuses disciplines. Nommé professeur associé de physiologie à l'université de Königsberg en Prusse, il débute un important travail sur la mesure de la vitesse de l'influx nerveux. Ses recherches s'orientent également vers l'optique et l'acoustique et en 1851, il invente l'ophtalmoscope, appareil utilisé pour l'observation de l'intérieur de l'oeil. À l'université d'Heidelberg, il mène à partir de 1858 des expériences en électrodynamique et en hydrodynamique. Puis en 1863, il publie un livre sur la perception des couleurs. À partir de 1868, Hermann Von Helmholtz va occuper des postes importants : vice-recteur de l'université d'Heidelberg, chaire de physique de l'université de Berlin, premier directeur de l'institut de physique de Charlottenberg près de Berlin.

### La conservation de l'énergie

En 1847, Hermann Von Helmholtz émet l'idée que l'énergie ne peut ni être créée ni perdue. L'énergie peut être transférée, c'est-à-dire déplacée d'un endroit à un autre mais reste identique tout au long du processus : par exemple l'énergie mécanique transmise par le cycliste au pédalier est transférée aux roues et fait avancer le vélo. L'énergie peut également être transformée, c'est-à-dire passer d'une forme à une autre : c'est le cas de la nourriture (énergie chimique) qui peut être transformée par l'homme en mouvement du corps (énergie mécanique) et en chaleur (énergie calorifique). Hermann Von Helmholtz explique alors que les transformations et les transferts d'énergie se déroulent sans perte d'énergie ; l'énergie initiale est égale à l'énergie finale. Cette loi n'est valable que dans un système isolé qui n'effectue aucun échange de matière ni d'énergie avec son environnement. On peut appliquer aussi à l'énergie la loi émise par Antoine Lavoisier en 1777 pour la matière : « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ! »



#### L'initiateur de la thermodynamique

Hermann Von Helmholtz souhaite étudier la physique mais doit choisir la médecine afin d'obtenir une bourse pour suivre des études scientifiques. Il peut alors s'intéresser à la philosophie, suivre des cours de chimie et de physiologie mais aussi s'initier seul aux mathématiques dans les traités de Laplace et de Bernoulli.

En physique, ses travaux portent sur la thermodynamique et notamment sur le principe de conservation de l'énergie. Dans son mémoire sur la conservation de la force *Über die Erhaltung der Kraft* présenté à la Société de physique de Berlin en 1847, il développe les principes mathématiques de la conservation de l'énergie et leurs applications dans des domaines allant de la mécanique à la physiologie.

Hermann Von Helmholtz appartient à cette catégorie de savants qui se sont illustrés dans de nombreuses disciplines. Nommé professeur associé de physiologie à l'université de Königsberg en Prusse, il débute un important travail sur la mesure de la vitesse de l'influx nerveux. Ses recherches s'orientent également vers l'optique et l'acoustique et en 1851, il invente l'ophtalmoscope, appareil utilisé pour l'observation de l'intérieur de l'oeil. À l'université d'Heidelberg, il mène à partir de 1858 des expériences en électrodynamique et en hydrodynamique. Puis en 1863, il publie un livre sur la perception des couleurs.

À partir de 1868, Hermann Von Helmholtz va occuper des postes importants : vice-recteur de l'université d'Heidelberg, chaire de physique de l'université de Berlin, premier directeur de l'institut de physique de Charlottenberg près de Berlin.

#### La conservation de l'énergie

**$\Delta U = Q + W$**  En 1847, Hermann Von Helmholtz émet l'idée que l'énergie ne peut ni être créée ni perdue. L'énergie peut être transférée, c'est-à-dire déplacée d'un endroit à un autre mais reste identique tout au long du processus : par exemple l'énergie mécanique transmise par le cycliste au pédalier est transférée aux roues et fait avancer le vélo.

L'énergie peut également être transformée, c'est-à-dire passer d'une forme à une autre : c'est le cas de la nourriture (énergie chimique) qui peut être transformée par l'homme en mouvement du corps (énergie mécanique) et en chaleur (énergie calorifique).

Hermann Von Helmholtz explique alors que les transformations et les transferts d'énergie se déroulent sans perte d'énergie ; l'énergie initiale est égale à l'énergie finale. Cette loi n'est valable que dans un système isolé qui n'effectue aucun échange de matière ni d'énergie avec son environnement.

On peut appliquer aussi à l'énergie la loi émise par Antoine Lavoisier en 1777 pour la matière : « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ! »

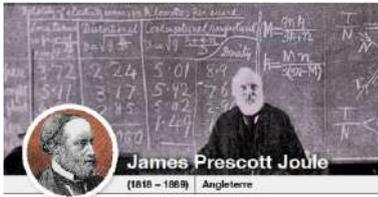
## James Prescott Joule - (1818 – 1889) Angleterre

### Un chercheur indépendant

Fils de brasseur, James Prescott Joule étudie dans un premier temps à la maison. De 1834 à 1837, à Manchester il suit les cours de John Dalton en chimie, physique, mathématiques et méthodes scientifiques. Mais James Joule est fasciné par l'électricité et mène des expériences dans ce domaine avec son frère. De retour dans la brasserie familiale, dont il prend les commandes, il réfléchit à remplacer la machine à vapeur par une machine électrique. Dans son laboratoire, il étudie l'électromagnétisme et découvre en 1838 la saturation magnétique, c'est-à-dire la valeur limite atteinte pour l'aimantation d'un noyau d'acier excité par un champ magnétique. Dès 1839, James Prescott Joule entame une série d'expériences impliquant le travail mécanique, l'électricité et la chaleur. Pourtant ses premiers articles adressés à la Royal Society ne soulèvent qu'un enthousiasme limité. En 1842, il énonce la loi qui porte son nom et qui établit la relation entre le courant électrique traversant une résistance et la chaleur dissipée : c'est l'effet Joule. Son étude de la chaleur et sa découverte de la relation avec le travail mécanique le conduisent à la théorie de la conservation de l'énergie, la première loi de la thermodynamique. Avec le physicien écossais William Thomson, rencontré en 1847, il mène des recherches sur l'expansion des gaz prouvant que ceux-ci refroidissent quand leur pression chute. L'une de ses applications sera les machines réfrigérantes. C'est grâce à la caution de Michael Faraday qu'il est élu à la Royal Society en 1850. Alors qu'il aura toute sa vie travaillé en chercheur indépendant, le congrès international des électriciens réuni à Paris pour l'exposition internationale en 1889 confirme le joule comme unité d'énergie.

### La mesure de l'énergie

James Prescott Joule met en évidence que le travail mécanique est transformé en chaleur, en utilisant au point un dispositif particulier. Il utilise la chute d'une masse pour faire tourner une roue à aubes, plongée dans un récipient rempli d'eau. À l'aide d'un thermomètre de précision, James Prescott Joule mesure alors l'élévation de température de l'eau. Il constate une relation entre la hauteur de la chute de la masse, donc le travail mécanique, et l'élévation de température. Il met ainsi en évidence que le travail mécanique est transformé en chaleur. Le nom de Joule est donné à l'unité de mesure de travail mécanique, de quantité de chaleur et d'énergie du Système international d'unités.



James Prescott Joule  
(1818 – 1889) Angleterre

#### Un chercheur indépendant

Fils de brasseur, James Prescott Joule étudie dans un premier temps à la maison. De 1834 à 1837, à Manchester il suit les cours de John Dalton en chimie, physique, mathématiques et méthodes scientifiques. Mais James Joule est fasciné par l'électricité et mène des expériences dans ce domaine avec son frère. De retour dans la brasserie familiale, dont il prend les commandes, il réfléchit à remplacer la machine à vapeur par une machine électrique. Dans son laboratoire, il étudie l'électromagnétisme et découvre en 1838 la saturation magnétique, c'est-à-dire la valeur limite atteinte pour l'aimantation d'un noyau d'acier excité par un champ magnétique. Dès 1839, James Prescott Joule entame une série d'expériences impliquant le travail mécanique, l'électricité et la chaleur. Pourtant ses premiers articles adressés à la Royal Society ne soulèvent qu'un enthousiasme limité. En 1842, il énonce la loi qui porte son nom et qui établit la relation entre le courant électrique traversant une résistance et la chaleur dissipée : c'est l'effet Joule.

Son étude de la chaleur et sa découverte de la relation avec le travail mécanique le conduisent à la théorie de la conservation de l'énergie, la première loi de la thermodynamique.

Avec le physicien écossais William Thomson, rencontré en 1847, il mène des recherches sur l'expansion des gaz prouvant que ceux-ci refroidissent quand leur pression chute. L'une de ses applications sera les machines réfrigérantes.

C'est grâce à la caution de Michael Faraday qu'il est élu à la Royal Society en 1850. Alors qu'il aura toute sa vie travaillé en chercheur indépendant, le congrès international des électriciens réuni à Paris pour l'exposition internationale en 1889 confirme le joule comme unité d'énergie.

#### La mesure de l'énergie



James Prescott Joule met en évidence que le travail mécanique est transformé en chaleur, en utilisant au point un dispositif particulier. Il utilise la chute d'une masse pour faire tourner une roue à aubes, plongée dans un récipient rempli d'eau. À l'aide d'un thermomètre de précision, James Prescott Joule mesure alors l'élévation de température de l'eau. Il constate une relation entre la hauteur de la chute de la masse, donc le travail mécanique, et l'élévation de température. Il met ainsi en évidence que le travail mécanique est transformé en chaleur. Le nom de Joule est donné à l'unité de mesure de travail mécanique, de quantité de chaleur et d'énergie du Système international d'unités.

# À TOUTE VAPEUR

Entre le XVIII<sup>e</sup> et le XIX<sup>e</sup> siècle, l'avènement de la machine à vapeur marque l'entrée dans la révolution industrielle. Elle permet de dépasser les limites propres à la force du vent ou de l'eau et surtout celles de l'énergie musculaire. La puissance des machines de Thomas Newcomen puis de James Watt favorise l'essor de l'industrie, à commencer par la mine, la métallurgie ou encore le textile. C'est avec elles que la mobilité s'accroît de façon décisive sur les mers et plus encore avec l'émergence des chemins de fer : c'est grâce à l'énergie de la vapeur que se développe le monde moderne.

Pourtant, avant de pouvoir concevoir une machine à vapeur, productrice d'énergie, il a fallu comprendre le principe de la pression atmosphérique. Les recherches accomplies en physique, dans la première moitié du XVII<sup>e</sup> siècle par Galilée, Evangelista Torricelli, Otto Von Guericke ou Blaise Pascal ont permis de déterminer le rôle de la chaleur dans les changements d'état de l'eau, à l'état liquide ou gazeux. Et c'est grâce à l'ingéniosité et à la détermination de Denis Papin que les inventeurs vont comprendre tout l'intérêt d'utiliser cette force née de l'eau.

## Full Steam Ahead

With the advent of the steam engine in the 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> centuries came a transformation of the industrial revolution. Now, energy could be produced in a scale far beyond the limitations of wind, water or muscle power. Thomas Newcomen and James Watt machines provided a formative new force that drove forward industry like mining, manufacturing and textiles. These powerful engines increased mobility across the oceans and even more dramatically over land, with the construction of the railways. Steam power opened up the modern world.

And yet before they could design and build a steam engine to produce energy, people had to understand the principle of atmospheric pressure. 17<sup>th</sup> century scientists like Galileo, Evangelista Torricelli, Otto Von Guericke and Blaise Pascal carried out precise experiments to identify how heat affects water in its liquid or gaseous states. Finally Denis Papin, with his ingenuity and determination, made inventors realize how they could exploit the power that lies dormant within water.

## Op volle kracht

De uitvinding van de stoommachine bracht de 18<sup>de</sup> en 19<sup>de</sup> eeuw in de ban van de industriële revolutie. Met deze machines kon men energie in grotere schaal vóór de menselijke en dierlijke kracht produceren. Dankzij de stoommachines van Thomas Newcomen en James Watt kon de industrie tot toen te beginnen met de mijnbouw, de textiel- en metaalindustrie. Tegelijkertijd werd de mobiliteit wereldwijd sterk verbeterd, niet alleen op zee en later ook aan land met de bouw van de spoorwegen. De stoomenergie stond aan de basis van de moderne wereld.

Maar om een stoommachine te kunnen ontwerpen, moesten men het principe van atmosferische druk begrijpen. Daar het onderzoek naar het gebied van de natuurkunde, dat in de 17<sup>de</sup> eeuw werd uitgevoerd door Galileo, Evangelista Torricelli, Otto von Guericke en Blaise Pascal, werd nu toegevoegd aan de kennis van de natuurkunde en de ontdekking van de veranderingen in de gaswetgeving. En het is te danken aan de uitvindingen en de vasthoudendheid van Denis Papin dat de uitvinders het belang realiseerden van deze kracht die in het water verborgen ligt.

Entre le XVIII<sup>e</sup> et le XIX<sup>e</sup> siècle, l'avènement de la machine à vapeur marque l'entrée dans la révolution industrielle. Elle permet de dépasser les limites propres à la force du vent ou de l'eau et surtout celles de l'énergie musculaire. La puissance des machines de Thomas Newcomen puis de James Watt favorise l'essor de l'industrie, à commencer par la mine, la métallurgie ou encore le textile. C'est avec elles que la mobilité s'accroît de façon décisive sur les mers et plus encore avec l'émergence des chemins de fer ; c'est grâce à l'énergie de la vapeur que se développe le monde moderne.

Pourtant, avant de pouvoir concevoir une machine à vapeur, productrice d'énergie, il a fallu comprendre le principe de la pression atmosphérique. Les recherches accomplies en physique, dans la première moitié du XVII<sup>e</sup> siècle par Galilée, Evangelista Torricelli, Otto Von Guericke ou Blaise Pascal ont permis de déterminer le rôle de la chaleur dans les changements d'état de l'eau, à l'état liquide ou gazeux. Et c'est grâce à l'ingéniosité et à la détermination de Denis Papin que les inventeurs vont comprendre tout l'intérêt d'utiliser cette force née de l'eau.



**Un savant visionnaire**

Également appelé Héron, Héron d'Alexandrie est mathématicien et mécanicien, au sens étymologique du mot grec mēkhanē ou machine. Il est l'un des inventeurs les plus féconds du monde antique. Héron d'Alexandrie reste pourtant peu connu jusqu'en 1896 avec la découverte à Constantinople de l'une de ses œuvres « Les Métriques ».

Héron met en pratique ses connaissances de la géométrie et de la physique basées sur les travaux d'Euclide et Archimède dans les domaines de l'architecture et de l'optique. On lui attribue également des formules mathématiques pour le calcul de l'aire d'un triangle, ainsi que de nombreux instruments de mesure, de machines et d'appareils automatiques. Il invente notamment une fontaine pour faire jaillir de l'eau grâce à des vases communicants, des mécanismes pour le théâtre avec des poids et contrepoids et même un système qui permettait d'ouvrir les portes d'un temple en allumant un feu sur un autel.

Sept ouvrages ont été retrouvés. D'un d'eux, les Pneumatiques, sur la pression de l'air et la vapeur d'eau va stupéfier les chercheurs du XIX<sup>e</sup> qui découvriront que dès l'Antiquité Héron d'Alexandrie a fait fonctionner une machine à vapeur : l'éolipyle.

**L'éolipyle**

La machine inventée par Héron d'Alexandrie se constitue d'une sphère contenant de l'eau et équipée de deux tubes diamétralement opposés. L'eau est chauffée jusqu'à sa transformation en vapeur qui s'échappe alors par les tubes, faisant tourner la sphère. Il s'agit du premier exemple connu de l'emploi de la vapeur comme force motrice.

Détailée et reconstituée, en 1978, par John Landels qui montre que la vapeur permet de créer un couple de forces qui fait tourner la sphère à une vitesse d'environ 1500 tours par minute. Mais la perte de chaleur est importante et pour fonctionner en continu, il faudrait plusieurs centaines de kilogrammes de bois par heure.



Reconstitution de la machine à vapeur d'Héron d'Alexandrie, basée sur les descriptions de l'Antiquité. (Source : Landels, 1978)

## Héron d'Alexandrie - (1<sup>er</sup> siècle ap. J.-C.) Grèce

### Un savant visionnaire

Également appelé l'Ancien, Héron d'Alexandrie est mathématicien et mécanicien, au sens étymologique du mot grec mēkhanē ou machine. Il est l'un des inventeurs les plus féconds du monde antique. Héron d'Alexandrie reste pourtant peu connu jusqu'en 1896 avec la découverte à Constantinople de l'une de ses œuvres « Les Métriques ». Héron met en pratique ses connaissances de la géométrie et de la physique basées sur les travaux d'Euclide et Archimède dans les domaines de l'architecture et de l'optique. On lui attribue également des formules mathématiques pour le calcul de l'aire d'un triangle, ainsi que de nombreux instruments de mesure, de machines et d'appareils automatiques. Il invente notamment une fontaine pour faire jaillir de l'eau grâce à des vases communicants, des mécanismes pour le théâtre avec des poids et contrepoids et même un système qui permettait d'ouvrir les portes d'un temple en allumant un feu sur un autel. Sept ouvrages ont été retrouvés. L'un d'eux, les Pneumatiques, sur la pression de l'air et la vapeur d'eau va stupéfier les chercheurs du XIX<sup>e</sup> qui découvrent que dès l'Antiquité Héron d'Alexandrie a fait fonctionner une machine à vapeur : l'éolipyle.

### L'éolipyle

La machine inventée par Héron d'Alexandrie se constitue d'une sphère contenant de l'eau et équipée de deux tubes diamétralement opposés. L'eau est chauffée jusqu'à sa transformation en vapeur qui s'échappe alors par les tubes, faisant tourner la sphère. Il s'agit du premier exemple connu de l'emploi de la vapeur comme force motrice. L'éolipyle est reconstituée, en 1978, par John Landels qui montre que la vapeur permet de créer un couple de forces qui fait tourner la sphère à une vitesse d'environ 1500 tours par minute. Mais la perte de chaleur est importante et pour fonctionner en continu, il faudrait plusieurs centaines de kilogrammes de bois par heure.



## Denis Papin - (1647 – 1712) France

### Un précurseur incompris

Fils d'un médecin protestant, Denis Papin poursuit une scolarité à l'École des jésuites puis obtient en 1669 son diplôme de médecin à Angers. Pourtant, c'est la physique qui le passionne ; il devient en effet assistant de savant hollandais Christian Huygens, directeur de l'Académie des sciences de Paris, auprès duquel il mène des expériences sur le vide. En 1673, il publie son premier mémoire : Les nouvelles expériences sur le vide avec la description des machines qui servent à le faire. Mais c'est hors de France que Denis Papin va poursuivre sa carrière. À Londres, d'abord, à partir de 1675, il travaille aux côtés de Robert Boyle sur les propriétés de l'air et de nouvelles méthodes d'élevation de l'eau. C'est là qu'il met au point la machine qui va faire sa renommée : le digesteur ou marmite, une sorte de chaudière à haute pression, l'ancêtre de l'autocuiseur. Nommé membre de la Royal Society de Londres en 1680, Denis Papin séjourne à Venise mais aussi en Allemagne où il s'installe en 1688 comme professeur de mathématiques. Cherchant à perfectionner la machine de Christian Huygens, il a l'idée d'employer la vapeur d'eau pour faire le vide dans la pompe. En 1690, il met alors au point le premier cylindre piston à vapeur. Dans les Actes de Leipzig publiés la même année, il propose cette machine ayant pour principe moteur la force élastique de la vapeur sous le titre « Nouvelle méthode pour obtenir à bas prix des forces motrices considérables ». Pourtant, aucun scientifique de l'époque ne croit en cette idée. Durant quinze ans, il travaille sur un sous-marin et crée de nombreuses machines pneumatiques. Mais ses détracteurs sont nombreux et l'obligent à fuir le pays pour retourner à Londres. Il tente alors de reprendre ses recherches mais ne reçoit pas l'appui de la communauté scientifique et termine sa vie ruiné.

#### Un précurseur incompris

Fils d'un médecin protestant, Denis Papin poursuit une scolarité à l'École des jésuites puis obtient en 1669 son diplôme de médecin à Angers. Pourtant, c'est la physique qui le passionne ; il devient en effet assistant de savant hollandais Christian Huygens, directeur de l'Académie des sciences de Paris, auprès duquel il mène des expériences sur le vide. En 1673, il publie son premier mémoire : Les nouvelles expériences sur le vide avec la description des machines qui servent à le faire.

Mais c'est hors de France que Denis Papin va poursuivre sa carrière. À Londres, d'abord, à partir de 1675, il travaille aux côtés de Robert Boyle sur les propriétés de l'air et de nouvelles méthodes d'élevation de l'eau. C'est là qu'il met au point la machine qui va faire sa renommée : le digesteur ou marmite, une sorte de chaudière à haute pression, l'ancêtre de l'autocuiseur.

Nommé membre de la Royal Society de Londres en 1680, Denis Papin séjourne à Venise mais aussi en Allemagne où il s'installe en 1688 comme professeur de mathématiques. Cherchant à perfectionner la machine de Christian Huygens, il a l'idée d'employer la vapeur d'eau pour faire le vide dans la pompe. En 1690, il met alors au point le premier cylindre piston à vapeur. Dans les Actes de Leipzig publiés la même année, il propose cette machine ayant pour principe moteur la force élastique de la vapeur sous le titre « Nouvelle méthode pour obtenir à bas prix des forces motrices considérables ». Pourtant, aucun scientifique de l'époque ne croit en cette idée. Durant quinze ans, il travaille sur un sous-marin et crée de nombreuses machines pneumatiques.

Mais ses détracteurs sont nombreux et l'obligent à fuir le pays pour retourner à Londres. Il tente alors de reprendre ses recherches mais ne reçoit pas l'appui de la communauté scientifique et termine sa vie ruiné.

#### L'application de l'élasticité de la vapeur



À l'époque de Denis Papin, les recherches se concentrent sur le fonctionnement d'une machine capable de mettre en mouvement un piston dans un cylindre, sous l'effet de la pression atmosphérique. Pour cela, on utilise la poudre, car son explosion consomme l'oxygène à l'intérieur du cylindre, créant un vide qui tire le piston vers le bas. Mais le vide ainsi créé, n'est que partiel et la force obtenue insuffisante.

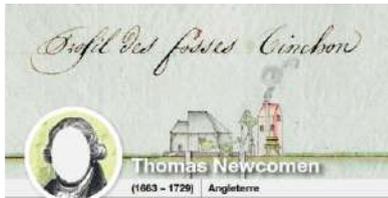
L'idée de Denis Papin est de créer un vide total en utilisant deux états de l'eau : liquide et gazeux (vapeur). En effet, sous l'effet de la chaleur, les molécules d'eau s'éloignent progressivement ainsi qu'il s'explique à l'état de vapeur. À l'inverse un refroidissement rapproche les molécules. C'est le principe même de l'élasticité qui peut être étiré et reprendre sa dimension initiale. Ce principe utilisé dans le cylindre fermé permet de pousser le piston lors de la création de vapeur et de le tirer lors de son refroidissement. La force obtenue est plus importante qu'avec l'explosion de la poudre.

Cette idée devait permettre de réaliser un moteur universel, pourtant les scientifiques de l'époque ne croient pas en l'invention de Denis Papin. Il faut attendre Thomas Newcomen et James Watt pour la voir appliquée.

8

### L'application de l'élasticité de la vapeur

À l'époque de Denis Papin, les recherches se concentrent sur le fonctionnement d'une machine capable de mettre en mouvement un piston dans un cylindre, sous l'effet de la pression atmosphérique. Pour cela, on utilise la poudre, car son explosion consomme l'oxygène à l'intérieur du cylindre, créant un vide qui tire le piston vers le bas. Mais le vide ainsi créé, n'est que partiel et la force obtenue insuffisante. L'idée de Denis Papin est de créer un vide total en utilisant deux états de l'eau : liquide et gazeux (vapeur). En effet, sous l'effet de la chaleur, les molécules d'eau s'éloignent prenant ainsi plus d'espace à l'état de vapeur. À l'inverse un refroidissement rapproche les molécules. C'est le principe même de l'élasticité qui peut être étiré et reprendre sa dimension initiale. Ce principe utilisé dans le cylindre fermé permet de pousser le piston lors de la création de vapeur et de le tirer lors de son refroidissement. La force obtenue est plus importante qu'avec l'explosion de la poudre. Cette idée devait permettre de réaliser un moteur universel, pourtant les scientifiques de l'époque ne croient pas en l'invention de Denis Papin. Il faut attendre Thomas Newcomen et James Watt pour la voir appliquée.



## Thomas Newcomen - (1663 – 1729) Angleterre

### L'autodidacte ingénieux

Thomas Newcomen n'est ni physicien, ni ingénieur mais artisan serrurier, et c'est sans doute pour cela que peu d'éléments, tel que son portrait, nous sont parvenus sur cet homme dont l'invention est si importante dans l'histoire des sciences. Louis Figuier dans *Les Merveilles de la Science* en 1867, raconte que Thomas Newcomen admire avec son ami vitrier, Jean Cawley, une machine à vapeur de Thomas Savery, installée près de chez eux et réfléchit à son fonctionnement. Par l'intermédiaire du physicien Robert Hooke, il découvre les travaux de Denis Papin et notamment la machine atmosphérique décrite en 1690 dans les Actes de Leipzig. Les deux artisans décident de construire un modèle de la machine de Papin en apportant une modification importante afin de créer subitement le vide dans le cylindre : ils condensent la vapeur par des affusions d'eau froide opérées à l'extérieur. Obligés de s'associer à Thomas Savery, propriétaire du brevet de ce procédé de condensation, ils obtiennent en 1705 une patente royale pour la construction et l'installation d'une machine à vapeur. Thomas Newcomen doit cependant attendre jusqu'en 1712 pour construire sa première machine à Dudley Castle. Très vite, la machine de Newcomen, qui permet de pomper les eaux dans les puits de mine, se répand en Angleterre et est adoptée dans presque toutes les exploitations minières. En 1732, l'une d'entre elles sera installée dans le tout jeune bassin minier du Nord à Fresnes-sur-Escaut.

#### L'autodidacte ingénieux

Thomas Newcomen n'est ni physicien, ni ingénieur mais artisan serrurier, et c'est sans doute pour cela que peu d'éléments, tel que son portrait, nous sont parvenus sur cet homme dont l'invention est si importante dans l'histoire des sciences. Louis Figuier dans *Les Merveilles de la Science* en 1867, raconte que Thomas Newcomen admire avec son ami vitrier, Jean Cawley, une machine à vapeur de Thomas Savery, installée près de chez eux et réfléchit à son fonctionnement.

Par l'intermédiaire du physicien Robert Hooke, il découvre les travaux de Denis Papin et notamment la machine atmosphérique décrite en 1690 dans les Actes de Leipzig. Les deux artisans décident de construire un modèle de la machine de Papin en apportant une modification importante afin de créer subitement le vide dans le cylindre : ils condensent la vapeur par des affusions d'eau froide opérées à l'extérieur. Obligés de s'associer à Thomas Savery, propriétaire du brevet de ce procédé de condensation, ils obtiennent en 1705 une patente royale pour la construction et l'installation d'une machine à vapeur.

Thomas Newcomen doit cependant attendre jusqu'en 1712 pour construire sa première machine à Dudley Castle. Très vite, la machine de Newcomen, qui permet de pomper les eaux dans les puits de mine, se répand en Angleterre et est adoptée dans presque toutes les exploitations minières. En 1732, l'une d'entre elles sera installée dans le tout jeune bassin minier du Nord à Fresnes-sur-Escaut.

#### La machine atmosphérique

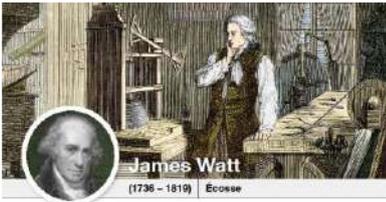
La machine à vapeur de Thomas Newcomen est construite sur le modèle imaginé par Denis Papin utilisant le principe de l'élasticité de la vapeur. Thomas Newcomen et Jean Cawley y apportent une modification importante : quand le piston est parvenu en bout de course, on condense subitement la vapeur en faisant couler de l'eau froide sur la partie extérieure du cylindre.

Une seconde modification leur permet d'augmenter encore la puissance de la machine : l'eau froide est injectée directement à l'intérieur même du cylindre à l'aide d'un tube se terminant en pomme d'arrosoir. Grâce à ce perfectionnement, la machine peut donner huit à dix coups de piston par minute.

### La machine atmosphérique

La machine à vapeur de Thomas Newcomen est construite sur le modèle imaginé par Denis Papin utilisant le principe de l'élasticité de la vapeur. Thomas Newcomen et Jean Cawley y apportent une modification importante : quand le piston est parvenu en bout de course, on condense subitement la vapeur en faisant couler de l'eau froide sur la partie extérieure du cylindre. Une seconde modification leur permet d'augmenter encore la puissance de la machine : l'eau froide est injectée directement à l'intérieur même du cylindre à l'aide d'un tube se terminant en pomme d'arrosoir. Grâce à ce perfectionnement, la machine peut donner huit à dix coups de piston par minute.

## James Watt - (1736 – 1819) Ecosse



### La figure de la révolution industrielle

Faible, James Watt découvre les principes de la mécanique dans le magasin familial de vente et de réparations de bateaux et d'instruments nautiques. Apprenti chez un fabricant d'instruments scientifiques à Londres, il trouve en 1757 un emploi à l'université de Glasgow pour l'entretien des instruments scientifiques. C'est là qu'il rencontre Joseph Black qui lui enseigne la physique. Sa maîtrise des matériaux et ses aptitudes aux sciences font l'unanimité autour de lui.

En 1769, en réparant une maquette de la machine de Newcomen, James Watt repère plusieurs défauts : la déperdition d'une partie de la vapeur et le vide toujours imparfait. En 1769, il y remédie en inventant le condenseur et obtient un brevet pour sa machine à vapeur. Mais des problèmes financiers l'obligent à mener d'autres activités et ce n'est qu'en 1774, avec l'aide de Matthew Boulton, industriel de Birmingham, qu'il lance la fabrication de sa machine qui est rapidement adoptée par de nombreuses mines de Cornouailles puis des comtés anglais. James Watt apporte une seconde avancée majeure à cette technologie en créant en 1783 le système de machine à double effet. Le nom de Watt est aujourd'hui associé à l'unité de puissance dans le système international.

### L'invention du condenseur

Le défaut majeur de la machine de Newcomen consiste dans la nécessité de refroidir et de réchauffer alternativement le cylindre pour opérer la condensation de la vapeur. James Watt met au point une innovation majeure pour résoudre ce problème : un condenseur isolé du cylindre.



En effet, il propose de condenser la vapeur dans un vase isolé appelé le cylindre et ne communiquant avec lui que par un tube. Ainsi la condensation peut s'opérer sans que jamais le cylindre ne soit refroidi. Le condenseur permet de réaliser une économie d'énergie et donc de combustible.

James Watt veut aller encore plus loin et créer enfin le moteur universel. Le problème des machines précédentes est l'interruption du mouvement de la vapeur sur les deux faces du piston. Il veut plus simplement d'entraîner que le cylindre se remplisse de vapeur pour

engendrer un mouvement continu. C'est une machine à double effet. Elle est constituée de trois parties : un condenseur isolé, un cylindre muni d'un piston et un récipient. L'ensemble fonctionne sur la base d'un système d'ouverture et de fermeture de clapets qui fait circuler la vapeur d'eau entre les trois éléments.

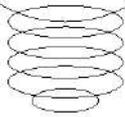
### La figure de la révolution industrielle

Enfant, James Watt découvre les principes de la mécanique dans le magasin familial de vente et de réparations de bateaux et d'instruments nautiques. Apprenti chez un fabricant d'instruments scientifiques à Londres, il trouve en 1757 un emploi à l'université de Glasgow pour l'entretien des instruments scientifiques. C'est là qu'il rencontre Joseph Black qui lui enseigne la physique. Sa maîtrise des matériaux et ses aptitudes aux sciences font l'unanimité autour de lui. En 1763, en réparant une maquette de la machine de Newcomen, James Watt repère plusieurs défauts : la déperdition d'une partie de la vapeur et le vide toujours imparfait. En 1769, il y remédie en inventant le condenseur et obtient un brevet pour sa machine à vapeur. Mais des problèmes financiers l'obligent à mener d'autres activités et ce n'est qu'en 1774, avec l'aide de Matthew Boulton, industriel de Birmingham, qu'il lance la fabrication de sa machine qui en quelques années est adoptée par de nombreuses mines de Cornouailles puis des comtés anglais. James Watt apporte une seconde avancée majeure à cette technologie en créant en 1783 le système de machine à double effet. Le nom de Watt est aujourd'hui associé à l'unité de puissance dans le système international.

### L'invention du condenseur

Le défaut majeur de la machine de Newcomen consiste dans la nécessité de refroidir et de réchauffer alternativement le cylindre pour y opérer la condensation de la vapeur. James Watt met au point une innovation majeure pour résoudre ce problème : un condenseur isolé du cylindre. En effet, il propose de condenser la vapeur dans un vase isolé séparé du cylindre et ne communiquant avec lui que par un tube. Ainsi la condensation peut s'opérer sans que jamais le cylindre ne soit refroidi. Le condenseur permet de réaliser une économie d'énergie et donc de combustible. James Watt veut aller encore plus loin et créer enfin le moteur universel. Le problème des machines précédentes est l'interruption du mouvement du piston. En envoyant alternativement de la vapeur sur les deux faces du piston, il n'est plus nécessaire d'attendre que le cylindre se remplisse de vapeur pour engendrer un mouvement continu. C'est une machine à double effet. Elle est constituée de trois parties : un condenseur isolé, un cylindre muni d'un piston et un récipient. L'ensemble fonctionne sur la base d'un système d'ouverture et de fermeture de clapets qui fait circuler la vapeur d'eau entre les trois éléments.

# LA RÉVOLUTION ÉLECTRICITÉ



À l'Exposition universelle de Paris, en 1900, l'électricité est à l'honneur. Depuis elle est omniprésente dans nos sociétés ; elle est l'énergie du quotidien et de l'industrie, pour s'éclairer, se chauffer, se déplacer, communiquer... L'histoire de l'électricité prend ses sources dans l'Antiquité : les Grecs ont en effet découvert les propriétés attractives de l'ambre jaune, point de départ des travaux de William Gilbert à la fin du XVI<sup>e</sup> siècle. Ce médecin anglais découvre l'électricité et le magnétisme, deux phénomènes qui, étudiés pendant longtemps séparément, vont bouleverser nos sociétés et permettre la seconde révolution industrielle.

L'aventure de l'électricité se fait pas à pas principalement au cours des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles. Comme souvent dans le domaine scientifique, les découvertes et les inventions sont le fruit du hasard, d'erreurs mais aussi d'intuitions formidables. Il a d'abord fallu comprendre que l'électricité était une force, puisque'il était possible de la transporter, avant de réussir à la produire en continu, grâce notamment aux piles. Le défi a ensuite été de la produire pour tous.

Si certains de ces « électriciens » – Ampère, Volta – sont entrés dans notre vocabulaire quotidien, d'autres sont moins connus, comme Nikola Tesla ou Zénobe Gramme alors qu'ils ont pourtant contribué à la démocratisation de l'électricité.

## The Electric Revolution

In 1900, "The Electric Fairy" was a dazzling novelty at the Paris World's Fair (but since then it has become part of our everyday lives, our transport and entertainment). It powers our industries, our lights, our heating, our telephones, our communications, and more besides. The history of electricity reaches back to ancient times. The Greeks already knew about the attractive qualities of yellow amber, which were William Gilbert's starting point for his investigations at the end of the 16th century. The English physician discovered electricity and magnetism, two phenomena that were for a long time studied separately and which in due course are considered to dramatically transform our societies and pave the way for the second industrial revolution. The most striking advances in the story of electricity took place during the 18th and 19th centuries. As so often in the field of science, major discoveries and inventions came about through chance and error but also as a result of astonishing intuition. The first choice of this puzzle was to understand that electricity is a force. Then came the crucial invention of the battery. The next challenge was to make it available to everyone.

Some of these scientists have become part of our daily vocabulary – Ampère and Volta, to name but two – while many others, such as Tesla, Zénobe Gramme, and Nikola Tesla, are less well-known but also contributed enormously to the democratisation of electricity.

## De elektrische revolutie

Op de wereldtentoonstelling van 1900 in Parijs staat de "Elektrische Fee" in de schijnwerpers. Elektriciteit is alomtegenwoordig in onze maatschappij, het is de energie van ons dagelijks leven en van de industrie: het licht voor onze verlichting en verwarming, ons vervoer en recreatie en de communicatie... De geschiedenis van de elektriciteit begint in de oudheid op Griekenland met de aantrekkingskrachten van geel amber. Dit is het startpunt voor de onderzoeken van William Gilbert aan het einde van de 16e eeuw. Deze Engelse arts ontdekt elektriciteit en magnetisme, twee verschijnselen die voor een lange tijd apart werden bestudeerd en die uiteindelijk onze maatschappij en de tweede industriële revolutie mogelijk maken.

Vooral in de 18e en 19e eeuw worden het onderzoek naar elektriciteit stapje voor stapje. Zoals steeds in de wetenschap zijn ontdekkingen en uitvindingen het resultaat van toeval en fouten, maar ook van geniale intuïties. Het eerste was te begrijpen dat elektriciteit een kracht is, vervolgens moest men erin slagen om elektriciteit te produceren. Daarna moest elektriciteit over te brengen, eerst voor korte afstanden, maar vooral mogelijk werd door de batterijen. Het volgende was het een grote uitdaging om elektriciteit beschikbaar te maken voor iedereen.

Sommige van deze "elektriciërs" – Ampère, Volta – zijn onderdeel geworden van onze dagelijkse vocabulaire, maar andere zijn minder bekend. Zoals Tesla of Zénobe Gramme, die echter ook grote bijdragen hebben geleverd aan het toegankelijk maken van elektriciteit voor het grote publiek.

À l'Exposition universelle de Paris, en 1900, l'électricité est à l'honneur. Depuis elle est omniprésente dans nos sociétés ; elle est l'énergie du quotidien et de l'industrie, pour s'éclairer, se chauffer, se déplacer, communiquer... L'histoire de l'électricité prend ses sources dans l'Antiquité : les Grecs ont en effet découvert les propriétés attractives de l'ambre jaune, point de départ des travaux de William Gilbert à la fin du XVI<sup>e</sup> siècle. Ce médecin anglais découvre l'électricité et le magnétisme, deux phénomènes qui, étudiés pendant longtemps séparément, vont bouleverser nos sociétés et permettre la seconde révolution industrielle. L'aventure de l'électricité se fait pas à pas principalement au cours des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles. Comme souvent dans le domaine scientifique, les découvertes et les inventions sont le fruit du hasard, d'erreurs mais aussi d'intuitions formidables. Il a d'abord fallu comprendre que l'électricité était une force, puisqu'il était possible de la transporter, avant de réussir à la produire en continu, grâce notamment aux piles. Le défi a ensuite été de la produire pour tous.

Si certains de ces « électriciens » – Ampère, Volta – sont entrés dans notre vocabulaire quotidien, d'autres sont moins connus, comme Nikola Tesla ou Zénobe Gramme alors qu'ils ont pourtant contribué à la démocratisation de l'électricité.



**Le premier électricien**

Issu d'une famille aisée de tradition marchande, William Gilbert entre au Saint John's College à Cambridge. Il étudie la médecine qui comprend également des cours de mathématiques, de physique et de philosophie. En 1570, il ouvre un cabinet à Londres et se crée rapidement une clientèle dans l'aristocratie. Il est élu membre du Royal College of Physicians en 1573. William Gilbert refuse les méthodes d'enseignement de l'université. Il entame des recherches en autodidacte et s'intéresse aux propriétés de l'aimant ; il met alors au point des méthodes rigoureuses basées sur l'expérimentation, approche très moderne pour l'époque. En 1600, il publie son ouvrage en six volumes « De Magnete, Magneticisque Corporibus et de Magno Magnete Tellure » (Du magnétisme, des corps magnétiques et du Grand Aimant qu'est la Terre) dans lequel il présente ses découvertes sur les propriétés attractives de l'ambre jaune frotté et de l'aimant. En effet, l'ambre jaune est une résine fossilisée capable d'attirer de petits objets tels des bouts de ficelle ou des morceaux de papier. Il invente alors le mot « électrique » issu du grec êlektron signifiant ambre jaune. Sa renommée est telle qu'il devient le médecin personnel de la reine Élisabeth I en 1601. Pour ses travaux, William Gilbert est donc considéré comme le premier « électricien ».

**L'invention du mot électrique**

William Gilbert constate que l'ambre jaune n'est pas le seul corps capable d'attirer de petites particules après avoir été frotté et entreprend d'en dresser la liste. Pour cela, il utilise un petit objet très sensible qu'il nomme versorium, constitué d'une aiguille métallique, comme le cuivre, posée sur un pivot. Cet objet lui permet de détecter un pouvoir attractif de faible intensité. L'aiguille du versorium, équivalent de notre électroscope actuel, est attirée quand on approche un corps « électrique » tel que l'ambre ou le verre frotté. Il dresse ainsi une liste de plus de vingt corps possédant la propriété qu'il nomme « électrique ». Parmi ces corps, on peut citer le diamant, le verre ou encore le soufre.

William Gilbert, De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure, 1600

**William Gilbert - (1544 – 1603) Angleterre**

**Le premier électricien**

Issu d'une famille aisée de tradition marchande, William Gilbert entre au Saint John's College à Cambridge. Il étudie la médecine qui comprend également des cours de mathématiques, de physique et de philosophie. En 1570, il ouvre un cabinet à Londres et se crée rapidement une clientèle dans l'aristocratie. Il est élu membre du Royal College of Physicians en 1573. William Gilbert refuse les méthodes d'enseignement de l'université. Il entame des recherches en autodidacte et s'intéresse aux propriétés de l'aimant ; il met alors au point des méthodes rigoureuses basées sur l'expérimentation, approche très moderne pour l'époque. En 1600, il publie son ouvrage en six volumes « De Magnete, Magneticisque Corporibus et de Magno Magnete Tellure » (Du magnétisme, des corps magnétiques et du Grand Aimant qu'est la Terre) dans lequel il présente ses découvertes sur les propriétés attractives de l'ambre jaune frotté et de l'aimant. En effet, l'ambre jaune est une résine fossilisée capable d'attirer de petits objets tels des bouts de ficelle ou des morceaux de papier. Il invente alors le mot « électrique » issu du grec êlektron signifiant ambre jaune. Sa renommée est telle qu'il devient le médecin personnel de la reine Élisabeth I en 1601. Pour ses travaux, William Gilbert est donc considéré comme le premier « électricien ».

**L'invention du mot électrique**

William Gilbert constate que l'ambre jaune n'est pas le seul corps capable d'attirer de petites particules après avoir été frotté et entreprend d'en dresser la liste. Pour cela, il utilise un petit objet très sensible qu'il nomme versorium, constitué d'une aiguille métallique, comme le cuivre, posée sur un pivot. Cet objet lui permet de détecter un pouvoir attractif de faible intensité. L'aiguille du versorium, équivalent de notre électroscope actuel, est attirée quand on approche un corps « électrique » tel que l'ambre ou le verre frotté. Il dresse ainsi une liste de plus de vingt corps possédant la propriété qu'il nomme « électrique ». Parmi ces corps, on peut citer le diamant, le verre ou encore le soufre.



## Charles-François Dufay - (1698 – 1739) France

### Un chercheur méthodique

Charles-François Dufay est né dans une famille de la haute noblesse militaire. Enfant, il cultive son goût pour les sciences grâce à la bibliothèque de son père. Dès l'âge de 14 ans, il entre au régiment de Picardie comme lieutenant et participe à la guerre de Succession d'Espagne. En 1723, il rejoint l'Académie royale des sciences comme adjoint-chimiste grâce au soutien du cardinal de Rohan. Il en devient directeur à 35 ans. Charles-François Dufay s'intéresse à des domaines variés : la phosphorescence, l'optique ou le magnétisme ; son activité intense lui vaut d'ailleurs d'être nommé intendant des jardins du roi en 1732, précédant dans cette charge le naturaliste Georges-Louis Leclerc de Buffon. La découverte des travaux de Stephen Gray sur l'électricité le pousse à explorer ce domaine. Grâce à sa méthode rigoureuse, qui n'aura d'équivalence qu'un siècle plus tard avec Lavoisier en chimie, Charles-François Dufay reprend et explicite les travaux de Gray sur la conduction électrique. On lui doit également en 1733 la découverte des deux types d'électrisation « résineuse » pour les corps qui se chargent en électricité de la même manière que l'ambre et « vitreuse » pour ceux qui réagissent comme le verre. Charles-François Dufay établit la loi de l'attraction et de la répulsion électrique selon laquelle deux corps chargés d'électricité de même nature se repoussent, quand deux corps chargés d'électricité de nature différente s'attirent.

#### Un chercheur méthodique

Charles-François Dufay est né dans une famille de la haute noblesse militaire. Enfant, il cultive son goût pour les sciences grâce à la bibliothèque de son père. Dès l'âge de 14 ans, il entre au régiment de Picardie comme lieutenant et participe à la guerre de Succession d'Espagne. En 1723, il rejoint l'Académie royale des sciences comme adjoint-chimiste grâce au soutien du cardinal de Rohan. Il en devient directeur à 35 ans.

Charles-François Dufay s'intéresse à des domaines variés : la phosphorescence, l'optique ou le magnétisme ; son activité intense lui vaut d'ailleurs d'être nommé intendant des jardins du roi en 1732, précédant dans cette charge le naturaliste Georges-Louis Leclerc de Buffon. La découverte des travaux de Stephen Gray sur l'électricité le pousse à explorer ce domaine.

Grâce à sa méthode rigoureuse, qui n'aura d'équivalence qu'un siècle plus tard avec Lavoisier en chimie, Charles-François Dufay reprend et explicite les travaux de Gray sur la conduction électrique. On lui doit également en 1733 la découverte des deux types d'électrisation « résineuse » pour les corps qui se chargent en électricité de la même manière que l'ambre et « vitreuse » pour ceux qui réagissent comme le verre. Charles-François Dufay établit la loi de l'attraction et de la répulsion électrique selon laquelle deux corps chargés d'électricité de même nature se repoussent, quand deux corps chargés d'électricité de nature différente s'attirent.

#### Découverte de la conduction électrique



Charles-François Dufay reprend de manière rigoureuse les travaux de Stephen Gray sur la transmission de la « vertu électrique », terme utilisé à l'époque pour désigner le courant électrique. Il établit un premier classement des corps pouvant être ou ne pas être électrisés par frottement comme le verre ou l'ambre. Il constate que tous les corps peuvent être électrisés sauf les métaux, qu'il nomme les corps non-électriques. Les corps, comme le verre, pouvant être électrisés sont classés en corps électriques.

Stephen Gray avait constaté que le courant électrique pouvait être transmis d'un corps à un autre et avait tenté à lui faire parcourir plus de 300 mètres. Par expérimentation, Charles-François Dufay conclut que les corps non-électriques sont les plus aptes à conduire l'électricité ; il vient de découvrir les matériaux conducteurs et les isolants. Suite à ces découvertes, il est maintenant possible de transporter l'électricité, il ne reste plus qu'à la produire en grande quantité et de manière continue.

Illustration de la conduction de l'électricité réalisée par Stephen Gray, présentée aux membres de l'Académie des Sciences de Paris le 1733.

13

### Découverte de la conduction électrique

Charles-François Dufay reprend de manière rigoureuse les travaux de Stephen Gray sur la transmission de la « vertu électrique », terme utilisé à l'époque pour désigner le courant électrique. Il établit un premier classement des corps pouvant être ou ne pas être électrisés par frottement comme le verre ou l'ambre. Il constate que tous les corps peuvent être électrisés sauf les métaux, qu'il nomme les corps non-électriques. Les corps, comme le verre, pouvant être électrisés sont classés en corps électriques. Stephen Gray avait constaté que le courant électrique pouvait être transmis d'un corps à un autre et avait réussi à lui faire parcourir plus de 300 mètres. Par expérimentation, Charles-François Dufay conclut que les corps non-électriques sont les plus aptes à conduire l'électricité ; il vient de découvrir les matériaux conducteurs et les isolants. Suite à ces découvertes, il est maintenant possible de transporter l'électricité, il ne reste plus qu'à la produire en grande quantité et de manière continue.



**Un initiateur méconnu**

Issu d'une famille de fabricants d'instruments scientifiques, Pieter Van Musschenbroek développe un intérêt marqué pour les sciences. Après des études à l'université de Leyde, il devient docteur en médecine en 1715. Il exerce ce métier avant d'enseigner la philosophie, les mathématiques mais aussi la médecine dans les universités de Duisbourg, d'Utrecht et de Leyde. Il introduit en Hollande la philosophie d'Isaac Newton, qu'il a rencontré lors d'un voyage en Angleterre en 1713, sur la nature de la matière.

Pieter Van Musschenbroek installe à Leyde un laboratoire dans lequel il réalise de nombreuses observations sur l'électricité, le magnétisme ou le frottement des solides. Parallèlement au Français René-Antoine Ferchault de Réaumur, il essaye de mesurer directement la résistance de différents matériaux de bois, de pierres et de métaux. Ses travaux, dans ce domaine, auront une influence sur ceux de Charles-Augustin de Coulomb vingt ans plus tard.

Mais c'est grâce à l'expérience menée en novembre 1745 dans son laboratoire de Leyde qu'il va jouer un rôle important dans l'histoire de l'électricité : par hasard, il invente le premier condensateur.

Cette expérience commémorative des 150 ans différents scientifiques des sciences fait l'objet de nombreuses répliques un peu partout, allant même jusqu'à des démonstrations publiques. L'abbé Nollet la reproduit en France. On s'aperçoit que la décharge électrique, libérée par une bouteille de Leyde, est reçue simultanément par plusieurs personnes se tenant la main. Pourtant ce phénomène reste mystérieux jusqu'aux travaux de Benjamin Franklin.

**Bouteille de Leyde**

Il est déjà possible d'obtenir de manière instantanée de l'électricité en frottant des corps. Pour étudier plus facilement les phénomènes électriques, certains scientifiques ont inventé des appareils d'électricité pour conserver les charges plus longtemps. En 1746 dans la ville de Leyde, M. Cuneus, un des collaborateurs de Pieter Van Musschenbroek est terrassé en tentant de stocker l'électricité dans l'eau contenue dans une bouteille de verre.

En effet, pour électriser l'eau, Pieter Van Musschenbroek utilise une machine électrique comme celle inventée par Otto de Guericke en France Halobius au début du siècle. La machine constituée d'une sphère de verre mise en rotation libère des charges électriques quand elle est frottée. Les charges électriques sont conduites par le canon en fer, puis par le fil en laiton jusque dans l'eau. L'intérieur de la bouteille accumule une forte charge positive, alors qu'un manque de charge apparaît sur la surface extérieure de la bouteille. En touchant le canon en fer de sa main, Pieter Van Musschenbroek met en contact l'intérieur de la bouteille et l'extérieur, et rétablit ainsi l'équilibre des charges. Sans le savoir, il vient d'inventer le premier condensateur.

Les condensateurs sont toujours présents dans de nombreux appareils actuels sous la forme de petits composants électroniques.

**Pieter Van Musschenbroek - (1692 – 1761) Pays-Bas**

**Un initiateur méconnu**

Issu d'une famille de fabricants d'instruments scientifiques, Pieter Van Musschenbroek développe un intérêt marqué pour les sciences. Après des études à l'université de Leyde, il devient docteur en médecine en 1715. Il exerce ce métier avant d'enseigner la philosophie, les mathématiques mais aussi la médecine dans les universités de Duisbourg, d'Utrecht et de Leyde. Il introduit en Hollande la philosophie d'Isaac Newton, qu'il a rencontré lors d'un voyage en Angleterre en 1717, sur la nature de la matière. Pieter Van Musschenbroek installe à Leyde un laboratoire dans lequel il réalise de nombreuses observations sur l'électricité, le magnétisme ou le frottement des solides. Parallèlement au Français René-Antoine Ferchault de Réaumur, il essaye de mesurer directement la résistance de différentes essences de bois, de pierres et de métaux. Ses travaux, dans ce domaine, auront une influence sur ceux de Charles-Augustin de Coulomb vingt ans plus tard. Mais c'est grâce à l'expérience menée en novembre 1745 dans son laboratoire de Leyde qu'il va jouer un rôle important dans l'histoire de l'électricité : par hasard, il invente le premier condensateur. Cette expérience commémorative dès 1746 aux différentes académies des sciences fait l'objet de nombreuses répliques un peu partout, allant même jusqu'à des démonstrations publiques. L'abbé Nollet la reproduit en France. On s'aperçoit que la décharge électrique, libérée par une bouteille de Leyde, est reçue simultanément par plusieurs personnes se tenant la main. Pourtant ce phénomène reste mystérieux jusqu'aux travaux de Benjamin Franklin.

**Bouteille de Leyde**

Il est déjà possible d'obtenir de manière instantanée de l'électricité en frottant des corps. Pour étudier plus facilement les phénomènes électriques, certains scientifiques souhaitent disposer d'une réserve d'électricité pour conserver les charges plus longtemps. En 1746 dans la ville de Leyde, M. Cuneus, un des collaborateurs de Pieter Van Musschenbroek est terrassé en tentant de stocker l'électricité dans l'eau contenue dans une bouteille de verre. En effet, pour électriser l'eau, Pieter Van Musschenbroek utilise une machine électrique comme celles inventées par Otto de Guericke ou Francis Hauksbee au début du siècle. La machine constituée d'une sphère de verre mise en rotation libère des charges électriques quand elle est frottée. Les charges électriques sont conduites par le canon en fer, puis par le fil en laiton jusque dans l'eau. L'intérieur de la bouteille accumule une forte charge positive, alors qu'un manque de charge apparaît sur la surface extérieure de la bouteille. En touchant le canon en fer de sa main, Pieter Van Musschenbroek met en contact l'intérieur de la bouteille et l'extérieur, et rétablit ainsi l'équilibre des charges. Sans le savoir, il vient d'inventer le premier condensateur. Les condensateurs sont toujours présents dans de nombreux appareils actuels sous la forme de petits composants électroniques.



### Le père du paratonnerre

Benjamin Franklin est un météorologue, d'origine modeste, il ne poursuit pas d'études supérieures. Son père lui propose plusieurs métiers mais son goût pour les livres l'amène à travailler dans un premier temps dans la librairie de son frère avant de devenir imprimeur. Il devient également journaliste, rédacteur du journal « L'Almanach du bonhomme Richard » qu'il publie pendant vingt-cinq ans, établissant ainsi sa notoriété et lui procurant une certaine aisance financière. De 1743 à 1752, Benjamin Franklin s'adonne à la science. Ses recherches d'une grande diversité lui amènent une renommée internationale ; elles portent sur les tremblements de terre, les éclipses, la météorologie et les horloges. L'électricité l'intéresse particulièrement. En 1747, il fait émerger l'idée que l'électricité n'est pas créée ; c'est un fluide qui imprègne tous les corps et qui est capable de passer d'un corps à un autre. Il établit un nouveau vocabulaire : conducteur et non-conducteur, charges positives et négatives. S'intéressant au phénomène de la foudre, il conçoit en 1752 le paratonnerre. Benjamin Franklin est un humaniste et a toujours œuvré pour le bien de la communauté. Il fonde par exemple les premiers sapeurs-pompiers volontaires de Philadelphie et crée la première bibliothèque de prêt aux États-Unis. Parallèlement à ses travaux, il débute dès 1736 une immense carrière politique. Il participe à la rédaction de la Déclaration d'indépendance et en signe le texte, devenant ainsi l'un des pères fondateurs des États-Unis. Il occupe le poste d'ambassadeur en France, et en 1785, il participe à l'élaboration de la constitution américaine. À sa mort, l'Assemblée constituante française proclame un deuil officiel de trois jours.

De 1743 à 1752, Benjamin Franklin s'adonne à la science. Ses recherches d'une grande diversité lui amènent une renommée internationale ; elles portent sur les tremblements de terre, les éclipses, la météorologie et les horloges. L'électricité l'intéresse particulièrement. En 1747, il fait émerger l'idée que l'électricité n'est pas créée ; c'est un fluide qui imprègne tous les corps et qui est capable de passer d'un corps à un autre. Il établit un nouveau vocabulaire : conducteur et non-conducteur, charges positives et négatives. S'intéressant au phénomène de la foudre, il conçoit en 1752 le paratonnerre.

Benjamin Franklin est un humaniste et a toujours œuvré pour le bien de la communauté. Il fonde par exemple les premiers sapeurs-pompiers volontaires de Philadelphie et crée la première bibliothèque de prêt aux États-Unis.

Parallèlement à ses travaux, il débute dès 1736 une immense carrière politique. Il participe à la rédaction de la Déclaration d'indépendance et en signe le texte, devenant ainsi l'un des pères fondateurs des États-Unis. Il occupe le poste d'ambassadeur en France, et en 1785, il participe à l'élaboration de la constitution américaine. À sa mort, l'Assemblée constituante française proclame un deuil officiel de trois jours.

### Le paratonnerre

En reprenant les observations de Dufay, Benjamin Franklin est le premier à les interpréter en utilisant les notions de charges électriques positives et négatives. Certains corps peuvent se charger positivement et d'autres négativement. Il observe que lorsqu'un corps se décharge cela peut produire une étincelle : il fait alors le rapprochement avec la foudre. Par expérimentation, il déduit que, pendant un orage, les nuages accumulent des charges positives, alors que le sol est chargé négativement, se déchargeant brutalement sous la forme d'un éclair.

On avait déjà constaté qu'un objet pointu et conducteur était susceptible de décharger à distance un corps électrisé. Benjamin Franklin réalise la première application concrète de ces connaissances liées à l'électricité en inventant le paratonnerre, dont la fonction est de protéger les bâtiments lors des orages. Il a l'idée d'utiliser une tige en métal placée en haut d'un édifice, qui a une double fonction. Cette tige permet d'abord de décharger l'électricité accumulée dans les nuages avant qu'elle ne soit trop importante. Si la foudre vient néanmoins à tomber, elle est attirée par la pointe et la décharge est conduite jusqu'au sol par un fil conducteur.

## Benjamin Franklin - (1706 – 1790) États-Unis

### Le père du paratonnerre

Benjamin Franklin est un autodidacte ; d'origine modeste, il ne poursuit pas d'études supérieures. Son père lui propose plusieurs métiers mais son goût pour les livres l'amène à travailler dans un premier temps dans la librairie de son frère avant de devenir imprimeur. Il devient également journaliste, rédacteur du journal « L'Almanach du bonhomme Richard » qu'il publie pendant vingt-cinq ans, établissant ainsi sa notoriété et lui procurant une certaine aisance financière. De 1743 à 1752, Benjamin Franklin s'adonne à la science. Ses recherches d'une grande diversité lui amènent une renommée internationale ; elles portent sur les tremblements de terre, les éclipses, la météorologie et les horloges. L'électricité l'intéresse particulièrement. En 1747, il fait émerger l'idée que l'électricité n'est pas créée ; c'est un fluide qui imprègne tous les corps et qui est capable de passer d'un corps à un autre. Il établit un nouveau vocabulaire : conducteur et non-conducteur, charges positives et négatives. S'intéressant au phénomène de la foudre, il conçoit en 1752 le paratonnerre. Benjamin Franklin est un humaniste et a toujours œuvré pour le bien de la communauté. Il fonde par exemple les premiers sapeurs-pompiers volontaires de Philadelphie et crée la première bibliothèque de prêt aux États-Unis. Parallèlement à ses travaux, il débute dès 1736 une immense carrière politique. Il participe à la rédaction de la Déclaration d'indépendance et en signe le texte, devenant ainsi l'un des pères fondateurs des États-Unis. Il occupe le poste d'ambassadeur en France, et en 1785 il participe à l'élaboration de la constitution américaine. À sa mort, l'Assemblée constituante française proclame un deuil officiel de trois jours.

### Le paratonnerre

En reprenant les observations de Dufay, Benjamin Franklin est le premier à les interpréter en utilisant les notions de charges électriques positive et négative. Certains corps peuvent se charger positivement et d'autres négativement. Il observe que lorsqu'un corps se décharge cela peut produire une étincelle : il fait alors le rapprochement avec la foudre. Par expérimentation, il déduit que, pendant un orage, les nuages accumulent des charges positives, alors que le sol est chargé négativement, se déchargeant brutalement sous la forme d'un éclair. On avait déjà constaté qu'un objet pointu et conducteur était susceptible de décharger à distance un corps électrisé. Benjamin Franklin réalise la première application concrète de ces connaissances liées à l'électricité en inventant le paratonnerre, dont la fonction est de protéger les bâtiments lors des orages. Il a l'idée d'utiliser une tige en métal placée en haut d'un édifice, qui a une double fonction. Cette tige permet d'abord de décharger l'électricité accumulée dans les nuages avant qu'elle ne soit trop importante. Si la foudre vient néanmoins à tomber, elle est attirée par la pointe et la décharge est conduite jusqu'au sol par un fil conducteur.



## Alessandro Volta - (1745 – 1827) Italie

### L'inventeur de la pile

Issu d'une famille noble mais ruinée, Alessandro Volta poursuit des études brillantes au collège des Jésuites de Côme. Il refuse d'entrer dans les ordres, préférant se consacrer à la recherche en physique. Dès 1763, il entame une correspondance avec l'abbé Jean Nollet, professeur de physique expérimentale au collège de Navarre à Paris. Alessandro Volta va concentrer ses recherches sur l'électricité et critique l'hypothèse de Luigi Galvani sur celle d'origine animale. Il invente alors des appareils comme l'électrophore ou l'électroscope et imagine même un télégraphe électrique qui pourrait relier Côme à Milan. À partir de 1777, il voyage à travers l'Europe et rencontre de nombreux savants, notamment Joseph Priestley, Antoine de Lavoisier, Horace Bénédicte de Saussure, mais aussi Voltaire. En 1778, Alessandro Volta parvient à isoler le méthane, principal constituant du gaz naturel. Mais c'est bien évidemment pour son invention en 1800 de la pile dite voltaïque, qui produit pour la première fois un courant électrique continu, qu'Alessandro Volta passe à la postérité. Il occupe le poste de professeur de physique au collège royal de Côme mais aussi à l'université de Pavie. Il est élu en 1791 membre de la Royal Society de Londres qui lui décerne la médaille Copley. En 1809, Alessandro Volta cesse ses travaux scientifiques puis est nommé, en 1810, sénateur de Lombardie par Napoléon Bonaparte.

#### L'inventeur de la pile

Issu d'une famille noble mais ruinée, Alessandro Volta poursuit des études brillantes au collège des jésuites de Côme. Il refuse d'entrer dans les ordres, préférant se consacrer à la recherche en physique. Dès 1763, il entame une correspondance avec l'abbé Jean Nollet, professeur de physique expérimentale au collège de Navarre à Paris.

Alessandro Volta va concentrer ses recherches sur l'électricité et critique l'hypothèse de Luigi Galvani sur celle d'origine animale. Il invente alors des appareils comme l'électrophore ou l'électroscope et imagine même un télégraphe électrique qui pourrait relier Côme à Milan. À partir de 1777, il voyage à travers l'Europe et rencontre de nombreux savants, notamment Joseph Priestley, Antoine de Lavoisier, Horace Bénédicte de Saussure, mais aussi Voltaire.

En 1778, Alessandro Volta parvient à isoler le méthane, principal constituant du gaz naturel. Mais c'est bien évidemment pour son invention en 1800 de la pile dite voltaïque, qui produit pour la première fois un courant électrique continu, qu'Alessandro Volta passe à la postérité.

Il occupe le poste de professeur de physique au collège royal de Côme mais aussi à l'université de Pavie. Il est élu en 1791 membre de la Royal Society de Londres qui lui décerne la médaille Copley. En 1809, Alessandro Volta cesse ses travaux scientifiques puis est nommé, en 1810, sénateur de Lombardie par Napoléon Bonaparte.

#### La pile de Volta



Alessandro Volta base ses recherches sur une mauvaise interprétation d'une observation de Luigi Galvani. Ce savant italien observe que les muscles d'une grenouille morte depuis peu, se contractent lorsque l'on met en contact deux parties de l'animal avec des métaux. Alessandro Volta pense lui que l'électricité, responsable de la contraction, est produite par le contact entre deux métaux et non par le corps de l'animal. Il teste plusieurs couples de métaux plongés dans une eau salée ayant pour rôle de conduire le courant et se rend compte que l'électricité produite est importante lorsque deux métaux différents sont utilisés. Il détermine que le zinc et le cuivre constituent le couple de métaux le plus efficace. Pour amplifier la production d'électricité, il empile des couples de disques de cuivre et de zinc en les séparant par du tissu ou du carton imbibé d'eau salée.

La pile fonctionne, mais pas comme Alessandro Volta le pense. Ce n'est pas le contact entre le zinc et le cuivre qui produit un courant électrique, mais l'ensemble cuivre – eau salée – zinc. Plongé dans l'eau salée, le zinc repousse les électrons alors que le cuivre les attire. Un fil conducteur reliant les deux métaux permet aux électrons de circuler d'un métal et de produire un courant électrique. La pile de Volta est le premier objet capable de fournir de l'électricité en continu.

16

### La pile de Volta

Alessandro Volta base ses recherches sur une mauvaise interprétation d'une observation de Luigi Galvani. Ce savant italien observe que les muscles d'une grenouille morte depuis peu, se contractent lorsque l'on met en contact deux parties de l'animal avec des métaux. Alessandro Volta pense lui que l'électricité, responsable de la contraction, est produite par le contact entre deux métaux et non par le corps de l'animal. Il teste plusieurs couples de métaux plongés dans une eau salée ayant pour rôle de conduire le courant et se rend compte que l'électricité produite est importante lorsque deux métaux différents sont utilisés. Il détermine que le zinc et le cuivre constituent le couple de métaux le plus efficace. Pour amplifier la production d'électricité, il empile des couples de disques de cuivre et de zinc en les séparant par du tissu ou du carton imbibé d'eau salée. La pile fonctionne, mais pas comme Alessandro Volta le pense. Ce n'est pas le contact entre le zinc et le cuivre qui produit un courant électrique, mais l'ensemble cuivre – eau salée – zinc. Plongé dans l'eau salée, le zinc repousse les électrons alors que le cuivre les attire. Un fil conducteur reliant les deux métaux permet aux électrons de circuler du zinc au cuivre et de produire un courant électrique. La pile de Volta est le premier objet capable de fournir de l'électricité en continu.



#### Ingenieur et mathématicien

Après une formation à l'école du Génie de Mézières, où il reçoit un enseignement scientifique et technique de haut niveau, Charles-Augustin de Coulomb est nommé ingénieur du Corps Royal du Génie militaire en 1761. Parallèlement à sa carrière militaire et poussé par son goût pour les sciences, il suit les activités de l'Académie des sciences dans laquelle il est admis en 1773 comme correspondant, sur la base d'un important mémoire de mécanique appliquée. À partir de 1779, Charles-Augustin de Coulomb poursuit une série d'expériences sur les frottements. Entre 1773 et 1806, il présente à l'Institut trente-deux mémoires scientifiques, dont sept mémoires sur l'électricité et le magnétisme. Ce sont des questions de navigation qui l'ont orienté vers ces domaines. En 1775, il travaille sur la question de l'amélioration des boussoles. Les travaux de Charles-Augustin de Coulomb s'appliquent également à des questions techniques (calcul des voûtes pour les fortifications, moulins à vent, ...) et au calcul du travail humain. Ses recherches s'appuient sur une conviction partagée, à cette époque, par les membres de l'Académie des sciences de Paris : les lois de la nature sont simples et peuvent s'exprimer par des formules mathématiques.

En 1800, il est nommé inspecteur général de l'Instruction publique puis membre de la Légion d'honneur en 1804. C'est son nom qui est donné à l'unité de la charge électrique.

#### La loi de Coulomb



En 1775, à l'occasion d'un concours pour améliorer les boussoles, Charles-Augustin de Coulomb observe que l'on obtient une meilleure sensibilité des boussoles lorsque l'on suspend l'aiguille à un fil en supprimant ainsi les frottements sur l'axe : il fabrique un pendule à torsion. Il constate que ce dispositif peut être utilisé pour mesurer des forces magnétiques et électriques infimes entre deux corps chargés de même signe.

Il conçoit une balance en reprenant le principe de son pendule. Deux sphères chargées électriquement de même signe, sont enfermées dans un cylindre de verre. La première est suspendue à une tige conductrice, la seconde est accrochée à une tige isolée, qui est, elle, suspendue à un fil d'argent. Une fois chargées électriquement de même signe, les deux sphères se repoussent. Mais en tordant le fil auquel une des deux sphères est suspendue, on peut les rapprocher de l'autre sphère. Après plusieurs mesures, Charles-Augustin de Coulomb constate qu'il existe une relation entre la force de torsion nécessaire pour rapprocher les sphères et la distance qui les sépare. Il établit alors une loi mathématique qui sera après sa mort reconnue comme la loi de Coulomb, c'est la première loi de l'électricité.

Les sphères et la distance qui les sépare. Il établit alors une loi mathématique qui sera après sa mort reconnue comme la loi de Coulomb, c'est la première loi de l'électricité.

## Charles-Augustin de Coulomb - (1736 – 1806) France

### Ingenieur et mathématicien

Après une formation à l'école du Génie de Mézières, où il reçoit un enseignement scientifique et technique de haut niveau, Charles-Augustin de Coulomb est nommé ingénieur du Corps Royal du Génie militaire en 1761. Parallèlement à sa carrière militaire et poussé par son goût pour les sciences, il suit les activités de l'Académie des sciences dans laquelle il est admis en 1773 comme correspondant, sur la base d'un important mémoire de mécanique appliquée. À partir de 1779, Charles-Augustin de Coulomb poursuit une série d'expériences sur les frottements. Entre 1773 et 1806, il présente à l'Institut trente-deux mémoires scientifiques, dont sept mémoires sur l'électricité et le magnétisme. Ce sont des questions de navigation qui l'ont orienté vers ces domaines. En 1775, il travaille sur la question de l'amélioration des boussoles. Les travaux de Charles-Augustin de Coulomb s'appliquent également à des questions techniques (calcul des voûtes pour les fortifications, moulins à vent, ...) et au calcul du travail humain. Ses recherches s'appuient sur une conviction partagée, à cette époque, par les membres de l'Académie des sciences de Paris : les lois de la nature sont simples et peuvent s'exprimer par des formules mathématiques. En 1802, il est nommé inspecteur général de l'Instruction publique puis membre de la Légion d'honneur en 1804. C'est son nom qui est donné à l'unité de la charge électrique.

### La loi de Coulomb

En 1775, à l'occasion d'un concours pour améliorer les boussoles, Charles-Augustin de Coulomb observe que l'on obtient une meilleure sensibilité des boussoles lorsque l'on suspend l'aiguille à un fil en supprimant ainsi les frottements sur l'axe : il fabrique un pendule à torsion. Il constate que ce dispositif peut être utilisé pour mesurer des forces magnétiques et électriques infimes entre deux corps chargés de même signe. Il conçoit une balance en reprenant le principe de son pendule. Deux sphères, chargées électriquement de même signe, sont enfermées dans un cylindre de verre. La première est suspendue à une tige conductrice, la seconde est accrochée à une tige isolée, qui est, elle, suspendue à un fil d'argent. Une fois chargées électriquement de même signe, les deux sphères se repoussent. Mais en tordant le fil auquel une des deux sphères est suspendue, on peut la rapprocher de l'autre sphère. Après plusieurs mesures, Charles-Augustin de Coulomb constate qu'il existe une relation entre la force de torsion nécessaire pour rapprocher les sphères et la distance qui les sépare. Il établit alors une loi mathématique qui sera après sa mort reconnue comme la loi de Coulomb, c'est la première loi de l'électricité.

## André-Marie Ampère - (1775 – 1836) France

### Le père de l'électromagnétisme

André-Marie Ampère ne fréquente pas l'école car son père, disciple de Jean-Jacques Rousseau, décide de l'instruire lui-même. Doté d'un goût naturel pour la lecture et les sciences, il se distingue très rapidement par une mémoire prodigieuse et une intelligence précoce. En 1791, il propose ainsi aux députés de la Constituante d'adopter un système de mesure décimal. Membre titulaire de l'académie de Lyon en mathématiques, il obtient le poste de professeur de physique et de chimie à l'École centrale de Bourg-en-Bresse en 1807. Il publie la même année « Considérations sur la théorie mathématique du jeu » qui lui vaut l'obtention de la chaire de mathématiques et d'astronomie du lycée de Lyon. Nommé inspecteur général de l'Université en 1808, il exerce cette fonction jusqu'à sa mort. En chimie, ses travaux prouvent la nature du sodium et du potassium et participent à la découverte du chlore, du fluor et de l'iode. Ce n'est qu'en 1820 qu'il découvre les travaux de Hans Christian Oersted. Il établit alors les bases de l'électromagnétisme en quelques semaines. André-Marie Ampère introduit la notion de courant électrique et trouve la fameuse règle appelée depuis bonhomme d'Ampère. Membre de la Légion d'Honneur et de la Royal Society of London, son nom est attribué à l'unité légale d'intensité du courant électrique qui fait partie des sept unités de base du système international.

### L'électromagnétisme

Tout commence par la découverte fortuite d'un professeur de sciences physiques à Copenhague, Hans Christian Oersted : celui-ci remarque, en 1819, que le fil qui relie les pôles d'une pile influence l'orientation d'une boussole posée à proximité. Il en déduit que l'électricité circulant dans le fil est source d'un phénomène magnétique. À partir de ce constat, André-Marie Ampère montre qu'en plaçant une barre d'acier près d'un conducteur traversé par un courant électrique, celle-ci s'aimante de manière continue, comme si on la frottait sur un aimant. Il utilise pour cela un fil conducteur enroulé en spirale qu'il appelle solénoïde. André-Marie Ampère vient de découvrir le lien entre l'électricité et le magnétisme et d'ouvrir une nouvelle voie de recherche : l'électromagnétisme. De plus, il constate qu'en remplaçant l'acier par du fer, l'aimantation cesse quand le courant électrique s'arrête dans le solénoïde. Il découvre ainsi l'électroaimant (ou aimant temporaire) à l'origine des futurs moteurs électriques.



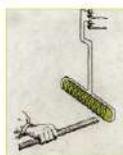
#### Le père de l'électromagnétisme

André-Marie Ampère ne fréquente pas l'école car son père, disciple de Jean-Jacques Rousseau, décide de l'instruire lui-même. Doté d'un goût naturel pour la lecture et les sciences, il se distingue très rapidement par une mémoire prodigieuse et une intelligence précoce. En 1791, il propose ainsi aux députés de la Constituante d'adopter un système de mesure décimal.

Membre titulaire de l'académie de Lyon en mathématiques, il obtient le poste de professeur de physique et de chimie à l'École centrale de Bourg-en-Bresse en 1807. Il publie la même année « Considérations sur la théorie mathématique du jeu » qui lui vaut l'obtention de la chaire de mathématiques et d'astronomie du lycée de Lyon. Nommé inspecteur général de l'Université en 1808, il exerce cette fonction jusqu'à sa mort. En chimie, ses travaux prouvent la nature du sodium et du potassium et participent à la découverte du chlore, du fluor et de l'iode.

Ce n'est qu'en 1820 qu'il découvre les travaux de Hans Christian Oersted. Il établit alors les bases de l'électromagnétisme en quelques semaines. André-Marie Ampère introduit la notion de courant électrique et trouve la fameuse règle appelée depuis bonhomme d'Ampère. Membre de la Légion d'Honneur et de la Royal Society of London, son nom est attribué à l'unité légale d'intensité du courant électrique qui fait partie des sept unités de base du système international.

#### L'électromagnétisme



Tout commence par la découverte fortuite d'un professeur de sciences physiques à Copenhague, Hans Christian Oersted : celui-ci remarque, en 1819, que le fil qui relie les pôles d'une pile influence l'orientation d'une boussole posée à proximité. Il en déduit que l'électricité circulant dans le fil est source d'un phénomène magnétique.

À partir de ce constat, André-Marie Ampère montre qu'en plaçant une barre d'acier près d'un conducteur traversé par un courant électrique, celle-ci s'aimante de manière continue, comme si on la frottait sur un aimant. Il utilise pour cela un fil conducteur enroulé en spirale qu'il appelle solénoïde. André-Marie Ampère vient de découvrir le lien entre l'électricité et le magnétisme et d'ouvrir une nouvelle voie de recherche : l'électromagnétisme. De plus, il constate qu'en remplaçant l'acier par du fer, l'aimantation cesse quand le courant électrique s'arrête dans le solénoïde. Il découvre ainsi l'électroaimant (ou aimant temporaire) à l'origine des futurs moteurs électriques.

## Michael Faraday - (1791 – 1867) Angleterre



### Un inventeur autodidacte

Fils d'un forgeron, Michael Faraday se fraye ses propres sentiers. Il est embauché à quatorze ans chez un libraire où sa curiosité l'amène à lire de nombreux ouvrages. En 1812, un client de la librairie lui offre des entrées pour une conférence d'Humphry Davy. Fasciné par les travaux du chimiste, Michael Faraday lui envoie les notes qu'il a prises au cours de sa conférence dans l'espoir d'obtenir un poste. Humphry Davy l'engage comme assistant notamment pour la conception d'une lampe de sûreté pour les mineurs et l'encourage à mener ses propres recherches. Michael Faraday oriente alors ses premiers travaux sur la chimie : il découvre le benzène dans les goudrons de houille, réussit la liquéfaction de la plupart des gaz connus (chlore, dioxyde de soufre, dioxyde de carbone, ammoniac). Mais, suite aux expériences de Hans Christian Oersted, il s'oriente vers la physique et plus particulièrement l'électromagnétisme qui le conduisent à inventer la première génératrice de courant.

Michael Faraday oriente alors ses premiers travaux sur la chimie : il découvre le benzène dans les goudrons de houille, réussit la liquéfaction de la plupart des gaz connus (chlore, dioxyde de soufre, dioxyde de carbone, ammoniac). Mais, suite aux expériences de Hans Christian Oersted, il s'oriente vers la physique et plus particulièrement l'électromagnétisme qui le conduisent à inventer la première génératrice de courant.

Michael Faraday entre à la Royal Society de Londres en 1824 et devient directeur du laboratoire de la Royal Institution en 1825. En 1831, il découvre l'induction électromagnétique qui le mène à l'invention de la dynamo. Ses recherches lui permettent d'explorer l'ensemble du domaine de l'électromagnétisme, dont il énonce les principales lois. Son nom reste associé à de nombreuses inventions comme la cage dite de Faraday.

### La première génératrice de courant

Suite aux découvertes d'André-Marie Ampère sur l'électromagnétisme, Michael Faraday pense que si il est possible de « créer » un aimant à l'aide d'un courant électrique, l'inverse, c'est-à-dire « créer » un courant électrique à l'aide d'un aimant, doit l'être aussi.



— D'après Wikimedia Commons

En mettant en mouvement un aimant à proximité d'une bobine, on obtient un courant électrique alternatif. Pour obtenir un courant permanent, il prend comme modèle le premier moteur électrique imaginé par Peter Barlow, dont il inverse le fonctionnement pour réaliser un dispositif appelé disque. En mettant la roue dentée en rotation au centre d'un aimant en fer à cheval, Michael Faraday obtient un courant permanent. Il fait évoluer ce dispositif pour mettre au point le disque qui porte son nom. La première génératrice électrique est née, capable de transformer de l'énergie mécanique en énergie électrique.

### Un inventeur autodidacte

Fils d'un forgeron, Michael Faraday ne fréquente pas longtemps l'école. Il est embauché à quatorze ans chez un libraire où sa curiosité l'amène à lire de nombreux ouvrages. En 1812, un client de la librairie lui offre des entrées pour une conférence d'Humphry Davy. Fasciné par les travaux du chimiste, Michael Faraday lui envoie les notes qu'il a prises au cours de sa conférence dans l'espoir d'obtenir un poste. Humphry Davy l'engage comme assistant notamment pour la conception d'une lampe de sûreté pour les mineurs et l'encourage à mener ses propres recherches. Michael Faraday oriente alors ses premiers travaux sur la chimie : il découvre le benzène dans les goudrons de houille, réussit la liquéfaction de la plupart des gaz connus (chlore, dioxyde de soufre, dioxyde de carbone, ammoniac). Mais, suite aux expériences de Hans Christian Oersted, il s'oriente vers la physique et plus particulièrement l'électromagnétisme qui le conduisent à inventer la première génératrice de courant. Michael Faraday entre à la Royal Society de Londres en 1824 et devient directeur du laboratoire de la Royal Institution en 1825. En 1831, il découvre l'induction électromagnétique qui le mène à l'invention de la dynamo. Ses recherches lui permettent d'explorer l'ensemble du domaine de l'électromagnétisme, dont il énonce les principales lois. Son nom reste associé à de nombreuses inventions comme la cage dite de Faraday.

### La première génératrice de courant

Suite aux découvertes d'André-Marie Ampère sur l'électromagnétisme, Michael Faraday pense que si il est possible de « créer » un aimant à l'aide d'un courant électrique, l'inverse, c'est-à-dire « créer » un courant électrique à l'aide d'un aimant, doit l'être aussi. En mettant en mouvement un aimant à proximité d'une bobine, on obtient un courant électrique alternatif. Pour obtenir un courant permanent, il prend comme modèle le premier moteur électrique imaginé par Peter Barlow, dont il inverse le fonctionnement pour réaliser un dispositif appelé disque. En mettant la roue dentée en rotation au centre d'un aimant en fer à cheval, Michael Faraday obtient un courant permanent. Il fait évoluer ce dispositif pour mettre au point le disque qui porte son nom. La première génératrice électrique est née, capable de transformer de l'énergie mécanique en énergie électrique.



## Georg Ohm - (1789 – 1854) Allemagne

### Un physicien novateur

Georg Ohm est éduqué par son père, un serrurier qui avait réussi à atteindre un haut niveau de connaissances en mathématiques, en physique et en philosophie grâce à ses lectures. En 1805, il intègre l'université de sa ville natale Erlangen, en Bavière, mais il passe plus de temps à vivre sa vie d'étudiant qu'à s'instruire. Son père l'oblige alors à arrêter ses études et Georg Ohm doit prendre un poste de professeur de mathématiques. Tout en enseignant dans différentes écoles, il continue d'étudier les mathématiques et s'intéresse notamment aux travaux de Lagrange, Legendre, Laplace ou encore Fourier. Il réalise des expériences de physique, en particulier sur le courant électrique. Georg Ohm a une approche novatrice : il veut établir ces lois mathématiquement. En 1827, il publie son livre *Die Galvanische Kette mathematisch bearbeitet* où il énonce la loi fondamentale des courants électriques,  $U = RI$ . Georg Ohm a dû surmonter de nombreuses difficultés pour mettre au point sa formule. Il doit inventer des appareils, dont la balance de torsion inspirée de celle de Coulomb, pour mesurer la force du champ magnétique engendré par l'électricité. C'est donc par l'expérimentation et le tâtonnement qu'il parvient à déduire un rapport entre les trois paramètres : tension ( $U$ ), résistance ( $R$ ) et intensité ( $I$ ). Ses travaux ne sont pas reconnus à l'époque par ses pairs, car les physiciens allemands sont alors peu mathématiciens. Il doit attendre 1841 pour être récompensé par la médaille Copley décernée par la Royal Society dont il devient membre l'année suivante. En 1852, deux ans avant sa mort, il obtient enfin une chaire de physique, poste qu'il convoitait depuis des années, à l'université de Munich. En 1867, le nom de Ohm est donné à l'unité de résistance électrique, avec pour symbole  $\Omega$ .

#### Un physicien novateur

Georg Ohm est éduqué par son père, un serrurier qui avait réussi à atteindre un haut niveau de connaissances en mathématiques, en physique et en philosophie grâce à ses lectures. En 1805, il intègre l'université de sa ville natale Erlangen, en Bavière, mais il passe plus de temps à vivre sa vie d'étudiant qu'à s'instruire. Son père l'oblige alors à arrêter ses études et Georg Ohm doit prendre un poste de professeur de mathématiques.

Tout en enseignant dans différentes écoles, il continue d'étudier les mathématiques et s'intéresse notamment aux travaux de Lagrange, Legendre, Laplace ou encore Fourier. Il réalise des expériences de physique, en particulier sur le courant électrique.

Georg Ohm a une approche novatrice : il veut établir ces lois mathématiquement. En 1827, il publie son livre *Die Galvanische Kette mathematisch bearbeitet* où il énonce la loi fondamentale des courants électriques,  $U = RI$ . Georg Ohm a dû surmonter de nombreuses difficultés pour mettre au point sa formule. Il doit inventer des appareils, dont la balance de torsion inspirée de celle de Coulomb, pour mesurer la force du champ magnétique engendré par l'électricité. C'est donc par l'expérimentation et le tâtonnement qu'il parvient à déduire un rapport entre les trois paramètres : tension ( $U$ ), résistance ( $R$ ) et intensité ( $I$ ). Ses travaux ne sont pas reconnus à l'époque par ses pairs, car les physiciens allemands sont alors peu mathématiciens. Il doit attendre 1841 pour être récompensé par la médaille Copley décernée par la Royal Society dont il devient membre l'année suivante. En 1852, deux ans avant sa mort, il obtient enfin une chaire de physique, poste qu'il convoitait depuis des années, à l'université de Munich.

En 1867, le nom de Ohm est donné à l'unité de résistance électrique, avec pour symbole  $\Omega$ .

#### La loi d'Ohm



La loi d'Ohm ( $U = RI$ ) est une des plus connues parmi les lois de physique. Cette loi indique que la tension électrique  $U$ , entre les extrémités d'un conducteur, est proportionnelle à l'intensité  $I$  du courant qui circule dans ce conducteur et à sa résistance  $R$ . En effet, chaque conducteur a une résistance spécifique face à la circulation de l'électricité. La loi signifie que pour un même générateur, plus on diminue la résistance du conducteur, plus on augmente l'intensité présente et inversement.

Georg Ohm n'a pas écrit  $U = RI$ , sous cette forme, car lorsqu'il entreprend ses travaux, vers 1825, le vocabulaire utilisé est différent : les grandeurs « intensité, tension et résistance » utilisées dans la fameuse formule  $U = RI$  n'étaient alors pas connues.

20

### La loi d'Ohm

La loi d'Ohm  $U = RI$  est une des plus connues parmi les lois de physique. Cette loi indique que la tension électrique  $U$ , entre les extrémités d'un conducteur, est proportionnelle à l'intensité  $I$  du courant qui circule dans ce conducteur et à sa résistance  $R$ . En effet, chaque conducteur a une résistance spécifique face à la circulation de l'électricité. La loi signifie que pour un même générateur, plus on diminue la résistance du conducteur, plus on augmente l'intensité présente et inversement. Georg Ohm n'a pas écrit  $U = RI$ , sous cette forme, car lorsqu'il entreprend ses travaux, vers 1825, le vocabulaire utilisé est différent : les grandeurs « intensité, tension et résistance » utilisées dans la fameuse formule  $U = RI$  n'étaient alors pas connues.



## Thomas Alva Edison - (1847 – 1931) États-Unis

### L'homme d'affaires

Thomas Edison ne fréquente l'école que quelques mois, et c'est sa mère qui lui apprend à lire, à écrire et à compter. Vendeur de journaux, il complète sa formation par de nombreuses lectures, notamment scientifiques et techniques. Il apprend ainsi à faire fonctionner un télégraphe et devient télégraphiste à seize ans. Il abandonne rapidement cette profession pour celle d'inventeur. Son premier brevet, un enregistreur électrique de vote, est un échec commercial ; Thomas Edison se promet alors de ne concevoir désormais que des inventions dont le grand public voudrait. En 1876, il installe à Menlo Park, près de New York, un laboratoire unique à cette époque avec l'équipement nécessaire pour travailler sur tout type d'invention. Après avoir apporté diverses améliorations au télégraphe, il invente le phonographe qui lui vaut une renommée internationale et l'occasion de le présenter au Président américain Hayes en avril 1878 à la Maison Blanche. En 1879, Thomas Edison réussit à fabriquer une lampe à incandescence permettant un usage domestique et donc une commercialisation à grande échelle. Ses différentes sociétés électriques fusionnent en 1889 pour fonder la Edison General Electric. Dans les années 1890, il développe l'industrie du phonographe et essaye de se lancer dans le cinéma mais abandonne en 1918 face à une forte compétitivité dans ce domaine. Ces succès font oublier le plus grand échec de sa vie : il tente en vain pendant une dizaine d'années de mettre au point un procédé d'extraction du minerai de fer qui serait commercialement valable. À sa mort, le Président Hoover demande aux Américains d'éteindre leurs lumières pendant une minute pour rendre hommage à l'inventeur.

#### L'homme d'affaires

Thomas Edison ne fréquente l'école que quelques mois, et c'est sa mère qui lui apprend à lire, à écrire et à compter. Vendeur de journaux, il complète sa formation par de nombreuses lectures, notamment scientifiques et techniques. Il apprend ainsi à faire fonctionner un télégraphe et devient télégraphiste à seize ans. Il abandonne rapidement cette profession pour celle d'inventeur. Son premier brevet, un enregistreur électrique de vote, est un échec commercial ; Thomas Edison se promet alors de ne concevoir désormais que des inventions dont le grand public voudrait. En 1876, il installe à Menlo Park, près de New York, un laboratoire unique à cette époque avec l'équipement nécessaire pour travailler sur tout type d'invention.

Après avoir apporté diverses améliorations au télégraphe, il invente le phonographe qui lui vaut une renommée internationale et l'occasion de le présenter au Président américain Hayes en avril 1878 à la Maison Blanche.

En 1879, Thomas Edison réussit à fabriquer une lampe à incandescence permettant un usage domestique et donc une commercialisation à grande échelle. Ses différentes sociétés électriques fusionnent en 1889 pour fonder la Edison General Electric. Dans les années 1890, il développe l'industrie du phonographe et essaye de se lancer dans le cinéma mais abandonne en 1918 face à une forte compétitivité dans ce domaine. Ces succès font oublier le plus grand échec de sa vie : il tente en vain pendant une dizaine d'années de mettre au point un procédé d'extraction du minerai de fer qui serait commercialement valable.

À sa mort, le Président Hoover demande aux Américains d'éteindre leurs lumières pendant une minute pour rendre hommage à l'inventeur.

#### La lampe à incandescence

Lors de ses recherches pour créer une lampe, Thomas Edison reprend notamment les travaux de Joseph Swan et en améliore le principe. Quelques années auparavant, Alessandro Volta avait montré que lorsqu'un fil conducteur est relié aux deux pôles d'une pile, il peut, et il est fin, s'échauffer et devenir incandescent.

La lampe à incandescence d'Edison est un dispositif qui produit de la lumière en portant à incandescence un filament de carbone parcouru par un courant électrique. Le filament offre une résistance au courant. Il s'échauffe donc fortement et émet de la lumière. Pour éviter que le filament ne s'enflamme et ne se consume en présence d'oxygène, il est placé à l'intérieur d'une cloche de verre dans laquelle le vide est fait. Cette cloche est scellée au moyen d'un ciment particulier. La véritable innovation de Thomas Edison est de réussir à démocratiser l'électricité en créant une lampe commercialisable.



La lampe à incandescence d'Edison est un dispositif qui produit de la lumière en portant à incandescence un filament de carbone parcouru par un courant électrique. Le filament offre une résistance au courant. Il s'échauffe donc fortement et émet de la lumière. Pour éviter que le filament ne s'enflamme et ne se consume en présence d'oxygène, il est placé à l'intérieur d'une cloche de verre dans laquelle le vide est fait. Cette cloche est scellée au moyen d'un ciment particulier. La véritable innovation de Thomas Edison est de réussir à démocratiser l'électricité en créant une lampe commercialisable.

21

### La lampe à incandescence

Lors de ses recherches pour créer une lampe, Thomas Edison reprend notamment les travaux de Joseph Swan et en améliore le principe. Quelques années auparavant, Alessandro Volta avait montré que lorsqu'un fil conducteur est relié aux deux pôles d'une pile, il peut, et il est fin, s'échauffer et devenir incandescent. La lampe à incandescence d'Edison est un dispositif qui produit de la lumière en portant à incandescence un filament de carbone parcouru par un courant électrique. Le filament offre une résistance au courant. Il s'échauffe donc fortement et émet de la lumière. Pour éviter que le filament ne s'enflamme et ne se consume en présence d'oxygène, il est placé à l'intérieur d'une cloche de verre dans laquelle le vide est fait. Cette cloche est scellée au moyen d'un ciment particulier. La véritable innovation de Thomas Edison est de réussir à démocratiser l'électricité en créant une lampe commercialisable.



## Zénobe Gramme - (1826 – 1901) Belgique

### L'inventeur de la dynamo

Menusier de formation, Zénobe Gramme quitte définitivement sa Belgique natale en 1856 pour s'installer à Paris. Il est alors engagé par la société Alliance, spécialisée dans la construction de machines magnéto-électriques. Il réalise des pièces en bois qui servent de modèles pour leur exécution en métal. Il fréquente alors le Conservatoire des arts et métiers, où il étudie des traités de physique, et débute ses premières recherches. Il obtient son premier brevet en 1861 en créant un mécanisme qui réduit l'usure des électrodes des lampes à arc. Deux ans plus tard, il fait la connaissance de Heinrich Daniel Ruhmkorff, l'inventeur de la bobine à induction et constructeur d'instruments scientifiques. Cette rencontre lui permet d'intégrer un cercle de scientifiques réputés. C'est en 1868 que Zénobe Gramme met au point la première dynamo à courant continu, point de départ de l'industrie électrique moderne. Son invention marque une avancée essentielle dans l'histoire de l'énergie : transformer l'énergie mécanique en énergie électrique. Son invention est présentée en 1871 à l'Académie des sciences, qui reconnaîtra son importance en lui décernant notamment le prix Volta en 1888. La même année, Zénobe Gramme fonde la Société des machines magnéto-électriques Gramme avec son ami Hippolyte Fontaine. L'innovation de Zénobe Gramme séduit les industriels : 10 000 exemplaires de sa dynamo sont vendus à la fin du siècle.

#### L'inventeur de la dynamo

Menusier de formation, Zénobe Gramme quitte définitivement sa Belgique natale en 1856 pour s'installer à Paris. Il est alors engagé par la société Alliance, spécialisée dans la construction de machines magnéto-électriques. Il réalise des pièces en bois qui servent de modèles pour leur exécution en métal. Il fréquente alors le Conservatoire des arts et métiers, où il étudie des traités de physique, et débute ses premières recherches. Il obtient son premier brevet en 1861 en créant un mécanisme qui réduit l'usure des électrodes des lampes à arc.

Deux ans plus tard, il fait la connaissance de Heinrich Daniel Ruhmkorff, l'inventeur de la bobine à induction et constructeur d'instruments scientifiques. Cette rencontre lui permet d'intégrer un cercle de scientifiques réputés. C'est en 1868 que Zénobe Gramme met au point la première dynamo à courant continu, point de départ de l'industrie électrique moderne. Son invention marque une avancée essentielle dans l'histoire de l'énergie : transformer l'énergie mécanique en énergie électrique. Son invention est présentée en 1871 à l'Académie des sciences, qui reconnaîtra son importance en lui décernant notamment le prix Volta en 1888.

La même année, Zénobe Gramme fonde la Société des machines magnéto-électriques Gramme avec son ami Hippolyte Fontaine. L'innovation de Zénobe Gramme séduit les industriels : 10 000 exemplaires de sa dynamo sont vendus à la fin du siècle.

#### La dynamo à courant continu



Avant cela, l'électricité était produite par des machines magnéto-électriques ou magnéto, c'est à dire que le courant était induit par le mouvement d'un aimant permanent. Ces machines, très lourdes, avaient un rendement faible et ne pouvaient être utilisées à échelle industrielle. Elles étaient utilisées que pour la galvanoplastie, l'éclairage à arc et le télégraphe.

Zénobe Gramme a l'idée d'utiliser les procédés récemment inventés. Il remplace l'aimant permanent par un électroaimant pour construire une génératrice moins lourde et moins encombrante, et dont le rendement dépasse parfois les 80 %. C'est un pas capital vers une utilisation industrielle. En 1871, Gramme commercialise avec succès sa célèbre dynamo, machine produisant un courant continu presque constant.

→ Machines magnéto-électriques de Zénobe Gramme, gérées par l'Association de la Société des Machines à L'usage de la Science de Louis L'Epine (1867-1882)

22

### La dynamo à courant continu

Avant 1860, l'électricité était produite par des machines magnéto-électriques ou magnéto, c'est-à-dire que le courant était induit par le mouvement d'un aimant permanent. Ces machines, très lourdes, avaient un rendement faible et ne pouvaient être utilisées à échelle industrielle. Elles n'étaient utilisées que pour la galvanoplastie, l'éclairage à arc et le télégraphe. Zénobe Gramme a l'idée d'utiliser les procédés récemment inventés. Il remplace l'aimant permanent par un électroaimant pour construire une génératrice moins lourde et moins encombrante, et dont le rendement dépasse parfois les 80 %. C'est un pas capital vers une utilisation industrielle. En 1872, Gramme commercialise avec succès sa célèbre dynamo, machine produisant un courant continu presque constant.



## Nikola Tesla - (1856 – 1943) Croatie

### Un génie mal connu

Enfant, ses parents le destinent à une carrière ecclésiastique ou militaire mais acceptent, devant ses aptitudes pour les sciences, qu'il intègre l'École Polytechnique de Graz. En 1881, Nikola Tesla est ingénieur à l'Office central du télégraphe à Budapest. L'année suivante marque un tournant majeur dans sa vie. À Paris, il est recruté par la Société électrique Edison, où il se distingue rapidement par sa puissance de travail et ses connaissances en mathématiques et en physique. En 1884, il travaille auprès de Thomas Edison à New York mais entre très vite en conflit avec lui : Nikola Tesla pense que le courant alternatif est le courant de l'avenir, en opposition au courant continu défendu par Thomas Edison. À la tête de sa propre société en 1888, il dispose d'un laboratoire où il peut enfin construire sa génératrice à courant alternatif. Il s'associe alors avec l'industriel Georges Westinghouse, rival de Thomas Edison. Nikola Tesla dépose les brevets pour le transport de l'énergie électrique par courants polyphasés et développe un système de distribution de courant alternatif. Il met au point, en 1890, une invention majeure, un transformateur permettant de modifier la tension d'un courant. Ce système de courant alternatif est considéré comme très avantageux, énergétiquement et économiquement, ce qui lui vaut d'être utilisé pour la centrale électrique de Niagara Falls en 1893. L'apport de Nikola Tesla dans le domaine de l'électricité est considérable. Il a déposé plus de 300 brevets comme, en 1897, celui du premier système de radio viable. En 1899, il découvre les ondes terrestres stationnaires. Pourtant, lâché par les investisseurs suite à des échecs, c'est seul et ruiné qu'il finit sa vie.

#### Un génie mal connu

Enfant, ses parents le destinent à une carrière ecclésiastique ou militaire mais acceptent, devant ses aptitudes pour les sciences, qu'il intègre l'École Polytechnique de Graz. En 1881, Nikola Tesla est ingénieur à l'Office central du télégraphe à Budapest. L'année suivante marque un tournant majeur dans sa vie. À Paris, il est recruté par la Société électrique Edison, où il se distingue rapidement par sa puissance de travail et ses connaissances en mathématiques et en physique. En 1884, il travaille auprès de Thomas Edison à New York mais entre très vite en conflit avec lui : Nikola Tesla pense que le courant alternatif est le courant de l'avenir, en opposition au courant continu défendu par Thomas Edison.

À la tête de sa propre société en 1888, il dispose d'un laboratoire où il peut enfin construire sa génératrice à courant alternatif. Il s'associe alors avec l'industriel Georges Westinghouse, rival de Thomas Edison. Nikola Tesla dépose les brevets pour le transport de l'énergie électrique par courants polyphasés et développe un système de distribution de courant alternatif. Il met au point, en 1890, une invention majeure, un transformateur permettant de modifier la tension d'un courant. Ce système de courant alternatif est considéré comme très avantageux, énergétiquement et économiquement, ce qui lui vaut d'être utilisé pour la centrale électrique de Niagara Falls en 1893.

L'apport de Nikola Tesla dans le domaine de l'électricité est considérable. Il a déposé plus de 300 brevets comme, en 1897, celui du premier système de radio viable. En 1899, il découvre les ondes terrestres stationnaires. Pourtant, lâché par les investisseurs suite à des échecs, c'est seul et ruiné qu'il finit sa vie.

#### Le courant alternatif



Jusqu'en 1880, l'électricité est produite essentiellement en courant continu. Les consommateurs (éclairage et ateliers) assurent alors leur production sur place en utilisant des dynamos similaires à celle inventée par Zénobe Gramme. Mais les fabricants de génératrices ont un objectif : transporter l'électricité par câbles à partir d'une usine centrale.

Les premières tentatives sont infructueuses : échauffement des câbles, perte d'énergie et faible rendement. Pour limiter les pertes, la tension de départ doit être augmentée et le diamètre des câbles également mais le coût est très important.

Nikola Tesla et Georges Westinghouse proposent de remplacer le courant continu par le courant alternatif. Sa faible intensité permet en effet de limiter les pertes lors du transport. Nikola Tesla montre également que la tension de ce courant peut être facilement augmentée et diminuée par l'utilisation de transformateurs. Une diminution de la tension en fin de course permet d'alimenter les appareils des consommateurs.

23

### Le courant alternatif

Jusqu'en 1880, l'électricité est produite essentiellement en courant continu. Les consommateurs (éclairage et ateliers) assurent alors leur production sur place en utilisant des dynamos similaires à celle inventée par Zénobe Gramme. Mais les fabricants de génératrices ont un objectif : transporter l'électricité par câbles à partir d'une usine centrale. Les premières tentatives sont infructueuses : échauffement des câbles, perte d'énergie et faible rendement. Pour limiter les pertes, la tension de départ doit être augmentée et le diamètre des câbles également mais le coût est très important. Nikola Tesla et Georges Westinghouse proposent de Remplacer le courant continu par le courant alternatif. Sa faible intensité permet en effet de limiter les pertes lors du transport. Nikola Tesla montre également que la tension de ce courant peut être facilement augmentée et diminuée par l'utilisation de transformateurs. Une diminution de la tension en fin de course permet d'alimenter les appareils des consommateurs.

# MAÎTRISER LES ÉLÉMENTS NATURELS

L'avenir en matière d'énergie est le plus souvent associé aux énergies renouvelables. Pourtant, dès l'Antiquité, l'homme a compris que les éléments naturels – eau, vent et soleil – représentent une force immense qu'il peut utiliser pour travailler. Il ne dispose alors que de sa force musculaire et de celle des animaux.

Chacun connaît la légende du siège de Syracuse par les Romains en 215 avant J.-C. au cours duquel le savant grec Archimède aurait utilisé des miroirs et les rayons du soleil pour enflammer les navires ennemis. Au 1<sup>er</sup> siècle avant J.-C., les Romains utilisent la force de l'eau pour actionner des moulins et moulin le grain. Les moulins à vent apparaissent vers 700 après J.C. en Perse. Ce n'est qu'au XII<sup>e</sup> siècle que moulins à eau et à vent se répandent dans toute l'Europe.

Les recherches sur la vapeur et l'électricité vont être au cœur des bouleversements en matière d'énergie et permettre les révolutions industrielles des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles. Parce qu'elles sont soumises aux lois de la nature, les sources d'énergie que constituent l'eau, le vent et le soleil, sont difficiles à maîtriser pour l'homme. Il faut attendre la fin du XIX<sup>e</sup> siècle pour que ces éléments naturels puissent, eux aussi, servir à produire de l'électricité, grâce par exemple aux centrales hydroélectriques ou aux éoliennes.

## Harnessing the Elements

Most people think of renewable energy as the power source of the future. And yet ever since Antiquity, people have known that the natural elements – water, wind and sun – represent an immense force that could be harnessed to work. The only of their kind, rather than the muscular strength of their own bodies and of their animals. Everyone has heard about the mythical Siege of Syracuse in 215 BC when the Greek scholar Archimedes supposedly used mirrors to reflect the sun's rays onto enemy Roman ships, setting them aflame. Already in the 1<sup>st</sup> century BC, Romans were using the power of water to drive flourmills and the wind had become valuable, appearing in Persia around 700 AD, but it was not until the 12<sup>th</sup> century that watermills and windmills became a common sight across Europe. Advances in the understanding of steam and electricity were a catalyst for huge upheavals in the field of energy, paving the way for the industrial revolution of the 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> centuries. Water, wind and sun offer an infinite power source that proved challenging to harness, being subject to the laws of nature. Not until the end of the 19<sup>th</sup> century did scientists manage to also create these elements and channel their power into producing electricity, for instance through hydroelectric installations and wind turbines.

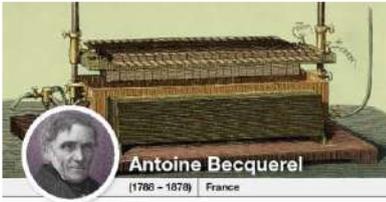
## Controle over de natuurelementen

De meeste mensen denken aan hernieuwbare energie als de toekomstige energievorm. Maar al sinds de oudheid hebben mensen geweten dat de natuurlijke elementen – water, wind en zon – een enorme krachtbron vormen die men kan gebruiken voor het werk. De mens beschikt dan weliswaar over de eigen spierkracht en die van zijn dieren. Iedereen kent de legende van het beleg van Syracuse door de Romeinen in 215 voor Christus. De Griekse geleerde Archimedes zou gebruik hebben gemaakt van spiegels om de vijandelijke schepen te brand te steken door de zon te weerkaatsen op de Romeinse vloot. Al in de eerste eeuw voor Christus gebruikten de Romeinen de kracht van water om moulins te laten draaien en graan te malen. Rond 700 na Christus verschenen de eerste windmolens in Perzië. Pas in de 12<sup>e</sup> eeuw verspreiden wind- en watermolens zich over heel Europa. Vooruitgang in het begrip van stoom en elektriciteit zorgde voor ingrijpende veranderingen op het vlak van energie. Water, wind en zon bieden een oneindige bron van energie die moeilijk te beheersen was. Niet tot het einde van de 19<sup>e</sup> eeuw, toen de wetenschappers erin slaagden om deze bronnen te controleren en hun kracht in te zetten voor de productie van elektriciteit, bijvoorbeeld door middel van waterkrachtmolens en windturbines.

L'avenir en matière d'énergie est le plus souvent associé aux énergies renouvelables. Pourtant, dès l'Antiquité, l'homme a compris que les éléments naturels – eau, vent et soleil – représentent une force immense qu'il peut utiliser pour travailler. Il ne dispose alors que de sa force musculaire et de celle des animaux.

Chacun connaît la légende du siège de Syracuse par les Romains en 215 avant J.-C. au cours duquel le savant grec Archimède aurait utilisé des miroirs et les rayons du soleil pour enflammer les navires ennemis. Au 1<sup>er</sup> siècle avant J.-C., les Romains utilisent la force de l'eau pour actionner des moulins et moulin le grain. Les moulins à vent apparaissent vers 700 après J.C. en Perse. Ce n'est qu'au XII<sup>e</sup> siècle que moulins à eau et à vent se répandent dans toute l'Europe.

Les recherches sur la vapeur et l'électricité vont être au cœur des bouleversements en matière d'énergie et permettre les révolutions industrielles des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles. Parce qu'elles sont soumises aux lois de la nature, les sources d'énergie que constituent l'eau, le vent et le soleil, sont difficiles à maîtriser pour l'homme. Il faut attendre la fin du XIX<sup>e</sup> siècle pour que ces éléments naturels puissent, eux aussi, servir à produire de l'électricité, grâce par exemple aux centrales hydroélectriques ou aux éoliennes.



Antoine Becquerel  
(1780 - 1878) France

#### L'ainé d'une dynastie

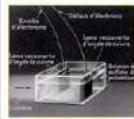
Diplômé de l'École Polytechnique en 1809, Antoine Becquerel participe aux campagnes napoléoniennes de 1810 et 1812 comme officier du génie. Trois ans plus tard, il quitte l'armée pour se consacrer à la recherche scientifique. Les travaux de l'abbé René Just Haüy, en 1817, avaient montré qu'en comprimant un cristal, de l'électricité apparaissait sur la face du minéral. En 1820, Antoine Becquerel teste cette expérience sur d'autres matières minérales et organiques. Il établit alors la règle suivante : l'électricité produite est proportionnelle à la pression exercée. Cette conclusion est le point de départ de ses nombreuses recherches sur l'électricité.

En s'appuyant sur les travaux de Hans Christian Oersted sur l'activation des courants électriques, il établit en 1823 les lois fondamentales sur les phénomènes thermoélectriques. À partir de 1825, Antoine Becquerel reprend ses recherches sur le dégagement de l'électricité dans les actions chimiques. Après avoir trouvé les causes de la perte d'intensité dans les piles d'Alessandro Volta, il crée la pile à deux liquides, dite à courant constant.

En 1829, il entre à l'Académie des sciences et reçoit la médaille Copley de la Royal Society en 1832. En 1838, l'État crée la chaire de professeur de physique appliquée au Muséum d'Histoire naturelle et lui attribue le poste qu'il ne quittera pas jusqu'à sa mort. Antoine Becquerel s'est intéressé aux liens entre la physique, les sciences naturelles et les arts. Son ouvrage principal « Traité expérimental de l'électrochimie et du magnétisme » est publié en sept volumes entre 1834 et 1840. En 1839, il présente à l'Académie des sciences son expérience qui démontre l'effet photoélectrique.

#### L'effet photoélectrique

Antoine Becquerel et son fils, Alexandre-Edmond, expérimentent de nouvelles piles électrochimiques. Deux lames de platines portées à des températures différentes et plongées dans une solution acide, l'électrolyte, produisent de l'électricité.



Les deux scientifiques s'aperçoivent que la tension électrique dépend également de la luminosité ambiante. En utilisant des filtres colorés, il constate que l'effet n'est pas dû à la chaleur des rayons lumineux ; certains métaux émettent des électrons lorsqu'ils sont soumis à la lumière ou à un autre rayonnement. Antoine Becquerel apporte aussi la preuve qu'il existe un lien entre lumière et électricité. À cette époque, les connaissances en physique ne permettent pas d'aller plus loin. C'est Albert Einstein qui sera l'un des premiers à comprendre le phénomène.

## Antoine Becquerel - (1788 – 1878) France

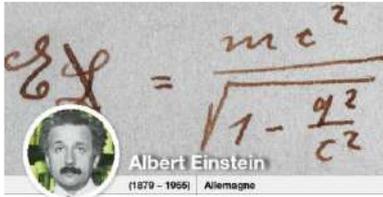
### L'ainé d'une dynastie

Diplômé de l'École Polytechnique en 1809, Antoine Becquerel participe aux campagnes napoléoniennes de 1810 et 1812 comme officier du génie. Trois ans plus tard, il quitte l'armée pour se consacrer à la recherche scientifique. Les travaux de l'abbé René Just Haüy, en 1817, avaient montré qu'en comprimant un cristal, de l'électricité apparaissait sur la face du minéral. En 1820, Antoine Becquerel teste cette expérience sur d'autres matières minérales et organiques. Il établit alors la règle suivante : l'électricité produite est proportionnelle à la pression exercée. Cette conclusion est le point de départ de ses nombreuses recherches sur l'électricité. En s'appuyant sur les travaux de Hans-Christian Oersted sur l'activation des courants électriques, il établit en 1823 les lois fondamentales sur les phénomènes thermoélectriques. À partir de 1825, Antoine Becquerel reprend ses recherches sur le dégagement de l'électricité dans les actions chimiques. Après avoir trouvé les causes de la perte d'intensité dans les piles d'Alessandro Volta, il crée la pile à deux liquides, dite à courant constant. En 1829, il entre à l'Académie des sciences et reçoit la médaille Copley de la Royal Society en 1832. En 1838, l'État crée la chaire de professeur de physique appliquée au Muséum d'Histoire naturelle et lui attribue le poste qu'il ne quittera pas jusqu'à sa mort. Antoine Becquerel s'est intéressé aux liens entre la physique, les sciences naturelles et les arts. Son ouvrage principal « Traité expérimental de l'électrochimie et du magnétisme » est publié en sept volumes entre 1834 et 1840. En 1839, il présente à l'Académie des sciences son expérience qui démontre l'effet photoélectrique.

### L'effet photoélectrique

Antoine Becquerel et son fils, Alexandre-Edmond, expérimentent de nouvelles piles électrochimiques. Deux lames de platines portées à des températures différentes et plongées dans une solution acide, l'électrolyte, produisent de l'électricité. Les deux scientifiques s'aperçoivent que la tension électrique dépend également de la luminosité ambiante. En utilisant des filtres colorés, il constate que l'effet n'est pas dû à la chaleur des rayons lumineux ; certains métaux émettent des électrons lorsqu'ils sont soumis à la lumière ou à un autre rayonnement. Antoine Becquerel apporte aussi la preuve qu'il existe un lien entre lumière et électricité. À cette époque, les connaissances en physique ne permettent pas d'aller plus loin. C'est Albert Einstein qui sera l'un des premiers à comprendre le phénomène.

25



## Albert Einstein - (1879 – 1955) Allemagne

### Un scientifique de génie

Albert Einstein est certainement le plus célèbre des physiciens. D'origine juive, sa famille part pour l'Italie en 1894, tandis que lui reste en Allemagne. Ses études le mènent à Aarau en Suisse où il souhaite intégrer l'École polytechnique fédérale de Zurich. Malgré un premier échec, il finit par y être accepté en 1896. Il en sort diplômé en 1900 et décide de se consacrer à l'enseignement plutôt qu'à une carrière d'ingénieur. À cette période, Albert Einstein renonce à la nationalité allemande pour la nationalité suisse. Sa thèse sur les dimensions moléculaires lui permet d'obtenir un doctorat en 1905 et la reconnaissance de la communauté scientifique. Il publie la même année d'autres traités fondamentaux sur la lumière (photon), le mouvement brownien (mouvement moléculaire) et enfin, la théorie de la relativité restreinte établissant la relation d'équivalence entre la masse et l'énergie : il propose la célèbre formule  $E = mc^2$ . En 1915, il publie la théorie de la relativité générale mais c'est pour ses travaux sur la nature de la lumière et l'explication du phénomène photoélectrique qu'il reçoit en 1921 le prix Nobel de physique. Il effectue de nombreux séjours à l'étranger et surtout aux États-Unis où il s'installera définitivement en 1935 après l'arrivée d'Adolf Hitler au pouvoir. Il devient d'ailleurs citoyen américain en 1940. Albert Einstein est aussi un homme engagé et malgré ses convictions pacifistes, il adresse, en 1939, une lettre au président américain Franklin Delano Roosevelt pour l'alerter sur le risque de mise au point d'une arme nucléaire par l'Allemagne et le convaincre de se lancer dans la course à la bombe atomique. Après la guerre, il lutte activement pour la paix et le désarmement international ; il intègre le Comité d'Urgence des savants atomistes.

#### Un scientifique de génie

Albert Einstein est certainement le plus célèbre des physiciens. D'origine juive, sa famille part pour l'Italie en 1894, tandis que lui reste en Allemagne. Ses études le mènent à Aarau en Suisse où il souhaite intégrer l'École polytechnique fédérale de Zurich. Malgré un premier échec, il finit par y être accepté en 1896. Il en sort diplômé en 1900 et décide de se consacrer à l'enseignement plutôt qu'à une carrière d'ingénieur. À cette période, Albert Einstein renonce à la nationalité allemande pour la nationalité suisse.

Sa thèse sur les dimensions moléculaires lui permet d'obtenir un doctorat en 1905 et la reconnaissance de la communauté scientifique. Il publie la même année d'autres traités fondamentaux sur la lumière (photon), le mouvement brownien (mouvement moléculaire) et enfin, la théorie de la relativité restreinte établissant la relation d'équivalence entre la masse et l'énergie : il propose la célèbre formule  $E = mc^2$ . En 1915, il publie la théorie de la relativité générale mais c'est pour ses travaux sur la nature de la lumière et l'explication du phénomène photoélectrique qu'il reçoit en 1921 le prix Nobel de physique.

Il effectue de nombreux séjours à l'étranger et surtout aux États-Unis où il s'installera définitivement en 1935 après l'arrivée d'Adolf Hitler au pouvoir. Il devient d'ailleurs citoyen américain en 1940. Albert Einstein est aussi un homme engagé et malgré ses convictions pacifistes, il adresse, en 1939, une lettre au président américain Franklin Delano Roosevelt pour l'alerter sur le risque de mise au point d'une arme nucléaire par l'Allemagne et le convaincre de se lancer dans la course à la bombe atomique. Après la guerre, il lutte activement pour la paix et le désarmement international ; il intègre le Comité d'Urgence des savants atomistes.

#### Le principe photoélectrique

Dans un article de 1905, Albert Einstein s'interroge sur la nature de la lumière et explique le phénomène photoélectrique. On désigne par là tous les phénomènes électriques provoqués par l'action de la lumière. Depuis les travaux de Becquerel et de ses successeurs, on sait que lorsque la lumière rencontre une surface métallique, des électrons sont émis par cette surface avec une énergie cinétique indépendante de l'intensité de la lumière, mais qui augmente avec sa fréquence.

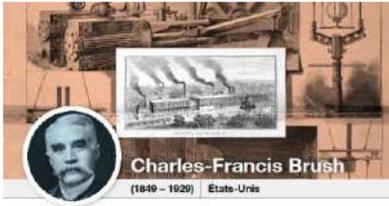
Selon Albert Einstein, l'énergie d'un faisceau lumineux monochromatique arrive en paquets d'énergie appelés quantum d'énergie. Il fonde l'hypothèse que le rayonnement est fait de grains de lumière porteurs d'énergie, les photons. Lorsqu'un électron du matériau absorbe un photon et que l'énergie de celui-ci est suffisante, l'électron est éjecté en émettant une énergie. Le principe photoélectrique est à la base des cellules photovoltaïques.

Quantum d'énergie, 500 eV

26

### Le principe photoélectrique

Dans un article de 1905, Albert Einstein s'interroge sur la nature de la lumière et explique le phénomène photoélectrique. On désigne par là tous les phénomènes électriques provoqués par l'action de la lumière. Depuis les travaux de Becquerel et de ses successeurs, on sait que lorsque la lumière rencontre une surface métallique, des électrons sont émis par cette surface avec une énergie cinétique indépendante de l'intensité de la lumière, mais qui augmente avec sa fréquence. Selon Albert Einstein, l'énergie d'un faisceau lumineux monochromatique arrive en paquets d'énergie appelés quantum d'énergie. Il fonde l'hypothèse que le rayonnement est fait de grains de lumière porteurs d'énergie, les photons. Lorsqu'un électron du matériau absorbe un photon et que l'énergie de celui-ci est suffisante, l'électron est éjecté en émettant une énergie. Le principe Photoélectrique est à la base des cellules photovoltaïques.



**Charles-Francis Brush**  
(1849 – 1929) États-Unis

**Un industriel dans l'air du temps**

Charles-Francis Brush cultive très tôt un réel intérêt pour les sciences. À l'âge de 12 ans, il fabrique de simples appareils dans la ferme de ses parents, ce qui l'amène à construire une machine d'électricité statique. En 1869, il obtient son diplôme d'ingénieur des mines à l'université du Michigan.

En 1877, Charles-Francis Brush invente une dynamo à courant continu très efficace qui peut être employée dans le réseau électrique public, puis la première lampe à arc qui sera utilisée dans de nombreuses villes d'Amérique, d'Europe mais aussi à Shanghai et à Tokyo.

Il crée sa propre entreprise, en 1880, la Brush Electric Company qui une fois vendue fusionnera avec la Edison Electric Company sous le nom de General Electric Company. Durant l'hiver 1887-1888, Charles-Francis Brush construit la première éolienne à fonctionnement automatique destinée à la production d'électricité ; son objectif est alors d'alimenter sa maison de Cleveland. Elle constitue une véritable innovation dans la maîtrise du vent.

Chevalier de la Légion d'honneur française, il reçoit également le prix Rumford de l'Académie américaine des arts et des sciences en 1899 et la médaille Edison en 1913.

**La première éolienne**

Tronc hautier de 17 mètres, l'éolienne de Charles Brush est constituée d'une ossature en bois de cèdre, possède 144 pales et a une puissance de 12 kilowatts.

(1) et (2) Fixée sur un socle de 4 mètres de diamètre, l'éolienne est de forme rectangulaire. Elle supporte en sa partie supérieure l'arbre principal du rotor, sur lequel est fixée une roue de 17 mètres de diamètre dotée de pales. Une queue de 18 mètres permet d'orienter la roue face au vent.

(3) Un arbre secondaire est lié à l'arbre principal, par un système de poulie courroie : deux poulies propulsives montées de part et d'autre de la poulie motrice entraînent l'arbre traversant la dynamo. Le système de courroies est en tension, ce qui permet un fonctionnement de l'ensemble et une vitesse de rotation du rotor de la dynamo suffisante à la production d'une tension moyenne de 75 volts (3).

(4) et (5) La dynamo est reliée électriquement à 12 batteries installées dans la cave. Elles permettent le stockage de l'électricité. Cette installation alimente 100 lampes de la maison et 3 moteurs électriques.

L'éolienne de Brush fonctionnera pendant 20 ans.

27

**Charles-Francis Brush - (1849 – 1929) États-Unis**

**Un industriel dans l'air du temps**

Charles-Francis Brush cultive très tôt un réel intérêt pour les sciences. À l'âge de 12 ans, il fabrique de simples appareils dans la ferme de ses parents, ce qui l'amène à construire une machine d'électricité statique. En 1869, il obtient son diplôme d'ingénieur des mines à l'université du Michigan. En 1877, Charles-Francis Brush invente une dynamo à courant continu très efficace qui peut être employée dans le réseau électrique public, puis la première lampe à arc qui sera utilisée dans de nombreuses villes d'Amérique, d'Europe mais aussi à Shanghai et à Tokyo. Il crée sa propre entreprise, en 1880, la Brush Electric Company qui une fois vendue fusionnera avec la Edison Electric Company sous le nom de General Electric Company. Durant l'hiver 1887-1888, Charles-Francis Brush construit la première éolienne à fonctionnement automatique destinée à la production d'électricité ; son objectif est alors d'alimenter sa maison de Cleveland. Elle constitue une véritable innovation dans la maîtrise du vent. Chevalier de la Légion d'honneur française, il reçoit également le prix Rumford de l'Académie américaine des arts et des sciences en 1899 et la médaille Edison en 1913.

**La première éolienne**

D'une hauteur de 17 mètres, l'éolienne de Charles Brush est constituée d'une ossature en bois de cèdre, possède 144 pales et a une puissance de 12 kilowatts. (1) et (2) Fixée sur un socle de 4 mètres de diamètre, l'éolienne est de forme rectangulaire. Elle supporte en sa partie supérieure l'arbre principal du rotor, sur lequel est fixée une roue de 17 mètres de diamètre dotée de pales. Une queue de 18 mètres permet d'orienter la roue face au vent. (2) Un arbre secondaire est lié à l'arbre principal, par un système de poulie courroie : deux poulies propulsives montées de part et d'autre de la poulie motrice entraînent l'arbre traversant la dynamo. Le système de courroies est en tension, ce qui permet un fonctionnement de l'ensemble et une vitesse de rotation du rotor de la dynamo suffisante à la production d'une tension moyenne de 75 volts (3). (4) et (5) La dynamo est reliée électriquement à 12 batteries installées dans la cave. Elles permettent le stockage de l'électricité. Cette installation alimente 100 lampes de la maison et 3 moteurs électriques. L'éolienne de Brush fonctionnera pendant 20 ans.



La radioactivité est présente dans toute la matière et compose le monde vivant. C'est à partir de la découverte de la radioactivité naturelle par Henri Becquerel, que se développent les recherches sur cette forme d'énergie basée sur l'étude de l'atome.

La radioactivité, terme inventé par Marie Curie en 1898, est la propriété de certains noyaux atomiques de perdre spontanément de leur masse en émettant des particules ou des rayonnements. Elle marque profondément le XX<sup>e</sup> siècle grâce à ses applications médicales (traitements de tumeurs...), militaires, (bombe atomique) et dans la vie quotidienne (production d'énergie).

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, la connaissance de l'atome et de la radioactivité progresse rapidement. En 1899, plusieurs scientifiques montrent l'existence de deux types de rayonnements émis par l'uranium : Ernest Rutherford les nomme rayons alpha et beta et, en 1911, il démontre la présence d'un noyau au centre de l'atome. En 1913, Niels Bohr élabore le modèle de l'atome constitué d'électrons gravitant autour du noyau. James Chadwick met en évidence, en 1932, l'existence du neutron.

Dans le domaine de l'énergie, la révolution a lieu avec la découverte de la fission nucléaire et de ses applications. Le premier réacteur nucléaire, conçu par Enrico Fermi en 1942, ouvre la voie d'une nouvelle ère énergétique et révolutionne le monde de l'énergie.

#### At the Core of the Atom

Radioactivity is present in all matter and makes up the living world. After Henri Becquerel's discovery of natural radioactivity, scientists focused on researching the form of energy through studies of the atom.

Marie Curie coined the term "radioactivity" in 1898 to describe the process whereby the nucleus of some atoms loses mass by emitting particles or waves. The 20th century was profoundly marked by the application of radioactivity in medicine (treating tumors), military (atomic bombs), and daily life (nuclear power generation).

Scientific knowledge about atoms and radioactivity advanced rapidly throughout the 20th century. In 1899 several scientists demonstrated the existence of two types of ray emitted by uranium. Ernest Rutherford named them alpha and beta rays, and went on to prove the existence of a nucleus in the core of the atom in 1911. Niels Bohr developed the model of an atom in 1913, showing it to be made up of electrons orbiting around a nucleus. In 1932, James Chadwick proved the existence of the neutron.

The discovery of nuclear fission and its applications revolutionized energy production, with Enrico Fermi's design for the first nuclear reactor in 1942 opening the way for a new era of power generation.

#### In de kern van het atoom

Radioactiviteit is aanwezig in alle materie en vormt de levende wereld. Door de ontdekking van natuurlijke radioactiviteit door Henri Becquerel werd het onderzoek naar deze energieform uitgeroepen tot een van de sleutels van het atoom.

Radioactiviteit, een term die in 1898 werd uitgevonden door Marie Curie, is de eigenschap van bepaalde atoomkernen spontaan massa te verliezen door het uitzenden of stralen. Radioactiviteit is een belangrijke ontwikkeling in de 20e eeuw, vanwege de medische (kankerbestrijding) en militaire toepassingen (atombommen), en de toepassing in het dagelijks leven (energieproductie).

In de loop van de 20e eeuw nam de kennis van het atoom en van de radioactiviteit snel toe. In 1899 kwamen verschillende onderzoekers erachter dat uranium twee soorten straling uitstraalt. Ernest Rutherford noemde ze alpha- en betastraling. In 1911 bewees hij dat er een kern is in het midden van het atoom. In 1913 ontwikkelde Niels Bohr het atoommodel dat het bestaan van elektronen die rondom de kern draaien. James Chadwick ontdekte in 1932 het neutron.

De ontdekking van de kernsplijting en de toepassingen hiernaan zijn een revolutie op energiegebied. De eerste kernreactor in 1942, ontworpen door Enrico Fermi, vormt het begin van een nieuwe energieperiode en opent een nieuw hoofdstuk in de wereld van de energie.

La radioactivité est présente dans toute la matière et compose le monde vivant. C'est à partir de la découverte de la radioactivité naturelle par Henri Becquerel, que se développent les recherches sur cette forme d'énergie basée sur l'étude de l'atome.

La radioactivité, terme inventé par Marie Curie en 1898, est la propriété de certains noyaux atomiques de perdre spontanément de leur masse en émettant des particules ou des rayonnements. Elle marque profondément le XX<sup>e</sup> siècle grâce à ses applications médicales (traitements de tumeurs...), militaires, (bombe atomique) et dans la vie quotidienne (production d'énergie).

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, la connaissance de l'atome et de la radioactivité progresse rapidement. En 1899, plusieurs scientifiques montrent l'existence de deux types de rayonnements émis par l'uranium : Ernest Rutherford les nomme rayons alpha et beta et, en 1911, il démontre la présence d'un noyau au centre de l'atome. En 1913, Niels Bohr élabore le modèle de l'atome constitué d'électrons gravitant autour du noyau. James Chadwick met en évidence, en 1932, l'existence du neutron.

Dans le domaine de l'énergie, la révolution a lieu avec la découverte de la fission nucléaire et de ses applications. Le premier réacteur nucléaire, conçu par Enrico Fermi en 1942, ouvre la voie d'une nouvelle ère énergétique et révolutionne le monde de l'énergie.



Henri Becquerel  
(1852 – 1908) France

**Le pionnier de la radioactivité**

Élevé dans une famille de grands physiciens, Henri Becquerel suit tout naturellement des études scientifiques. Tout à l'École polytechnique en être, il prépare simultanément un diplôme d'ingénieur des Ponts et Chaussées qu'il obtient en 1877. Mais très vite, Henri Becquerel est plus attiré par les sciences abstraites que par les sciences appliquées et soutient en 1888 une thèse en physique concernant les « Recherches sur l'absorption de la lumière ». En 1892, il succède à son grand-père Antoine et à son père Edmond à la chaire de physique du Muséum d'Histoire naturelle. En 1895, alors qu'il est professeur de physique à l'École polytechnique, l'allemand Wilhelm Röntgen découvre les rayons X. Henri Becquerel se demande alors si toutes les substances phosphorescentes émettent ce type de rayon ; son expérience réalisée sur les sels d'uranium en 1896 lui permet de découvrir ce qu'il nomme les rayons uraniques. C'est pour cette découverte qu'il obtient en 1903 avec Pierre et Marie Curie le prix Nobel de physique pour la radioactivité naturelle.

En 1895, alors qu'il est professeur de physique à l'École polytechnique, l'allemand Wilhelm Röntgen découvre les rayons X. Henri Becquerel se demande alors si toutes les substances phosphorescentes émettent ce type de rayon, son expérience réalisée sur les sels d'uranium en 1896 lui permet de découvrir ce qu'il nomme les rayons uraniques. C'est pour cette découverte qu'il obtient en 1903 avec Pierre et Marie Curie le prix Nobel de physique pour la radioactivité naturelle.

Membre de nombreuses académies étrangères, Henri Becquerel est élu à l'Académie des sciences en 1889, puis président et secrétaire perpétuel peu de mois avant sa mort. En 1975 son nom est donné à l'unité d'activité d'un corps radioactif, avec le symbole Bq (1 Bq correspond à une désintégration par seconde).

**La radioactivité naturelle**



Pour savoir si toutes les substances phosphorescentes émettent des rayons X, Henri Becquerel réalise une expérience en utilisant des sels d'uranium qu'il expose au soleil : le principe consiste à envelopper une plaque photographique (couplée avec une feuille de cuivre) dans une plaque de cuivre et un échantillon d'uranium afin d'observer l'empreinte des rayons. Quand il retente l'expérience, le mauvais temps le conduit à ranger son matériel dans un tiroir. À sa grande surprise, lorsqu'il développe la plaque quelques temps plus tard une empreinte est fixée malgré la non-exposition de l'uranium au soleil.

Il vient de découvrir que l'uranium émet spontanément des rayons sans apport d'énergie extérieure et indépendamment de sa nature phosphorescente. Il les nomme rayons uraniques. Pierre et Marie Curie poursuivent ses recherches sur le polonium et le radium et s'aperçoivent que ces substances comme l'uranium émettent eux aussi spontanément des rayons. Les trois scientifiques ont découvert la radioactivité naturelle.

**Henri Becquerel - (1852 – 1908) France**

**Le pionnier de la radioactivité**

Élevé dans une famille de grands physiciens, Henri Becquerel entame tout naturellement des études scientifiques. Entré à l'École polytechnique en 1872, il prépare simultanément un diplôme d'ingénieur des Ponts et Chaussées qu'il obtient en 1877. Mais très vite, Henri Becquerel est plus attiré par les sciences abstraites que par les sciences appliquées et soutient en 1888 une thèse en physique concernant les « Recherches sur l'absorption de la lumière ». En 1892, il succède à son grand-père Antoine et à son père Edmond à la chaire de physique du Muséum d'Histoire naturelle. En 1895, alors qu'il est professeur de physique à l'École polytechnique, l'allemand Wilhelm Röntgen découvre les rayons X. Henri Becquerel se demande alors si toutes les substances phosphorescentes émettent ce type de rayon ; son expérience réalisée sur les sels d'uranium en 1896 lui permet de découvrir ce qu'il nomme les rayons uraniques. C'est pour cette découverte qu'il obtient en 1903 avec Pierre et Marie Curie le prix Nobel de physique pour la radioactivité naturelle. Membre de nombreuses académies étrangères, Henri Becquerel est élu à l'Académie des sciences en 1889, puis président et secrétaire perpétuel peu de mois avant sa mort. En 1975 son nom est donné à l'unité d'activité d'un corps radioactif, avec le symbole Bq (1 Bq correspond à une désintégration par seconde).

**La radioactivité naturelle**

Pour savoir si toutes les substances phosphorescentes émettent des rayons X, Henri Becquerel réalise une expérience en utilisant des sels d'uranium qu'il expose au soleil : le principe consiste à envelopper une plaque photographique de papier noir sur laquelle sont déposés une plaque de cuivre et un échantillon d'uranium afin d'observer l'empreinte des rayons. Quand il retente l'expérience, le mauvais temps le conduit à ranger son matériel dans un tiroir. À sa grande surprise, lorsqu'il développe la plaque quelques temps plus tard une empreinte est fixée malgré la non-exposition de l'uranium au soleil. Il vient de découvrir que l'uranium émet spontanément des rayons sans apport d'énergie extérieure et indépendamment de sa nature phosphorescente. Il les nomme rayons uraniques. Pierre et Marie Curie poursuivent ses recherches sur le polonium et le radium et s'aperçoivent que ces substances comme l'uranium émettent eux aussi spontanément des rayons. Les trois scientifiques ont découvert la radioactivité naturelle.



## Lise Meitner - (1878 – 1968) Autriche

### La « Marie Curie » autrichienne

Entre 1901 et 1905, Lise Meitner étudie les mathématiques, la physique et la philosophie à l'université de Vienne. Elle se rend à Berlin en 1907 sans savoir que les femmes ne sont pas autorisées à faire des études supérieures en Allemagne. Max Planck, qui en est le directeur, lui permet d'intégrer le Kaiser Wilhelm Institut où elle rencontre Otto Hahn, jeune radiochimiste avec lequel elle travaillera pendant trente ans. Durant la Première Guerre mondiale, elle est volontaire sur le front de l'Est où elle utilise les appareils à rayons X dans les hôpitaux de l'armée, comme Marie Curie en France. Lorsqu'Enrico Fermi a l'idée de bombarder un neutron sur de l'uranium, Lise Meitner et Otto Hahn tentent de reproduire l'expérience. Mais en 1938, Lise Meitner, d'origine juive, est contrainte de fuir l'Allemagne nazie et trouve refuge en Suède. Là, elle continue d'entretenir une correspondance régulière avec Otto Hahn qui poursuit leurs travaux avec son assistant Fritz Strassmann. Lise Meitner réussit avec son neveu Otto Frisch à comprendre et à décrire la fission nucléaire qu'Otto Hahn et Fritz Strassmann ont observé dans leur laboratoire. Pourtant, elle ne signe pas le compte-rendu final de la découverte soumis à publication en décembre 1938 et c'est à Otto Hahn qu'est décerné le prix Nobel de chimie pour cette découverte en 1944. Sa contribution à la découverte de la fission est finalement reconnue en 1966 : elle reçoit alors la médaille Fermi du Président des États-Unis et de la Commission à l'Énergie atomique avec Otto Hahn et Fritz Strassmann.

#### La « Marie Curie » autrichienne

Entre 1901 et 1905, Lise Meitner étudie les mathématiques, la physique et la philosophie à l'université de Vienne. Elle se rend à Berlin en 1907 sans savoir que les femmes ne sont pas autorisées à faire des études supérieures en Allemagne. Max Planck, qui en est le directeur, lui permet d'intégrer le Kaiser Wilhelm Institut où elle rencontre Otto Hahn, jeune radiochimiste avec lequel elle travaillera pendant trente ans.

Durant la Première Guerre mondiale, elle est volontaire sur le front de l'Est où elle utilise les appareils à rayons X dans les hôpitaux de l'armée, comme Marie Curie en France. Lorsqu'Enrico Fermi a l'idée de bombarder un neutron sur de l'uranium, Lise Meitner et Otto Hahn tentent de reproduire l'expérience.

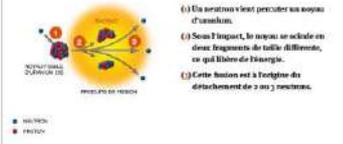
Mais en 1938, Lise Meitner, d'origine juive, est contrainte de fuir l'Allemagne nazie et trouve refuge en Suède. Là, elle continue d'entretenir une correspondance régulière avec Otto Hahn qui poursuit leurs travaux avec son assistant Fritz Strassmann. Lise Meitner réussit avec son neveu Otto Frisch à comprendre et à décrire la fission nucléaire qu'Otto Hahn et Fritz Strassmann ont observé dans leur laboratoire. Pourtant, elle ne signe pas le compte-rendu final de la découverte soumis à publication en décembre 1938 et c'est à Otto Hahn qu'est décerné le prix Nobel de chimie pour cette découverte en 1944.

Sa contribution à la découverte de la fission est finalement reconnue en 1966 : elle reçoit alors la médaille Fermi du Président des États-Unis et de la Commission à l'Énergie atomique avec Otto Hahn et Fritz Strassmann.

#### La fission nucléaire

En 1938, Lise Meitner et Otto Frisch donnent l'explication physique de l'expérience réalisée par Otto Hahn et Fritz Strassmann. Dans leur laboratoire de Berlin, les deux scientifiques bombardent un noyau d'uranium avec des neutrons et obtiennent deux noyaux plus légers. En effet, un neutron, qui n'est pas chargé électriquement peut s'approcher du noyau sans être repoussé et donc réussir à le « casser » en deux éléments appelés « produits de fission ». Ce phénomène de cassure est ce qu'on appelle la fission nucléaire.

Cette fission libère une énergie importante sans autre de chaleur utilisée encore de nos jours dans les centrales nucléaires.



30

### La fission nucléaire

En 1938, Lise Meitner et Otto Frisch donnent l'explication physique de l'expérience réalisée par Otto Hahn et Fritz Strassman. Dans leur laboratoire de Berlin, les deux scientifiques bombardent un noyau d'uranium avec des neutrons et obtiennent deux noyaux plus légers. En effet, un neutron, qui n'est pas chargé électriquement peut s'approcher du noyau sans être repoussé et donc réussir à le « casser » en deux éléments appelés « produits de fission ». Ce phénomène de cassure est ce qu'on appelle la fission nucléaire. Cette fission libère une énergie importante sous forme de chaleur utilisée encore de nos jours dans les centrales nucléaires.



**Frédéric Joliot**  
(1900 – 1958) France

**Un éminent scientifique**

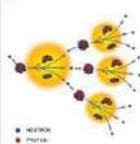
À 19 ans, Frédéric Joliot entre à l'École de physique et de chimie de Paris. Grâce à son professeur Paul Langevin, il devient préparateur particulier de Marie Curie à l'Institut du radium où il rencontre sa fille Irène qu'il épouse en 1926. Frédéric Joliot mène avec sa femme des recherches sur la structure de l'atome et ils découvrent la radioactivité artificielle en 1934 : ils arrivent à obtenir du phosphore radioactif qui n'existe pas dans la nature. Ils reçoivent le prix Nobel de chimie en 1935 pour cette découverte qui aura des incidences majeures, notamment sur l'imagerie médicale.

En 1937, Frédéric Joliot est nommé professeur de chimie nucléaire au Collège de France et directeur de laboratoire de physique atomique de la Caisse nationale de la recherche scientifique. Quand, le 6 janvier 1939, Otto Hahn et Fritz Strassmann apportent à la communauté scientifique la preuve de la fission de l'uranium, cette nouvelle fait sensation et provoque une émulation auprès des scientifiques de France. Frédéric Joliot informe l'Académie des sciences le 30 janvier qu'une réaction en chaîne est possible et le démontre en février avec Hans Von Halban et Lew Kowarski.

Pendant la Seconde Guerre mondiale, Frédéric Joliot cache son matériel pour empêcher qu'il ne tombe aux mains de l'ennemi. La course au nucléaire et à l'arme atomique a commencé. Il s'engage alors progressivement dans la résistance.

Nommé à la Libération, haut-commissaire à l'énergie atomique, il est révoqué le 26 avril 1950 après avoir signé l'appel de Stockholm pour l'interdiction de l'arme atomique. En 1958, des obsèques nationales sont organisées pour lui rendre hommage, comme pour son épouse deux ans auparavant.

**La réaction en chaîne**



Frédéric Joliot apporte en janvier 1939 la preuve expérimentale de la fission des noyaux d'uranium découverte par Lise Meitner, Otto Hahn et Fritz Strassmann. Il met en évidence la libération de neutrons lors de la fission. Frédéric Joliot compréhend qu'une réaction en chaîne est possible sous certaines conditions : les neutrons libérés lors de la première fission peuvent provoquer une nouvelle fission en « cassant » un autre noyau d'uranium et ainsi de suite. Harnish avec Hans von Halban et Lew Kowarski à démontrer expérimentalement qu'une réaction en chaîne peut se produire. Craignant d'être devancé par l'équipe d'Enrico Fermi et Leó Szilárd aux États-Unis, Frédéric Joliot charge Hans Von Halban de déposer par le premier avion au départ pour Londres, un article sur leur découverte pour la revue Nature.

**Frédéric Joliot - (1900 – 1958) France**

**Un éminent scientifique**

À 19 ans, Frédéric Joliot entre à l'École de physique et de chimie de Paris. Grâce à son professeur Paul Langevin, il devient préparateur particulier de Marie Curie à l'Institut du radium où il rencontre sa fille Irène qu'il épouse en 1926. Frédéric Joliot mène avec sa femme des recherches sur la structure de l'atome et ils découvrent la radioactivité artificielle en 1934 : ils arrivent à obtenir du phosphore radioactif qui n'existe pas dans la nature. Ils reçoivent le prix Nobel de chimie en 1935 pour cette découverte qui aura des incidences majeures, notamment sur l'imagerie médicale. En 1937, Frédéric Joliot est nommé professeur de chimie nucléaire au Collège de France et directeur du laboratoire de synthèse atomique de la Caisse nationale de la recherche scientifique. Quand, le 6 janvier 1939, Otto Hahn et Fritz Strassmann apportent à la communauté scientifique la preuve de la fission de l'uranium, cette nouvelle fait sensation et provoque une émulation auprès des scientifiques de l'atome. Frédéric Joliot informe l'Académie des sciences le 30 janvier qu'une réaction en chaîne est possible et le démontre en février avec Hans Von Halban et Lew Kowarski. Pendant la Seconde Guerre mondiale, Frédéric Joliot cache son matériel pour empêcher qu'il ne tombe aux mains de l'ennemi. La course au nucléaire et à l'arme atomique a commencé. Il s'engage alors progressivement dans la résistance. Nommé à la Libération, haut-commissaire à l'énergie atomique, il est révoqué le 26 avril 1950 après avoir signé l'appel de Stockholm pour l'interdiction de l'arme atomique. En 1958, des obsèques nationales sont organisées pour lui rendre hommage, comme pour son épouse deux ans auparavant.

**La réaction en chaîne**

Frédéric Joliot apporte en janvier 1939 la preuve expérimentale de la fission des noyaux d'uranium découverte par Lise Meitner, Otto Hahn et Fritz Strassmann. Il met en évidence la libération de neutrons lors de la fission. Frédéric Joliot comprend qu'une réaction en chaîne est possible sous certaines conditions : les neutrons libérés lors de la première fission peuvent provoquer une nouvelle fission en « cassant » un autre noyau d'uranium et ainsi de suite. Il réussit avec Hans von Halban et Lew Kowarski à démontrer expérimentalement qu'une réaction en chaîne peut se produire. Craignant d'être devancé par l'équipe d'Enrico Fermi et Leó Szilárd aux États-Unis, Frédéric Joliot charge Hans Von Halban de déposer par le premier avion au départ pour Londres, un article sur leur découverte pour la revue Nature.

31



**L'homme de la « pile »**

Doté pour les mathématiques, Enrico Fermi reçoit une bourse pour étudier à l'École Normale Supérieure de Pise, établissement de renommée internationale, et il obtient son doctorat de physique en 1922. Ses recherches vont se concentrer notamment sur les rayons X, l'électrodynamique et la relativité. Il enseigne pendant deux années à l'université de Florence avant d'être nommé professeur de physique théorique à l'université de Rome.

Il obtient le prix Nobel de physique en 1938 et découvre le rôle des neutrons lents dans les réactions nucléaires. Suite au décret royal italien, fixant les « mesures pour la défense de la race dans les écoles fascistes », Enrico Fermi émigre avec sa femme juive et sa famille aux États-Unis le 2 janvier 1939. Il enseigne alors à l'université Columbia et poursuit ses recherches avec Leó Szilárd. En 1942, il construit le premier réacteur expérimental réalisant la réaction en chaîne de la fission de l'uranium : la pile atomique. Parallèlement, dans l'équipe de Robert Oppenheimer, il participe au projet Manhattan qui aboutit à la création de la bombe atomique.

Suite au décret royal italien, fixant les « mesures pour la défense de la race dans les écoles fascistes », Enrico Fermi émigre avec sa femme juive et sa famille aux États-Unis le 2 janvier 1939. Il enseigne alors à l'université Columbia et poursuit ses recherches avec Leó Szilárd. En 1942, il construit le premier réacteur expérimental réalisant la réaction en chaîne de la fission de l'uranium : la pile atomique. Parallèlement, dans l'équipe de Robert Oppenheimer, il participe au projet Manhattan qui aboutit à la création de la bombe atomique.

**La pile atomique**



Enrico Fermi prend conscience du potentiel énergétique de la fission nucléaire et cherche à savoir comment utiliser l'énergie libérée lors d'une réaction en chaîne. Grâce à ses calculs théoriques, il détermine la masse critique d'uranium nécessaire pour créer une réaction nucléaire contrôlée : si la quantité de neutrons libérés est trop faible, la réaction en chaîne s'arrête ; si elle est trop importante, elle va créer sans contrôle, libérant trop d'énergie et provoquant une explosion nucléaire. Pour freiner la réaction, il utilise de l'eau lourde et du cadmium, deux composants chargés d'absorber l'excès de neutrons libérés lors de la réaction en chaîne. Ces travaux aboutissent à la création et au fonctionnement de la première pile atomique, autrement dit le premier réacteur nucléaire, qui délivre quelques centaines de watts pendant 28 minutes. Le nom de « pile » est lié à l'empilement des éléments constituant la réaction (6 tonnes d'uranium métallique, 34 tonnes d'oxyde d'uranium et 400 tonnes de graphite).

La première pile atomique française appelée Zoé est, quant à elle, mise au point par Frédéric Joliot et son équipe. Elle est testée le 15 décembre 1948. Le procédé de la pile atomique est toujours utilisé dans les centrales nucléaires pour produire de l'électricité.

La première pile atomique française appelée Zoé est, quant à elle, mise au point par Frédéric Joliot et son équipe. Elle est testée le 15 décembre 1948. Le procédé de la pile atomique est toujours utilisé dans les centrales nucléaires pour produire de l'électricité.

**Enrico Fermi - (1901 – 1954) Italie**

**L'homme de la « pile »**

Doué pour les mathématiques, Enrico Fermi reçoit une bourse pour étudier à l'École Normale Supérieure de Pise, établissement de renommée internationale, et il obtient son doctorat de physique en 1922. Ses recherches vont se concentrer notamment sur les rayons X, l'électrodynamique et la relativité. Il enseigne pendant deux années à l'université de Florence avant d'être nommé professeur de physique théorique à l'université de Rome. Il obtient le prix Nobel de physique en 1938 et découvre le rôle des neutrons lents dans les réactions nucléaires. Suite au décret royal italien, fixant les « mesures pour la défense de la race dans les écoles fascistes », Enrico Fermi émigre avec sa femme juive et sa famille aux États-Unis le 2 janvier 1939. Il enseigne alors à l'université Columbia et poursuit ses recherches avec Leó Szilárd. En 1942, il construit le premier réacteur expérimental réalisant la réaction en chaîne de la fission de l'uranium : la pile atomique. Parallèlement, dans l'équipe de Robert Oppenheimer, il participe au projet Manhattan qui aboutit à la création de la bombe atomique.

**La pile atomique**

Enrico Fermi prend conscience du potentiel énergétique de la fission nucléaire et cherche à savoir comment utiliser l'énergie libérée lors d'une réaction en chaîne. Grâce à ses calculs théoriques, il détermine la masse critique d'uranium nécessaire pour créer une réaction nucléaire contrôlée : si la quantité de neutrons libérés est trop faible, la réaction en chaîne n'aura pas lieu ; si elle est trop importante, elle va croître sans contrôle, libérant trop d'énergie et provoquant une explosion nucléaire. Pour freiner la réaction, il utilise de l'eau lourde et du cadmium, deux composants chargés d'absorber l'excès de neutrons libérés lors de la réaction en chaîne. Ces travaux aboutissent à la création et au fonctionnement de la première pile atomique, autrement dit le premier réacteur nucléaire, qui délivre quelques centaines de watts pendant 28 minutes. Le nom de « pile » est lié à l'empilement des éléments constituant la réaction (6 tonnes d'uranium métallique, 34 tonnes d'oxyde d'uranium et 400 tonnes de graphite). La première pile atomique française appelée Zoé est, quant à elle, mise au point par Frédéric Joliot et son équipe. Elle est testée le 15 décembre 1948. Le procédé de la pile atomique est toujours utilisé dans les centrales nucléaires pour produire de l'électricité.

