


**Alors que la croissance économique liée à la sidérurgie commence à faiblir, s'amorce dans les années 1880 une seconde révolution industrielle, stimulée par de nouvelles grappes d'innovations liées à l'électricité, au pétrole ou à la chimie. De nouveaux moteurs permettent d'augmenter la vitesse des transports et de les diversifier. Le tournant du siècle coïncide avec l'envol de l'aluminium et le début de l'âge automobile.**

L'industrie n'est plus seulement localisée près des mines de fer ou des bassins houillers mais touche désormais de nouvelles régions comme les vallées alpines productrices de houille blanche. De nouvelles puissances industrielles se développent et rattrapent la vieille Europe: les Etats-Unis ou le Japon d'abord, puis dans l'Entre Deux Guerres l'URSS et des nouveaux pays émergents comme le Brésil.



 **1** Horloge-mère de Stanislas Fournier, 1857. Inv. 6918

## I- LA MESURE DU TEMPS

Les progrès de l'industrialisation conduisent à de nouveaux besoins en ce qui concerne le décompte du temps. Maintenant que le travail se fait avec des machines coûteuses en investissement et en énergie, le temps, jadis dilaté et évalué de manière peu précise, devient une valeur qu'il ne faut pas perdre. Dénombrer précisément les heures de travail est alors une nécessité car l'ouvrier n'est plus payé à la tâche mais à l'heure. Pour cela, il faut une heure qui soit la même en divers endroits, dans le bureau du directeur comme dans la salle des machines.

Les progrès de l'électricité vont justement permettre de pouvoir aligner l'heure de plusieurs horloges-filles sur celle d'une horloge-mère qui transmet l'heure de manière électrique, créant un réseau horaire.

Le temps échappe ainsi à la perception individuelle pour devenir le temps de tous, celui fixé par les horloges institutionnelles des édifices publics.

Dès 1810, il existe à Greenwich, près de Londres, une boule horaire sonore visible qui donne l'heure précise à 13 heures pour tous les ports des alentours. Elle est bientôt reliée par un câble électrique à l'horloge de la Tour de Londres puis à la poste centrale. Par la suite, ce genre de système se généralise dans les pays industrialisés. La distribution électrique de l'heure devient alors un service payant auquel les particuliers peuvent s'abonner. Son extension suit celle des réseaux de chemins de fer. Mais cela pose des problèmes puisque chaque compagnie emploie son propre horaire, fondé sur l'heure locale de la principale ville qu'elle dessert.

La distribution électrique de l'heure implique la fixation d'un temps-étalon, d'un temps moyen, valable pour tous et qui remplace l'heure du cadran solaire, heure vraie, mais variable d'un endroit à l'autre. L'unification horaire à l'échelle d'un pays se réalise alors en liaison avec la volonté centralisatrice et modernisatrice des États. La France, en 1891, adopte une seule heure pour le territoire national, celle de Paris. Puis la mise au point d'une heure mondiale de référence devient nécessaire, ce qui exige des tractations longues et difficiles

entre pays pour parvenir à un accord. En 1850, le gouvernement des Etats-Unis opte pour l'heure Greenwich comme référence et par la suite, les autres pays s'aligneront, malgré les réticences de la France obligée cependant de s'y plier (vote de la Chambre en 1898 et du Sénat en 1911).

## II- ACIER, ALUMINIUM ET INDUSTRIE CHIMIQUE

Même si l'acier reste un des symboles de l'industrialisation, d'autres métaux vont à leur tour prendre de l'importance. C'est le cas des métaux non ferreux « communs » (aluminium, cuivre, plomb et zinc) puis des métaux « rares » (nickel, chrome, tungstène, manganèse, etc.), ces derniers étant essentiels à l'élaboration des aciers spéciaux ou « alliés ». On assiste ainsi à l'avènement d'un nouvel âge du cuivre qui sert dans les toitures, les paratonnerres, la robinetterie ou le chauffage. Son essor est lié au développement de l'électricité. Bon conducteur de chaleur, il est en effet apprécié pour la réalisation des câbles, des transformateurs ou des dynamos.

Parallèlement, l'industrie exploite les nouvelles découvertes de la chimie organique et en multiplie les applications.



### 1. L'acier

Le four à sole inventé par Pierre-Émile Martin en 1864 permet d'obtenir une coulée d'acier de bonne qualité à partir de fontes mêlées à des ferrailles de récupération. Le procédé exige des températures très élevées difficiles à atteindre, mais il est plus productif et plus simple à mettre en oeuvre que le procédé Bessemer<sup>1</sup>. Les hautes températures nécessaires sont atteintes grâce au chauffage au gaz de charbon, obtenu dans le gazogène et réchauffé dans les chambres de récupération situées sous le four. Ce

système, breveté par William Siemens, est repris par Martin.

Pour obtenir la nuance d'acier recherchée, on rajoute différents composants dans le four. L'acier fondu est coulé en lingots qui, démoulés, sont envoyés aux laminoirs puis transformés en profilés pour la construction, ou en rails de chemin de fer. L'essor du procédé Martin est d'ailleurs lié aux contrats avec les compagnies de chemin de fer qui échangent leurs vieux rails en fer contre des rails en acier. Cette industrie lourde assure l'essor des bassins sidérurgiques de Lorraine et de Saint-Étienne.



 **2**  *Acierie Martin des forges et fonderies de Saint-Étienne, 1912. Inv. 14482*

La production d'acier atteint 100 millions de tonnes à la veille de la Seconde Guerre mondiale ; depuis 1880, stimulée par la course aux armements ou le développement des pays neufs, elle a été multipliée par 20.

### 2. L'aluminium

En 1807, un chimiste anglais (1778-1829), Humphrey Davy, qui a réussi à séparer de nombreux éléments chimiques comme le sodium et le potassium, poursuit ses travaux sur un métal mystérieux qu'il baptise « *aluminium* » (à partir du nom latin d'alun) sans parvenir à l'isoler. Ce terme devient ensuite « *aluminum* », toujours employé aux États-Unis à la suite d'une coquille dans la rédaction du premier brevet de fabrication.

En 1854, Henri Sainte-Claire Deville présente à l'Académie des sciences le premier lingot d'aluminium sous le nom

<sup>1</sup> cf. Petit journal « L'âge industriel : l'ère du charbon », p. 6

« d'argile transformée en argent ». Il est en effet blanc et inaltérable comme l'argent mais il ne noircit pas à l'air, fusible et malléable comme le verre, mais plus léger et aussi bon conducteur que le cuivre. Le procédé chimique mis en application consiste à purifier la bauxite par du carbonate de sodium afin d'obtenir l'alumine. Mélangée à du sel marin et du charbon, celle-ci est portée à haute température et traitée avec du chlore gazeux, ce qui permet de séparer chlorure d'aluminium et sodium. L'aluminium chauffé dans un bain de cryolithe se débarrasse de ses sels se rassemble au fond du creuset d'où on le coule en lingots.



**3** Jumelles de théâtre en aluminium repoussé ciselé, vers 1865. Inv. PR 074 ; Bracelet en aluminium repoussé ciselé orné de grenats, vers 1860. Inv. PR 073 ; etc.

En 1859, la fabrication est confiée à Henry Merle, fondateur de l'usine de Salindres (Gard), berceau de l'actuelle société Aluminium Pechiney. D'abord considéré comme un métal précieux du fait du coût très élevé de sa production, l'aluminium est utilisé au départ en association avec de la nacre pour des bijoux ou de petits accessoires.

Mais en 1886 un nouveau procédé, électrolytique, breveté en 1886 simultanément en France par Paul Héroult et aux États-Unis par Charles-Martin Hall, supprime le procédé chimique Sainte-Claire Deville. La fabrication de l'aluminium exigeant alors d'énormes quantités d'électricité, les premières usines s'installent dans les Alpes et les Pyrénées pour profiter des chutes d'eau. La capacité

de production des cuves d'électrolyse est multipliée par six entre 1900 et 1930. Le prix de l'aluminium dégringole alors rapidement et ses usages se diversifient.

L'aluminium fait ainsi son apparition dans le quotidien de la ménagère dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, grâce aux casseroles légères. Le rouleau de feuilles d'aluminium, emballage hygiénique et opaque, se substitue progressivement aux feuilles d'étain utilisées pour le conditionnement du thé et du chocolat. Dès le début du XX<sup>e</sup> siècle, l'aluminium est disponible en quantité industrielle, L'Aluminium Français, cartel créé en 1911, cherche à élargir les applications des alliages d'aluminium à l'architecture, au mobilier ou à l'industrie électrique. Mais c'est l'aviation et ses développements consécutifs à la Première Guerre mondiale qui lui donnent ses lettres de noblesse. L'aluminium concerne également les autres modes de transport : cycle, automobile et chemin de fer et navigation.



**4** Rouleaux de papier aluminium, 1932. Inv. 16830-1

### 3. L'industrie chimique

L'application des nouvelles matières premières plastiques et synthétiques, inaugurée en 1868 avec le celluloïd, enregistre les taux de croissance les plus spectaculaires qui passent de 3 % en 1909 (invention de la bakélite) à plus de 10 % en 1936 (apparition du chlorure de polyvinyle : tuyaux, isolants, revêtements de sols, etc.). Elles tendent à remplacer avantageusement les métaux, le bois, le verre et les textiles naturels.



**5** Haut-parleur de récepteur T.S.F. en bakélite, 1929.  
Inv. 16728-22

L'industrie des colorants connaît des progrès fulgurants en Allemagne grâce aux laboratoires de recherche intégrés dans les usines. En 1863, la société Bayer découvre comment synthétiser de manière industrielle, à partir de la houille, un colorant rouge comparable à la garance, l'alizarine. Cette découverte est suivie bientôt par celle de la fuchsine puis du méthylène et de l'indigo en 1890. La société BASF *Badische Aniline und Soda Fabrik*, qui exploite les mêmes pistes, connaît un succès mondial et ouvre des usines aux Etats-Unis ou en France. Les grandes entreprises chimiques allemandes diversifient leurs activités et produisent de l'acide sulfurique ou réalisent la liquéfaction du chlore dans les années 1880, puis en 1909 la synthèse de l'ammoniac à partir d'azote et d'hydrogène permettant la fabrication d'engrais azotés (Hoechst) mais aussi des explosifs avec l'acide nitrique. La chimie fine et la pharmacie se développent avec la découverte de l'aspirine, de l'insuline et de la pénicilline. En 1925, pour limiter la concurrence, elles constituent le cartel l'IG Farben (*Interessen gesellschaft*) et se partagent le marché en se spécialisant.



**6** Usine pour l'acide sulfurique, modèle au 1/25°. Inv. 8976

### III- L'ERE DES GRANDS CHANTIERS

#### 1. Le canal de Suez, Egypte

A la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, la jonction entre la mer Rouge et la Méditerranée agite les esprits. De nombreux appels sont lancés, en France notamment, pour ouvrir une voie d'eau qui réduirait de moitié le temps de traversée sur la route des Indes. En 1798, lors de l'expédition d'Egypte, Bonaparte se rend dans l'isthme de Suez, explore les lieux puis commande une étude à l'ingénieur Le Père.

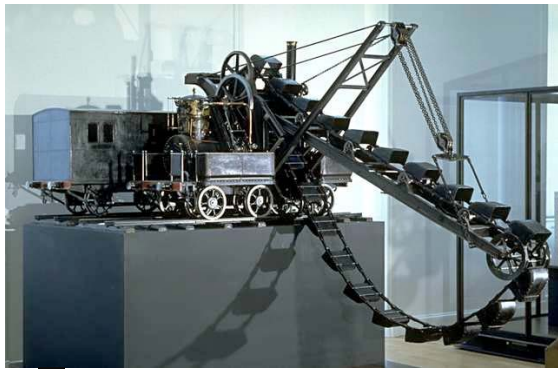
Ferdinand de Lesseps obtient la concession, en 1854, après avoir soumis son projet au vice-roi d'Egypte, Saïd Pacha. Cet ancien consul de France en Egypte fait un triple pari : technique, économique et politique. D'abord, il pense qu'un canal direct est possible, sans emprunter le Nil. Ensuite, il mise sur un développement de la marine à vapeur, qui en est encore à ses débuts.

Les travaux commencent le 25 avril 1859. Pendant près de cinq ans, creusement et terrassement sont réalisés par une main d'œuvre quasi-servile : 25 000 hommes fournis par Saïd Pacha dans le cadre de la corvée (travail obligatoire). Mais en 1863, du fait des problèmes rencontrés



(épidémies, révoltes), le système de la corvée est abandonné et l'on décide de mécaniser le chantier au maximum.

Alphonse Couvreur (1820-1890) est choisi pour le creusement du seuil rocheux. En trois ans, il arrache 9 millions de m<sup>3</sup> ! Le canal de Suez est inauguré le 17 novembre 1869.



**7** L'excavateur Couvreur, vers 1870. Inv. 9212

L'excavateur peut déblayer en terrain sec ou en terrain mouillé. Il circule sur une voie de service spéciale, à trois rails, qui avance au rythme des travaux et innerve complètement le chantier. La mécanisation arrive à point nommé pour répondre aux défis que posent les grands chantiers de génie civil, chemins de fer, canaux...

L'organe principal de l'excavateur est un chapelet de godets de forme spéciale qui raclent le terrain à déblayer. Les déblais se déversent dans des wagonnets basculants qui avancent sur une voie parallèle. Deux machines à vapeur sont nécessaires, l'une pour faire avancer le convoi, l'autre, plus puissante, pour l'extraction.

## 2. La rue de Rivoli, Paris, France

En 1878, l'entrepreneur Émile Desplanques construit rue de Rivoli, face aux Tuileries, un immeuble dont la façade reprend les prescriptions sévères édictées en 1802 lors du percement de la rue. L'enveloppe est en pierre de taille, mais les planchers reposent sur des armatures métalliques.



**8** Immeuble en construction rue de Rivoli, 1878. Inv. 9504

Cette maquette illustre l'utilisation des matériaux modernes produits par l'industrie, comme les poutres métalliques, mais uniquement sur les parties non visibles (façades sur cour) et aussi le recours à la vapeur (locomobile actionnant les treuils des sapines, mortier).

## 3. Le béton armé

Agrégat de sable, de gravier et de ciment, coulé dans des coffrages autour d'armatures en acier, le béton est un nouveau matériau de construction issu de l'industrie, qui s'impose par ses qualités de résistance à la compression et son faible coût. L'architecte Auguste Perret (1874-1954), fils d'un tailleur de pierre, est le premier à en systématiser l'usage sous l'expression de « béton esthétique ». Après la construction d'un immeuble rue Franklin en 1903, il réalise en 1911 le théâtre des Champs-Élysées, tentative originale pour imposer une esthétique nouvelle, plus dépouillée grâce à l'ossature en béton armé qui dégage de vastes espaces propices à la clarté.

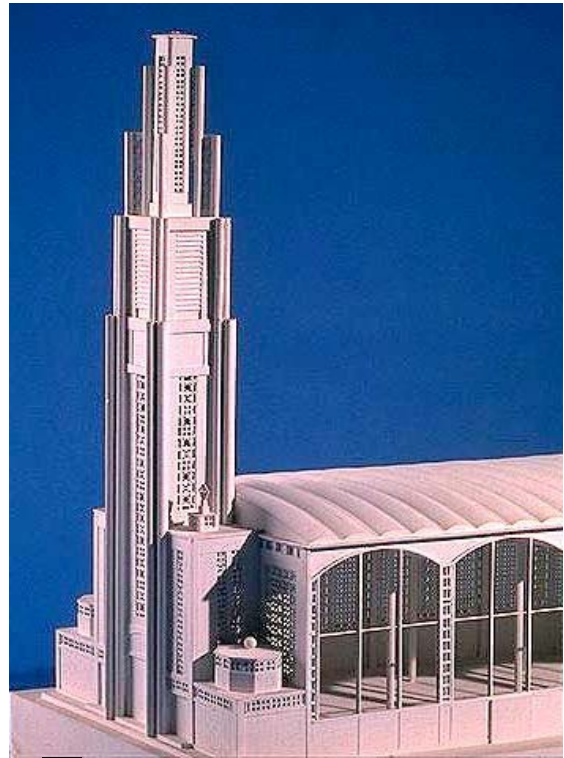
Trois salles de spectacle, des bureaux, des loges et salles de répétition se partagent un terrain exigu (40 m de façade et 100 m de longueur). La structure de la grande salle de 1200 places est portée par quatre paires de poteaux qui soutiennent deux grands arcs auxquels sont suspendus les planchers. Les balcons en porte-à-faux libèrent complètement la vue. Les murs et les planchers sont extrêmement minces.



**9** Ossature en béton armé, Théâtre des Champs-Élysées, 1913. Inv. 43968

Le béton armé est une technique qui permet également de gagner en rapidité puisque les différents éléments peuvent être préfabriqués de manière industrielle et standardisée. En 1923 Auguste Perret achève ainsi la construction de Notre-Dame du Raincy commencée un an auparavant. Il reprend un projet d'un confrère mais l'adapte et le simplifie en se servant du béton. Les colonnes élancées qui soutiennent seules la voûte sont constituées de segments de diamètre identique quelle que soit leur place dans l'édifice. Les murs libérés de tout rôle porteur sont ajourés par des claustras moulés fabriqués en série qui laissent pénétrer une grande luminosité à l'intérieur et valent à cette église son surnom de « Sainte-Chapelle du béton ». La façade de l'église est dominée par un clocher dont les retraits successifs en baïonnette constituent un rappel de la structure traditionnelle d'une église gothique. Si la technique de Perret est révolutionnaire, les formes des constructions d'Auguste Perret restent en effet néoclassiques. L'usage du béton devient systématique pendant les années

trente dans les grandes constructions publiques comme les locaux du ministère de la Marine ou du Mobilier national. La reconstruction du Havre permet au béton de s'imposer définitivement, y compris dans l'habitat.



**10** Eglise Notre-Dame du Raincy, 1923. Inv. 40905

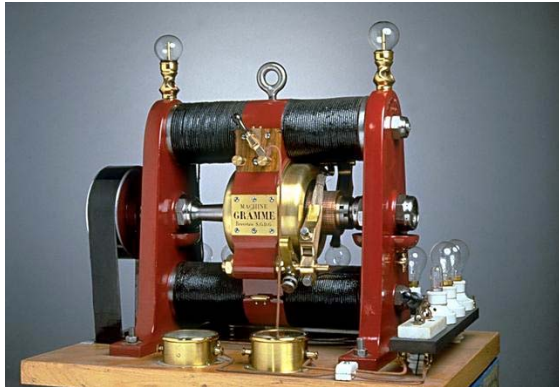
#### IV- LA DYNAMO ET LA LAMPE

L'invention de la dynamo par le Belge Z. Gramme (1872), celle de l'ampoule électrique par T. Edison (1881) et l'idée d'utiliser le courant des rivières sont à l'origine du triomphe de l'électricité.

##### 1. La dynamo

Présentée à l'Académie des Sciences en 1871, la dynamo de Zénobe Gramme est considérée comme la première génératrice moderne de courant. Elle inaugure une nouvelle ère, dominée par l'électricité qui, petit à petit, va bouleverser le travail et la vie quotidienne des habitants des pays industrialisés. Depuis l'invention de la pile, on sait produire du courant par réactions chimiques. La découverte de

l'électromagnétisme et du phénomène de l'induction magnétique amène les savants à concevoir un autre type de générateur, la magnéto, qui convertit le mouvement en électricité grâce à des aimants. Le rendement des magnétos est faible, mais elles sont exploitées par la première société électrotechnique du monde, l'Alliance, fondée en 1852 pour l'éclairage des phares sur les côtes.



**11** 📖 *Dynamo de Gramme, 1871. Inv. 9492.*

La dynamo, dont les aimants permanents de la magnéto sont remplacés par des électro-aimants et qui présente un induit en anneau avec bobinage continu, a un rendement bien supérieur. Elle offre un autre avantage de taille, qui n'avait pu être exploité sur les magnétos qui débitent un courant faible et inconstant : la réversibilité. Alimentée en courant, la dynamo peut se transformer en moteur. Ateliers et demeures familiales peuvent enfin être équipées d'un moteur léger, peu encombrant et sans danger.

En 1869, l'ingénieur français Bergès découvre ce qu'il surnomme la « houille blanche », c'est-à-dire le moyen de produire de l'électricité à partir de chutes d'eau équipée de turbines. Cette invention peine au départ à être suivie d'innovations compte tenu du problème posé par le transport de l'électricité.

La forte déperdition d'énergie durant le transport est en partie vaincue en 1881 par les travaux de Deprez et la mise au point du transformateur.

## 2. L'ampoule électrique

En 1878, Edison dépose un brevet pour sa lampe à filament très fin, plus mince à l'endroit où doit apparaître l'incandescence. A la suite de plusieurs essais, il obtient une lampe qui dure 800 heures ! En décembre 1879, Edison prouve l'efficacité de son système en illuminant sa maison de Menlo Park. La lampe à incandescence est opérationnelle en 1881, étonnant les visiteurs de la première exposition d'électricité.



**12** 📖 *Lampe électrique à incandescence, vers 1900. Inv. 13637-41*


## V- LA VIE DOMESTIQUE

La distribution d'électricité dans les foyers ne s'est développée qu'aux alentours de 1920, même si, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, Londres, New York et Paris avaient été pourvus des premières installations de câbles destinés à cet usage. Munis d'une résistance qui convertissait l'électricité en chaleur, la bouilloire, la cuisinière, le radiateur et le fer à repasser furent les premiers appareils ménagers à être électrifiés. Puis apparut une deuxième génération d'appareils qui convertissaient l'électricité en mouvement : aspirateurs, sèche-cheveux, batteurs électriques, et moulins à café... Ils allaient transformer le travail domestique. L'utilisation de l'électroménager se développera aux Etats-Unis dans les années 1940, et seulement 10 ans plus tard en Europe. Ceci est dû à la persistance du modèle aristocratique qui repose sur le recours à une nombreuse domesticité, y compris dans la bourgeoisie, signe de réussite sociale. L'importance du



cadre rural freine aussi le développement des produits manufacturés avec le maintien à la campagne de nombreux artisans.



 **13** Aspirateur multi-fonctions « Tornado AP », vers 1930. Inv. PR016


## VI- PETROLE, ELECTRICITE ET TRANSPORTS

Les formes nouvelles d'énergie, inaugurées par la deuxième révolution industrielle, ont entraîné de profonds changements dans les transports.

### 1. Le tramway inaugure l'ère des transports urbains modernes

Les grandes avenues en sont équipées, puis les axes reliant le centre à la banlieue. Après 1900, le métro électrique commence à prendre le relais. Ces transports de masse de plus en plus rapides permettent d'étendre la superficie des villes et de les désengorger.




 **14** Tramway de la ligne Arts et Métiers-Institut, 1906. Inv. 13808

La ligne Arts et Métiers-Institut desservait le cœur de Paris, à l'aide d'automotrices équipées pour courant continu à 110 volts. Les tramways, presque disparus de nos villes dans les années 1930, réapparaissent aujourd'hui.

### 2. L'automobile

L'extraction du pétrole, d'abord aux États-Unis et en Russie vers 1860, s'est développée véritablement au moment où le moteur à combustion interne, mis au point en 1878 par l'ingénieur Nikolaus Otto puis adapté par Daimler et Benz, permet la création de l'automobile. Les moteurs à essence présentés lors de l'Exposition universelle de Paris en 1889, à côté de voitures à vapeur, séduisent des industriels français, tels Panhard-Levassor et Peugeot, qui en achètent la licence. Leurs premiers tricycles et quadricycles à essence sont vendus en 1891 à de riches curieux, pour une petite fortune.



 **15** Quadricycle Peugeot, 1893. Inv. 16593


Leur maniement et leur maintenance sont compliqués et pénibles, mais ils peuvent rouler à 20 km/h. Les roues du quadricycle Peugeot de 1893 sont gainées de caoutchouc, précédant de peu la mise au point du pneumatique par Dunlop à Belfast et Michelin à Clermont-Ferrand. D'autres progrès tels que la boîte de vitesses en 1899, le démarreur électrique en 1905 et la suspension en 1906 favorisent un véritable boom de l'automobile. Celui-ci est visible dès le premier salon organisé par l'Automobile Club en 1898 au jardin des Tuileries à Paris où, parmi plus de mille exposants, les Français apparaissent comme les premiers constructeurs mondiaux. A cette époque circulent trois



types de véhicules : voitures à vapeur comme les de Dion, voitures électriques comme la *Jamais Contente* de Jenatzy qui roule en vitesse de pointe à 100 km/h, celles à moteur à essence de Panhard et Levassor ou Renault qui vont peu à peu éliminer leurs concurrentes.

L'automobile reste un véhicule artisanal de luxe jusqu'à ce que le constructeur américain Henry Ford produise à partir de 1908, grâce à l'adoption du travail à la chaîne, la première voiture de grande série, le modèle « T ». En vingt ans, il en vend quinze millions, bouleversant le mode de vie américain.




 **15** 🚗 Ford T, 1908. Inv. 18944

L'automobile devient le symbole de la nouvelle civilisation de consommation de masse. Un véhicule pour à peine plus de deux personnes aux États-Unis en 1970 contre un pour huit habitants en Europe occidentale !

### 3. L'avion

Après des débuts difficiles comme les premières tentatives de Clément Ader en 1890 avec son *Eole*, la fabrication d'aéroplanes reste longtemps du domaine de l'artisanat et l'aviation un sport réservé à une élite richissime et disponible. C'est en France que l'industrie aéronautique se développe le plus. En 1909, Blériot franchit la Manche et Roland Garros la Méditerranée en 1913.

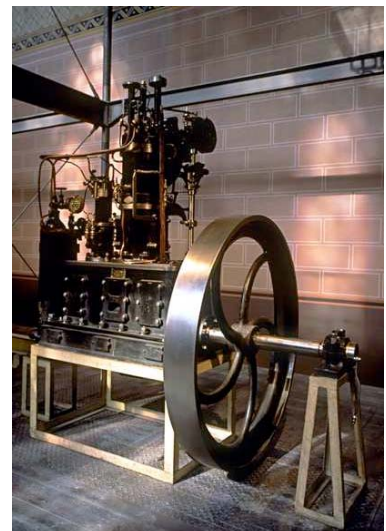



 **16** Avion Bleriot XI, 1909. Inv. 18944

En 1914, 300 avions et 1000 moteurs sont produits par an en France, dont la moitié pour l'exportation. Le tiers des effectifs de l'industrie aéronautique mondiale y travaille. C'est la guerre qui consacre l'avion et stimule la production.

## VII- LE MOTEUR DIESEL

Rudolf Diesel met au point en 1892 un moteur dans lequel la compression est augmentée considérablement. À l'intérieur du cylindre, la température est alors suffisante pour enflammer le combustible injecté sous une très forte pression. D'un rendement élevé, il rejette peu de polluants gazeux, en revanche il émet des particules de carbone solide polluantes et toxiques.



 **17** Moteur Diesel, 1892. Inv. 20774

Rédaction : C. Maillé-Virole

Photos : © Musée des arts et métiers/ CNAM

Sources :

Élisabeth Drye, *Histoire des techniques de l'an Mil à nos jours*, Hatier, 1992

Yves Carsalade, *Les grandes étapes de l'histoire économique*, Ellipses, 1998

*Histoire économique et sociale de la Grande Bretagne*, Ed. du Seuil, « L'Univers Historique », Tome 2

*Textes et documents pour la classe (CNDP)* :

L'acier (n°588, mai 1991) et le chemin de fer français (mai 1985, n°347)

Françoise Boucher-Caballo, *La vapeur*, Écomusée du Creusot, 1992

Jean-Yves Andrieux et François Lassus, *Du bas fourneau à l'architecture métallique*, Musée des techniques et des cultures comtoises, Coll.

Ressources patrimoine, 1999

Jean-Yves Andrieux, *Les travailleurs du fer*, Coll. découvertes Gallimard, 1991