

Léon Gérardin

---

La Terre

---

~~1899~~

~~B. P. im. L.~~

Paris  
G. Masson Editeur

1000072451



CO

<i>Éléments</i>	DIN,
officier	dans
le texte.. .. .	2 fr. 50

**LES PLANTES**

*Éléments de Botanique théorique et appliquée*, par M. Léon GERARDIN, officier de l'Instruction publique. 2<sup>e</sup> édition, avec 307 figures dans le texte..... 2 fr. 50

**LA TERRE**

*Éléments de Cosmographie, de Météorologie et de Géologie théorique et appliquée*, par M. Léon GÉRARDIN, officier de l'Instruction publique, avec 291 figures dans le texte..... 3 fr.

**PREMIÈRES NOTIONS DE ZOOLOGIE**

Par M. Paul BERT, membre de l'Institut, professeur à la Faculté des sciences de Paris. 4<sup>e</sup> édition, avec 345 figures..... 2 fr. 50

**PREMIÈRES NOTIONS DE BOTANIQUE**

Par M. ÉMERY, doyen de la Faculté des sciences de Dijon. 3<sup>e</sup> édition, avec 232 figures dans le texte..... 2 fr. 50

**PREMIÈRES NOTIONS SUR LES PIERRES ET LES TERRAINS**

Par M. Stanislas MEUNIER, docteur ès sciences. 2<sup>e</sup> édit., avec 63 fig. 2 fr.

**NOTIONS GÉNÉRALES DE GÉOLOGIE**

Par M. Edm. HÉBERT, membre de l'Institut; avec 54 figures dans le texte..... 2 fr.

**NOTIONS DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE**

Par M. E. FERNET, inspecteur général de l'Instruction publique. 2<sup>e</sup> édition, avec 172 figures dans le texte..... 2 fr. 50

**COURS DE PHYSIQUE**

**POUR LES CLASSES DE LETTRES**

Par M. E. FERNET, inspecteur général de l'Instruction publique. Nouvelle édition. 1 fort volume in-18, divisé en 3 parties.... 6 fr.

**ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES**

Par M. Paul BERT, membre de l'Institut. Ouvrage rédigé d'après les programmes du 28 juillet 1882 pour l'Enseignement secondaire des jeunes filles; avec 270 figures dans le texte..... 3 fr. 50

**ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES**

Par M. A. MILNE-EDWARDS, membre de l'Institut. 2<sup>e</sup> édition, avec 241 figures dans le texte..... 3 fr. »

COLLECTION IN-18, CARTONNÉE TOILE ANGLAISE

ZOOLOGIE MÉTHODIQUE ET DESCRIPTIVE

Par M. E. MILNE-EDWARDS, membre de l'Institut. 3<sup>e</sup> édition, avec 487 figures dans le texte..... 3 fr.

COURS D'HISTOIRE NATURELLE

Professé à l'École normale supérieure d'institutrices (Fontenay-aux-Roses), par M. Stanislas MEUNIER, docteur ès sciences.

PREMIÈRE PARTIE : *Anatomie et physiologie, zoologie*. Avec 395 figures dans le texte..... 4 fr.

DEUXIÈME PARTIE : *Botanique et géologie*. Avec 579 figures dans le texte..... 4 fr.

STRUCTURE ET PHYSIOLOGIE DE L'HOMME

Démontrées à l'aide de figures coloriées, découpées et superposées par M. Achille COMTE. 12<sup>e</sup> édition, avec 8 planches gravées en taille-douce et figures dans le texte, cartonné avec luxe..... 6 fr.

PRÉCIS D'HISTOIRE NATURELLE

*Zoologie, Botanique, Géologie*, par M. Alphonse MILNE-EDWARDS, membre de l'Institut. 18<sup>e</sup> édition, avec 411 figures. Broché. 3 fr. »  
Cartonné toile..... 3 fr. 40

PRÉCIS DE PHYSIQUE

Par M. E. FERNET, inspecteur général de l'Instruction publique. 17<sup>e</sup> édition, entièrement remaniée, avec 305 figures dans le texte. Broché..... 3 fr. — Cartonné toile..... 3 fr. 40

PRÉCIS DE CHIMIE

Par M. TROOST, membre de l'Institut. 21<sup>e</sup> édition, conforme aux programmes et suivie de quelques notions de chimie organique, avec 222 figures dans le texte. Broché. 3 fr. — Cartonné toile. 3 fr. 40

GÉOMÉTRIE ÉLÉMENTAIRE

POUR LES CLASSES DE LETTRES

Par M. Ch. VACQUANT, inspecteur général de l'Instruction publique. Nouvelle édition, avec 391 figures..... 3 fr.

ÉLÉMENTS DE GÉOMÉTRIE

POUR LES CLASSES DE MATHÉMATIQUES ÉLÉMENTAIRES

Par M. Ch. VACQUANT, avec 614 figures..... 4 fr.

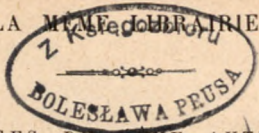




# LA TERRE

579

A LA METÉOROLOGIE



OUVRAGES DU MEME AUTEUR

Adoptés par la Ville de Paris et inscrits sur la liste des livres qu'elle fournit gratuitement à ses écoles.

**Les Plantes.** — Éléments de botanique théorique et appliquée (2<sup>e</sup> édition). 1 vol. in-18, avec 305 figures dans le texte.

Prix, cartonné..... 2 fr. 50

**Les Bêtes.** — Éléments de zoologie théorique et appliquée. 1 vol. in-18, avec 356 figures dans le texte. Prix, cartonné..... 3 fr.

EN PRÉPARATION

**L'Homme.** — Éléments de physiologie et d'hygiène, de préhistoire et d'ethnographie. 1 vol. in-18, avec plus de 300 figures dans le texte.

Conçus dans le même esprit et sur le même plan, les 4 volumes, *Les Plantes, les Bêtes, la Terre et l'Homme*, donnent un cours complet d'histoire naturelle. Ces ouvrages, aussi remarquables par leur exécution typographique que par leur valeur didactique, présentent cet enseignement sous une forme entièrement nouvelle, alliant, dans une sage mesure, la *théorie à l'application*. Ce n'est plus la *Leçon de choses*; ce n'est pas encore la *Science pure*, mais l'enseignement primaire, élémentaire et supérieur, avec son caractère à la fois scientifique et pratique. Ils entrent exactement dans le ton des cours complémentaires et des écoles professionnelles. Nous pouvons ajouter qu'ils réunissent excellemment toutes les qualités de livres de prix et de bibliothèque scolaire.



963-84. — Corbett

144956  
2306443

# LA TERRE

ÉLÉMENTS DE COSMOGRAPHIE, DE MÉTÉOROLOGIE  
ET DE GÉOLOGIE

PAR

LÉON GÉRARDIN

Officier d'Académie  
Professeur d'histoire naturelle et de technologie  
à l'École supérieure municipale Turgot  
à l'École Monge  
et à l'École Monceau.

—  
AVEC 294 FIGURES DANS LE TEXTE.  
—

Ouvrage inscrit sur la liste des livres fournis gratuitement  
par la Ville de Paris à ses écoles.



PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain, en face de l'École de Médecine

—  
Tous droits réservés.

1885

ou *Astronomie descriptive*. Nous verrons que notre Soleil n'est qu'une simple étoile semblable à toutes celles qui illuminent le ciel pendant la nuit, et que la Terre, qui tourne

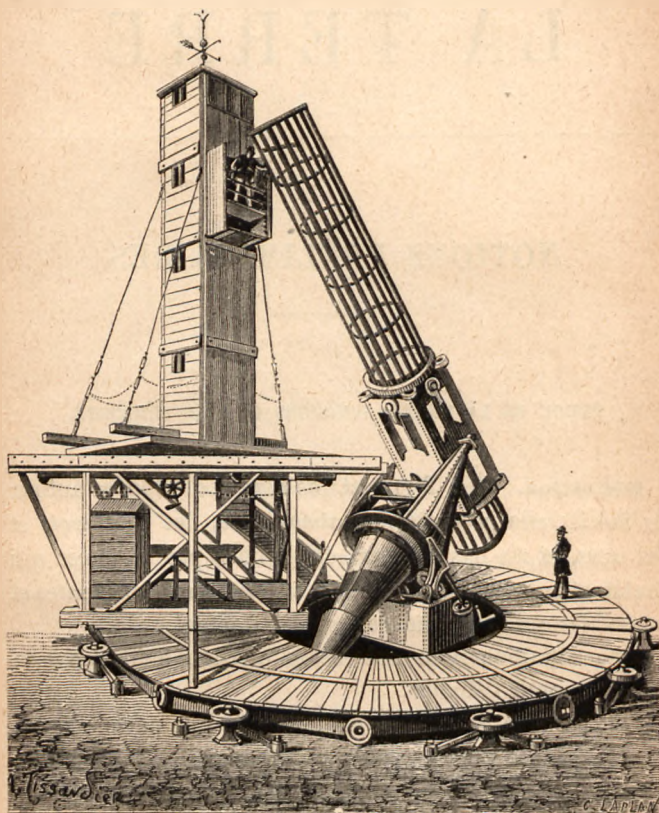


Fig. 1. — Télescope de M. Lassel, installé à Malte en 1845.

autour de cette étoile, est infiniment petite dans l'immensité.

Les astronomes, pour faire leurs observations, se servent d'instruments grossissants qu'on appelle télescopes (fig. 1),



et lunettes astronomiques (fig. 2); quand ils ont observé,

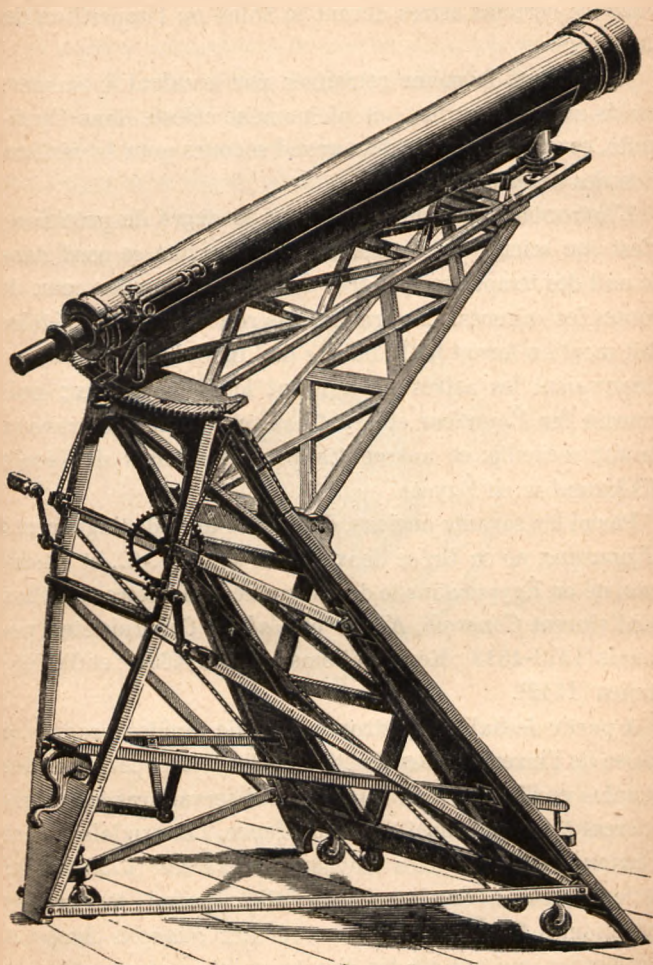


Fig. 2. — Lunette astronomique.

ils calculent, et leur science est si sûre, si exacte, qu'ils pré-

disent des milliers d'années d'avance les éclipses, le passage de certains astres devant le Soleil ou l'apparition des comètes.

Ils peuvent de même retrouver par le calcul le moment précis auquel a eu lieu un phénomène céleste dans l'antiquité, ce qui est souvent d'un grand secours pour la vérification des dates de l'histoire.

L'astronomie n'a pas toujours eu ce degré de précision ; c'est une science très ancienne dont l'origine se perd dans la nuit des temps ; ses progrès ont été lents comme ceux de toutes les sciences. Les premiers astronomes dont l'histoire fait mention furent les habitants de l'Inde, les *Hindous*, qui observaient les astres en gardant leurs troupeaux ; puis vinrent les *Égyptiens* et les *Chaldéens*, dont les travaux furent recueillis et augmentés par les savants de l'école d'Alexandrie en Égypte.

Parmi les savants anciens, deux surtout se distinguèrent : *Hipparque*, né en Grèce deux siècles avant J.-C., et *Ptolémée*, né en Égypte dans le deuxième siècle de notre ère. Plus tard vinrent *Copernic*, *Képler* et *Galilée*. Copernic était polonais (1473-1543) ; Képler, allemand (1571-1631) ; et Galilée, italien (1642).

A partir de Galilée, l'astronomie fit de rapides progrès, à cause de l'invention des lunettes et des télescopes ; tous les peuples civilisés construisirent des observatoires et contribuèrent à l'avancement de cette science. Les Anglais eurent *Newton* (1642-1727) ; les Allemands, *Herschell* (1738-1822) ; et les Français, *Laplace* (1749-1827) ; parmi les grands astronomes français il faut encore citer *François Arago* et *Le Verrier*, qui ont été des directeurs très remarquables de l'Observatoire de Paris.

**2° La Météorologie.** — Dans la définition de la Terre,

nous avons dit que notre planète présentait une atmosphère et des mers.

On nomme atmosphère la couche d'air qui enveloppe la Terre; cette couche d'air a plus de 20 lieues de hauteur; elle n'est jamais en repos.

Les chimistes ont analysé l'air; c'est un mélange de deux gaz, l'*oxygène* et l'*azote*, absolument nécessaires à la vie des plantes et des animaux. Les météorologistes ont étudié les

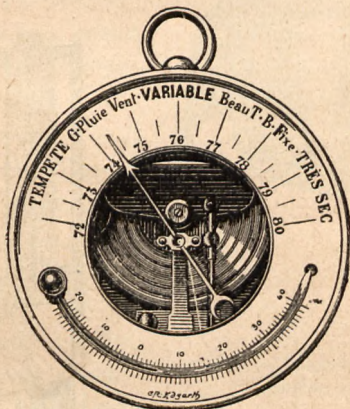


Fig. 3. — Baromètre portatif.

mouvements de l'atmosphère de façon à prédire le temps probable. Tous les jours ils mesurent la pression que l'air exerce sur la Terre au moyen d'un instrument appelé baromètre (fig. 3), ils constatent les variations de sa température avec le thermomètre (fig. 4), et se servent de l'hygromètre pour en doser l'humidité (fig. 5); ils étudient aussi les courants marins.

Dans les observatoires météorologiques on note la quantité d'eau qui tombe, la direction et la vitesse des vents, on apprécie la forme des nuages et leur nature; on étudie encore

les trombes, les tempêtes, la foudre et d'autres phénomènes comme les aurores boréales et les étoiles filantes.

La *météorologie* est une science toute moderne, ses progrès sont attachés à ceux de la physique, ils se sont surtout

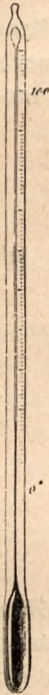


Fig. 4. — Le Thermomètre.

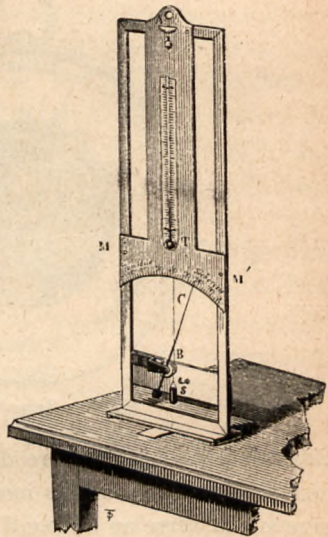


Fig. 5. — L'Hygromètre à cheveu.

accentués depuis l'invention du télégraphe et la pose des câbles transatlantiques reliant l'Europe à l'Amérique; ces instruments ont permis de rassembler chaque jour sur une seule carte toutes les observations météorologiques de la veille et par conséquent d'avoir une vue générale des phéno-



mènes météorologiques du monde entier, ce qui est nécessaire pour la prévision du temps.

Le météorologiste le plus éminent de notre époque a été *Maury*, officier de la marine américaine, dont je vous parlerai à propos de l'application de la météorologie à l'art de la navigation.

En France, *Borda* (1733-1799); *Lavoisier* (1743-1794); *Laplace*, et plus tard *Charles Sainte-Claire Deville*, ont donné un grand élan à la science météorologique.

**3° La Géologie.** — Il reste à étudier la Terre à ses différents âges, c'est-à-dire à faire son histoire; cette histoire, c'est la *Géologie*.

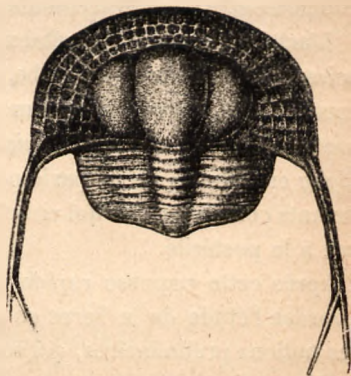


Fig. 6. — Trilobite, crustacé fossile (grandeur naturelle).

Notre planète, en effet, n'a pas toujours eu l'aspect que nous lui connaissons, et, comme nous le disions en commençant cette leçon, c'est par de lentes et insensibles transformations qu'elle est devenue ce qu'elle est de nos jours.

Autrefois, des continents occupaient la place de nos mers et des mers se trouvaient où sont nos continents; les animaux et les végétaux ne ressemblaient pas non plus à ceux qui vivent aujourd'hui.

Heureusement pour les savants, ces êtres, animaux et végétaux précurseurs de l'homme, ont laissé des traces de leur existence qui permettent de les reconstituer tout entiers. Leurs moules et leurs empreintes se nomment *fossiles* (fig. 6),

on les trouve dans les divers terrains qui composent la croûte terrestre.

Les géologues savent comment les terrains se sont formés, dans quel ordre ils se sont superposés et par quelles causes les continents sont peu à peu sortis du fond des mers.

Ils ont étudié toutes les richesses minérales que renferme l'écorce terrestre ; ces richesses, je vous les ferai connaître et je vous dirai comment l'homme a su les exploiter.

L'art de travailler les métaux est très ancien, mais la connaissance de l'histoire du globe, c'est-à-dire la Géologie proprement dite, est une science moderne ; ceux qui ont le plus contribué à l'avancer sont *Cuvier*, *Élie de Beaumont* et *d'Orbigny* en France. Je ne parle pas de nombreux et éminents savants contemporains qui vivent encore et passeront comme eux à la postérité.

Après cette esquisse rapide de notre sujet, nous allons aborder l'étude de la Terre en suivant l'ordre indiqué par ces notions préliminaires, qui sont pour ainsi dire une Introduction.

# PREMIÈRE PARTIE

## COSMOGRAPHIE

---

### CHAPITRE PREMIER

#### LE MONDE SOLAIRE

---

##### I

#### Description du Soleil.

Le *Soleil* est une *étoile* autour de laquelle la Terre tourne.

Il est difficile d'examiner le Soleil à l'œil nu ; à cause de l'éclat aveuglant de sa lumière, on ne l'étudie qu'au moyen de verres fortement teintés qui en amortissent les rayons. Il se présente alors comme un *disque*, c'est-à-dire comme une surface plate à bord circulaire. Mais, en réalité, c'est une *sphère* ou un *globe* énorme (vu de loin, un globe se *projette* comme un disque).

**Distance de la Terre au Soleil.** — La distance qui nous sépare du Soleil est immense, elle est de 37 millions de *lieues* ! On a calculé qu'un train express mettrait 300 ans pour aller sans arrêt jusqu'au Soleil, et qu'un boulet de canon ne pourrait faire le voyage en moins de neuf ans et

neuf mois : ceci vous donne une idée de ce que valent 37 millions de fois quatre kilomètres.

**Dimensions du Soleil.** — Le Soleil a *un million de lieues de tour* (345,000 lieues de diamètre), c'est-à-dire que

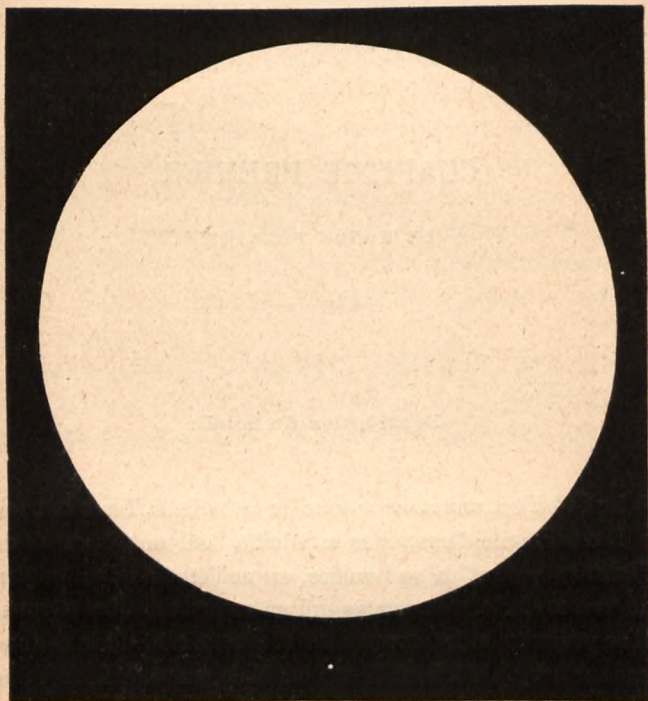


Fig. 7. — Grandeurs relatives de la Terre et du Soleil.

pour l'entourer il faudrait une ceinture cent huit fois plus longue que celle qui servirait à entourer la Terre.

Sa grosseur égale celle de 1,280,000 Terres réunies; on a fait une comparaison pour exprimer les rapports de *volume* qui existent entre la Terre et le Soleil : supposons



un tas de treize *décalitres* de blé au milieu de cette pièce et enlevons un grain de blé, un seul ; ce seul grain de blé représentera très exactement la Terre, et le reste sera le Soleil (1).

Les astronomes qui ont calculé la distance de la Terre au



Fig. 8. — Aspect de la surface solaire.

Soleil et le volume de cet astre, en ont aussi calculé le poids ; il équivaut à celui de 324,000 Terres, c'est-à-dire que si nous mettions le Soleil dans le plateau d'une balance, il

(1) Un litre de blé renferme environ 10,000 grains de blé de grosseur moyenne.

faudrait mettre 324,000 Terres dans l'autre plateau pour lui faire équilibre.

La figure 7 représente les grandeurs relatives de la Terre et du Soleil : la Terre est le petit point rond qui se trouve au-dessous du grand disque blanc ! Pour indiquer la distance de la Terre au Soleil au moyen d'une figure réduite dans les proportions de la nôtre, il faudrait mettre le petit point blanc à 16<sup>m</sup>,50 du centre du grand disque.

**Aspect de la surface du Soleil.** — Lorsqu'on examine la surface du Soleil à l'aide d'un verre coloré ou simplement noirci à la fumée, on voit qu'elle ressemble à une mer de feu dont les vagues seraient secouées par une éternelle tempête (fig. 8), mais sur cette mer brillante on peut reconnaître des taches obscures (fig. 9).

Les taches du Soleil ont été découvertes en même temps



Fig. 9. — Les taches du Soleil.

par Fabricius (1) et par Galilée vers l'année 1611. Leur forme est très irrégulière; une tache se compose ordinairement d'une partie noire, que les astronomes appellent le *noyau*, et d'un contour moins foncé nommé *pénombre* (fig. 10).

(1) Astronome hollandais.

Assez souvent les taches se rassemblent et forment des groupes comme celui de la figure 11.

Pour les astronomes, les taches du Soleil sont dues à des



Fig. 10. — Une tache du Soleil.

Fig. 11. — Groupe de taches solaires.

sortes de puits creusés dans la couche extérieure brillante de l'astre, qu'on nomme *photosphère* ; M. Faye a calculé la pro-

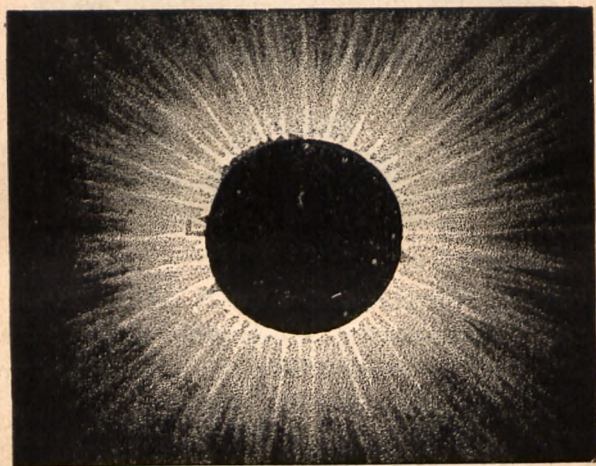
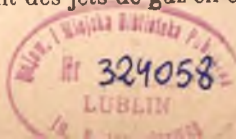


Fig. 12. — Aspect des bords du Soleil pendant une éclipse totale.

fondeur de quelques-uns de ces puits, qu'il estime à 900 lieues.

Des langues de feu, des flammes énormes partent de la surface du Soleil, ce sont des jets de gaz en combustion.



Ces flammes sont surtout visibles pendant les éclipses de Soleil (fig. 12). Tant que dure l'éclipse, l'astre semble entouré par une gloire brillante analogue à celle qu'on représente autour de la tête des saints, tandis qu'il est remplacé lui-même par un disque noir comme de la poix.

M. Janssen, un des plus grands astronomes de notre temps, a trouvé le moyen d'étudier les flammes du Soleil même en dehors des éclipses; ses études ont permis d'avoir

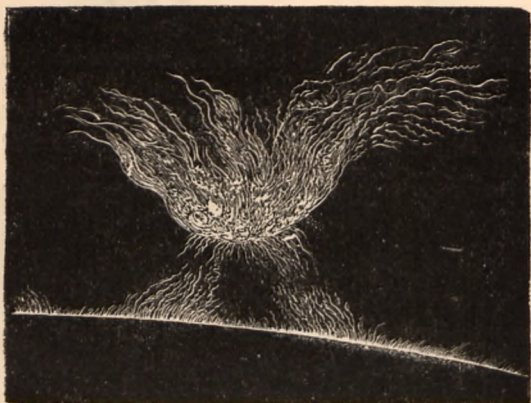


Fig. 13. — Protubérance solaire.

des connaissances plus exactes sur la nature gazeuse de l'astre. On nomme souvent les flammes, des *protubérances*; leur hauteur dépasse quelquefois plusieurs diamètres terrestres (fig. 13).

Avec les taches et les protubérances on remarque encore sur le Soleil des points plus brillants qu'on nomme *facules*.

**Le Soleil tourne sur lui-même.** — Lorsqu'avec une lunette astronomique on examine des taches solaires examinées la veille, on s'aperçoit qu'elles ont changé de place. En suivant une tache qui apparaît sur le bord du Soleil, on



voit qu'elle se trouve au milieu du disque au bout d'une semaine et qu'elle atteint l'autre bord une semaine plus tard.

Après ce temps elle disparaît, et ce n'est qu'au bout d'environ deux semaines qu'on peut la revoir dans sa position primitive.

Cette observation prouve que *le Soleil tourne sur lui-même* et qu'il entraîne les taches dans son mouvement de *rotation*; il fait un tour complet en vingt-cinq jours et demi, comme une immense toupie sur laquelle on aurait semé des taches d'encre. Le sens de la rotation du Soleil est indiqué par le sens du mouvement des taches : elles marchent toutes de l'est vers l'ouest, c'est-à-dire qu'elles quittent le bord oriental pour se diriger vers le bord occidental de l'astre.

**Chaleur produite par le Soleil.** — Les astronomes admettent aujourd'hui que le Soleil est une énorme masse de gaz dont la température est si élevée que toutes les matières minérales y sont à l'état de vapeur.

« La quantité de chaleur émise par le Soleil, dit Tyndall, ferait bouillir par heure 2,900 *milliards de kilomètres cubes* d'eau qui seraient primitivement à la température de la glace. Exprimée sous une autre forme, la chaleur émise par le Soleil, en une heure, est égale à celle qui serait engendrée par la combustion d'une couche de charbon de terre de 27 kilomètres d'épaisseur brûlant à sa surface. »

En analysant les rayons de lumière qui émanent du Soleil, les physiciens ont pu démontrer qu'il était composé des mêmes substances que la Terre; il y a dans le Soleil de l'hydrogène, de l'oxygène, du fer, du zinc, etc., mais tout y est à l'état gazeux.

En tournant autour du Soleil, la Terre reçoit une petite partie de sa lumière et de sa chaleur. Figurez-vous une tête

d'épingle placée à plusieurs mètres d'un brasier ardent, c'est notre planète se chauffant au Soleil.

### QUESTIONNAIRE.

*Qu'est-ce que le Soleil?*

*Comment fait-on pour examiner le Soleil?*

*Quelle est la distance qui sépare la Terre du Soleil?*

*Donnez une idée de cette distance.*

*Quelle est la grosseur du Soleil?*

*Comparez la grosseur du Soleil à celle de la Terre.*

*Quel est le poids du Soleil?*

*Décrivez la surface du Soleil.*

*Décrivez les taches du Soleil.*

*Qu'entend-on par flammes du Soleil?*

*Comment démontre-t-on que le Soleil tourne sur lui-même?*

*Quelle est la durée de la rotation du Soleil?*

*Dans quel sens s'effectue cette rotation?*

*Donnez une idée de la chaleur émise par le Soleil.*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Les mots employés dans le langage astronomique sont peu connus des jeunes élèves, le professeur devra insister sur leur signification et s'assurer qu'ils ont tous été compris d'une façon exacte. Ces mots sont en italique dans le texte de la leçon et doivent donner matière à de nombreuses explications patiemment recommencées sous diverses formes. — Expliquer cette phrase: « *un globe se projette comme un disque* »; donner des exemples de *disques* et de *sphères*. — Définir ou faire définir par les élèves les mots *diamètre*, *rayon*, *volume*, *lieu*, *kilomètre*, *décalitre*, etc. — Expliquer ce qu'on entend par *échelle* dans la construction des cartes ou des figures. — Définir les mots *ombre* et *pénombre* et faire des expériences d'éclairement qui donnent une idée exacte de la valeur de ces mots.

Parler du gaz *hydrogène*, insister sur les mots *gaz* et *vapeur*. — Décrire les *longues-vues* et *lunettes*, montrer aux élèves une *loupe*, et, si c'est possible, les mener visiter un observatoire.

### Généralités sur les Planètes.

Un certain nombre d'astres nommés Planètes circulent autour de l'énorme globe que nous venons d'étudier dans notre première leçon, c'est-à-dire autour du Soleil qui les attire.

Les anciens ne connaissaient que cinq planètes auxquelles ils ont donné les noms de *Mercure*, *Vénus*, *Mars*, *Jupiter* et *Saturne*. Les jours de la semaine rappellent ces noms.

Le Dimanche (1) est consacré au Soleil, et le Lundi à la Lune, puis viennent :

Mardi, jour de Mars; Mercredi, jour de Mercure; Jeudi, jour de Jupiter; Vendredi, jour de Vénus; Samedi, jour de Saturne. Les modernes ont découvert deux autres Planètes, *Uranus* et *Neptune*.

**Distinction entre les Étoiles et les Planètes.** — Si on regarde le ciel par une belle nuit sans nuages, on voit qu'il ressemble à une voûte parsemée de points brillants; ces points brillants sont les Étoiles et les Planètes, qui se ressemblent beaucoup à première vue. Quelques caractères permettent de les distinguer :

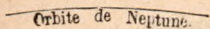
1° A l'œil nu la lumière des Étoiles semble tremblotante et *vacillante* comme celle d'un lointain bec de gaz agité par le vent; on dit qu'elle *scintille*, tandis que la lumière des Planètes est tranquille et douce et ne scintille pas.

2° Avec une lunette, si forte qu'elle soit, les *Étoiles ne sont pas grossies* et restent des points brillants sans aucune

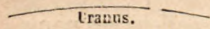
(1) En anglais *sunday* et en allemand *sonntag*.

étendue appréciable ; vues dans les mêmes conditions, les *Planètes paraissent plus grosses*, elles se présentent comme des disques dont on peut mesurer les dimensions.

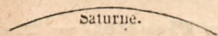
Orbite de Neptune.



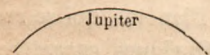
Uranus.



Saturne.



Jupiter



Mars.



Fig. 14. — Orbits des planètes. Le Soleil est représenté par le point S.

3° Les Étoiles occupent toujours la même position les unes par rapport aux autres sur la *sphère céleste*. Chaque soir les groupes d'étoiles nommés *constellations* ont la même forme que la veille, ce que vous pouvez vérifier vous-même en examinant la constellation de la *Grande-Ourse* ; les Étoiles ne se déplacent donc pas. Les Planètes, au contraire, changent continuellement de place. Ce dernier caractère est le plus absolu de tous, et c'est celui à l'aide duquel, de temps immémorial, on a reconnu et distingué les *Planètes* dont le nom signifie *astres errants*.

#### **Distance des Planètes au Soleil.**

— Il y a, y compris la Terre, huit Planètes principales qui tournent autour du Soleil. La courbe qu'elles décrivent n'est pas tout à fait circulaire, elle est un peu ovale, c'est une *ellipse*. Le chemin que parcourent les Planètes se nomme leur *orbite*.

Voici l'ordre des Planètes, je les énumère en commençant par la Planète qui se trouve plus rapprochée du Soleil :

Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus,

Neptune. La figure 14 vous représente cet ordre : le premier petit rond vous indique l'orbite de Mercure, le second l'orbite de Vénus, le troisième celui de la Terre, et ainsi de suite jusqu'à la dernière Planète connue qui est Neptune.

Les distances qui séparent les Planètes du Soleil sont très différentes, comme nous le voyons par cette figure. MERCURE est à 14 millions de lieues, VÉNUS à 26 millions, la TERRE à 37 millions, MARS à 55 millions, JUPITER à 192 millions, SATURNE à 352 millions, URANUS à 710 millions, et NEPTUNE 1,110 millions de lieues du Soleil.

Outre les huit Planètes principales, il y a entre Mars et Jupiter un essaim de toutes petites Planètes qui ne sont visibles qu'avec des instruments très grossissants, on les nomme les ASTÉROÏDES. Ce sont peut-être les débris d'une Planète plus grosse dont les éclats tournent toujours autour du Soleil; on en connaît 180.

Les astronomes leur ont donné des noms pour les distinguer les unes des autres. La première petite Planète a été découverte en 1801 à Palerme, par Piazzi; elle a été appelée *Cérés*; parmi les autres je vous citerai: *Pallas*, *Junon*, *Vesta*, *Flore*, *Lutetia*, *Europa*, *Minerve*, etc.

On appelle *Planètes inférieures* celles qui tournent entre la Terre et le Soleil, ce sont Mercure et Vénus. Celles qui décrivent leur orbite au delà de la Terre, c'est-à-dire Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, sont les *Planètes supérieures* (fig. 14).

**Les Satellites.** — Autour de certaines Planètes tournent d'autres Planètes plus petites, on les nomme des *Satellites*.

Mercure et Vénus n'ont pas de Satellites. La Terre en a un, c'est la Lune, qui l'accompagne dans son voyage autour du Soleil. Mars a deux Satellites. Jupiter en a quatre. Saturne en a huit et présente en plus un singulier anneau sur lequel



nous reviendrons en parlant de lui. Uranus a quatre Satellites et Neptune un seul.

**Grosseurs comparées des Planètes.** — Les quatre Planètes les plus rapprochées du Soleil sont plus petites que les quatre autres (fig. 15). Parmi les grosses Planètes, Jupi-

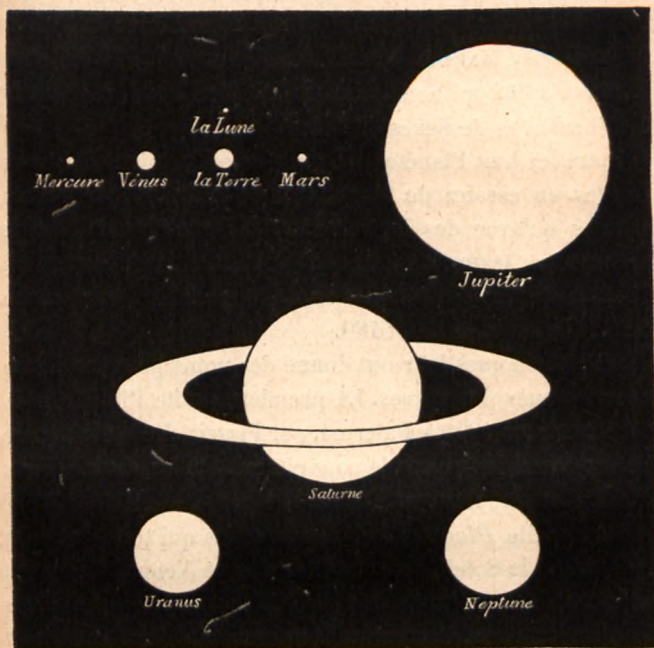


Fig. 15. — Grosseurs comparées des Planètes.

ter, comme le montre la figure, a le plus grand diamètre ; mais c'est encore un bien petit astre si on le compare au Soleil, lequel ne pourrait pas tenir dans une figure aux proportions de la nôtre, puisqu'il aurait 30 centimètres de diamètre.

## QUESTIONNAIRE.

*Qu'est-ce qu'une Planète?*

*Donnez les noms des Planètes connues des anciens.*

*Comment peut-on retenir facilement le nom de ces Planètes?*

*Quelles sont les Planètes découvertes par les astronomes modernes?*

*Quels sont les caractères qui permettent de distinguer les Planètes des Étoiles?*

*Quelle est la courbe que décrivent les Planètes autour du Soleil?*

*Énumérez les Planètes en commençant par celle qui se trouve le plus près du Soleil.*

*Donnez les distances des Planètes au Soleil.*

*Où sont placées les petites Planètes?*

*Qu'entend-on par Planètes inférieures et supérieures?*

*Qu'entend-on par Satellites?*

*Donnez la liste des Planètes pourvues de Satellites.*

*Quelles sont les Planètes qui ressemblent le plus à la Terre par leurs dimensions?*

*Quelle est la plus grosse Planète?*

## EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Expliquer l'attraction, et dire que le mouvement des Planètes peut être calculé d'après la théorie de la gravitation universelle de Newton. — Force centripète. — Force centrifuge. — Laisser tomber un objet pour montrer la force centripète; faire tourner une fronde pour montrer la force centrifuge, etc. — Les Étoiles sont fixes, les Planètes mobiles. Hypothèse de la *sphère céleste*. Les constellations. — Apprendre aux élèves à décrire une ellipse, en montrer les foyers. Mouvement des Satellites autour des Planètes. Insister sur ce qu'on entend par Planètes inférieures et supérieures. — Vue d'ensemble sur la famille du Soleil. — Donner aux élèves les notions de mythologie qu'amènent les noms des Planètes. Lectures et récits sur ces sujets. Le soir, première observation du ciel si c'est possible.

## — Les Planètes inférieures.

Les Planètes inférieures, c'est-à-dire celles dont les orbites sont *intérieures à l'orbite de la Terre*, sont Mercure et Vénus. Certains astronomes pensent qu'entre Mercure et le Soleil il y a une troisième planète inférieure qu'ils ont appelée Vulcain, mais son existence est très contestée.

**Mercure.** — La Planète Mercure est rarement visible à l'œil nu, parce qu'elle se trouve trop près du Soleil. Elle est 18 fois plus petite que la Terre, et seulement 3 fois plus grosse que la Lune. Ce petit globe porte des montagnes, il possède une atmosphère dans laquelle se forment des nuages que nous pouvons voir à l'aide de nos instruments.

Mercure accomplit son voyage autour du soleil en 88 jours et tourne sur lui-même en 24 heures 5 minutes. Si nous appelons année de Mercure la révolution complète de l'astre autour du Soleil, l'année de Mercure est bien plus courte que l'année terrestre puisqu'elle est seulement de 88 jours, tandis que l'année terrestre est de 365 jours.

Mercure fait 12 lieues en une seconde sur son orbite.

Il y a sur Mercure des jours et des nuits, des climats et des saisons comme sur la Terre. La nuit, Mercure n'a pas de Lune pour l'éclairer. Les deux astres les plus brillants pour cette Planète sont Vénus et la Terre; mais le jour, le Soleil verse sur Mercure sept fois plus de chaleur et de lumière que sur la Terre.

**Vénus.** — Vous connaissez certainement Vénus, vous l'appellez *l'Étoile du soir* ou *l'Étoile du Berger* parce qu'elle apparaît la première dans l'ombre du crépuscule; vous

l'appellez aussi *l'Étoile du matin* ou *Lucifer* parce que la dernière elle s'éteint dans les lueurs de l'aurore. Ce n'est pas une Étoile, c'est une Planète, et celle de toutes qui ressemble le plus à la Terre. Elle a une atmosphère, des continents, des montagnes, des mers et des nuages.

Vénus tourne sur elle-même en 23 heures et demie; elle est à peu près aussi grosse que la Terre, et son année, c'est-à-dire sa révolution complète autour du Soleil, est de sept mois et demi (224 jours). Sa constitution physique nous permet de dire qu'elle est très probablement habitée.

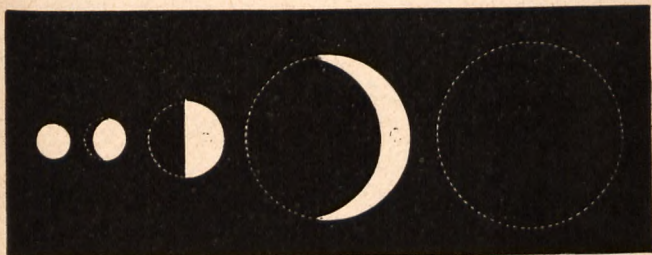


Fig. 16. — Les phases de Vénus.

Vers la fin de l'année 1610, Galilée s'aperçut que Vénus n'avait pas toujours la forme d'un disque et qu'elle présentait des *phases* comme la Lune. Vous aurez l'explication de ce phénomène lorsque je vous parlerai des phases de la Lune, mais je puis vous dire par avance ce que l'on entend par le mot *phase*.

Les Planètes ne sont pas lumineuses par elles-mêmes; ce sont des miroirs qui réfléchissent les rayons du Soleil; si donc elles se trouvent placées de telle façon que nous voyions leur surface visible entièrement éclairée, elles ont la forme d'un disque; mais dans le cas où une partie seulement de leur face tournée vers la Terre reçoit la lumière du Soleil, le



disque est déformé ; il devient un demi-disque ou un croissant. C'est ce que nous montre la figure 16, qui représente les phases de Vénus.

Vous remarquerez que dans cette figure le disque est bien plus petit que le croissant : c'est que pendant ses phases Vénus n'est pas toujours à la même distance de la Terre.

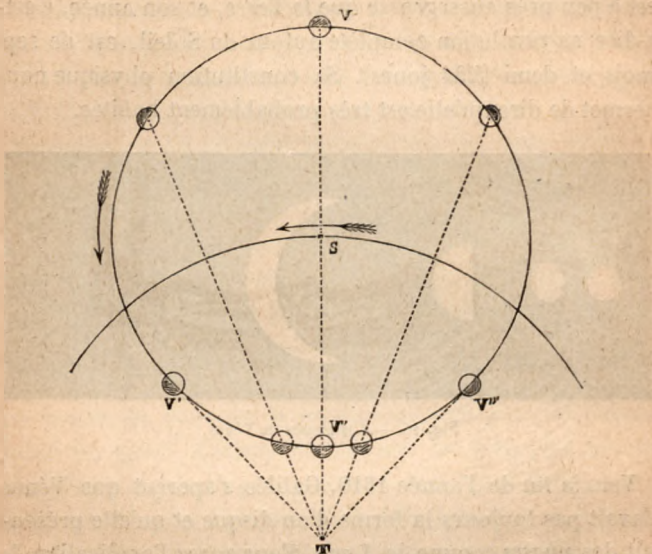


Fig. 17. — Diverses positions de Vénus V par rapport au Soleil S et à la Terre T.

Supposons la Terre au point T (fig. 17) et Vénus au point V, nous voyons dans cette position toute la surface éclairée de la Planète, c'est un disque parfait, mais très éloigné de nous, par conséquent très petit.

Dans les positions V' et V'', Vénus a la forme d'un croissant, mais comme elle est plus près de la Terre qu'en V, son croissant est plus grand que n'était le disque. Enfin, dans la position V'' Vénus est plus rapprochée de la Terre ; malgré



cela nous ne la voyons pas au ciel pendant la nuit, parce qu'elle tourne vers nous sa face non éclairée. C'est ce qu'indique le cercle pointillé de la figure 16.

**Passage des astres inférieurs sur le disque du soleil.**

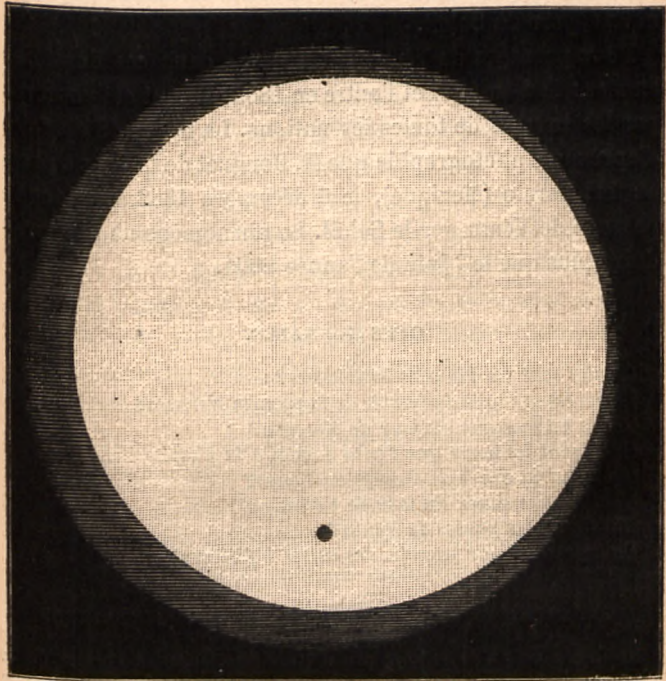


Fig. 18. — Passage de Vénus sur le Soleil.

— Chacune des Planètes dont l'orbite est placée à l'intérieur de l'orbite de la Terre peut passer entre nous et le Soleil, de telle façon que les trois astres se trouvent sur une même ligne droite; mais ce phénomène est très rare. Lorsque le Soleil, Vénus et la Terre sont sur une même ligne

droite, on voit Vénus se détacher comme un petit rond noir sur le disque brillant du Soleil. On dit alors qu'il y a passage de Vénus (fig. 18). Les astronomes font de longs voyages pour établir des stations propices à l'examen des passages dont l'étude permettra de déterminer la distance exacte qui nous sépare du Soleil.

Deux passages de Vénus ont eu lieu dans ces dernières années : l'un en 1874 et l'autre en 1882; ils ont été observés par les savants de toutes les nations. La figure 18 est faite d'après une photographie que M. Bouquet de la Grye a prise au fort Loreto (Mexique), le 6 décembre 1882, pendant le passage de Vénus sur le Soleil. Le phénomène ne se reproduira plus que le 7 juin de l'année 2004.

#### QUESTIONNAIRE.

*Quelles sont les Planètes inférieures?*

*Quelle est la durée de l'année de la planète Mercure?*

*Quelle est la durée du jour de Mercure?*

*Quels sont les noms que l'on a donnés à la planète Vénus?*

*Quelle est la durée de l'année de Vénus?*

*Quelle est la durée du jour de Vénus.*

*Expliquez les phases de Vénus?*

*Qu'entend-on par passage des astres inférieurs?*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Expliquer ce qu'on entend par orbites intérieures à l'orbite de la Terre. Insister sur le phénomène des phases : suspendre à un fil une boule de jeu de quilles peinte en blanc et la faire tourner autour d'une lampe munie d'un globe dépoli, cette expérience explique à la fois les phases de Vénus et le passage des astres inférieurs.

Lire dans les ouvrages de vulgarisation les expéditions organisées par les diverses nations afin d'étudier les passages de Vénus.

## IV

### Les Planètes supérieures.

Les Planètes supérieures, ou extérieures à l'orbite de la Terre, sont celles qui sont plus éloignées du Soleil que la Terre, et qui, par conséquent, ne peuvent jamais passer entre nous et le Soleil. Ce sont Mars, les petites Planètes ou Astéroïdes, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune.

**Mars.** — Mars est six fois et demi plus petit que la Terre. C'est de toutes les Planètes celle que nous connaissons le mieux. « Ce qui frappe le plus au premier abord dans l'examen de l'ensemble de Mars, c'est que ses *pôles* sont marqués, comme ceux de la Terre, par deux zones blanches, par deux calottes de neige. Ces glaces varient d'étendue; elles s'amoncellent et s'étendent autour de chaque pôle pendant son hiver, tandis qu'elles fondent et se retirent pendant l'été. » (Flammarion.)

Les mers de Mars occupent moins d'étendue que ses continents, lesquels sont teintés en rouge et assez faciles à distinguer. Des nuages circulent dans l'atmosphère de cette Planète comme dans la nôtre, et des êtres organisés peuvent très vraisemblablement l'habiter. Le disque de Mars nous semble plus ou moins grand suivant que la Planète est plus ou moins éloignée de nous, c'est ce que montre la figure 19 qui représente la Planète telle qu'elle a été vue les 30 juillet (1), 22 août (2), 14 septembre (3) et 26 octobre (4) de l'année 1878.

Mars tourne sur lui-même en 24 heures, 37 minutes et 22 secondes; le jour de cette Planète est donc égal au nôtre, mais l'année y est deux fois plus longue. Chacune des sai-

sons de Mars dure presque six de nos mois, la chaleur et la lumière y sont moitié moins fortes que sur la Terre. La Planète Mars possède deux satellites; on a appelé le premier Deimos (la terreur) et le second Phobos (la fuite). Ces deux satellites ont été découverts au mois d'août 1877 par

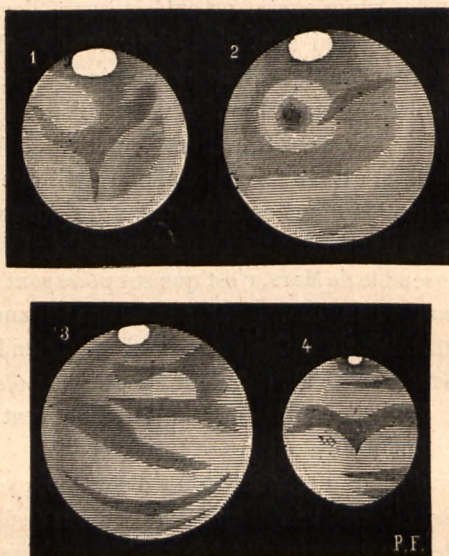


Fig. 19. — Divers aspects télescopiques de la Planète Mars.

M. Asaph Hall, à l'observatoire de Washington, qui possède la plus puissante lunette connue. Le premier satellite tourne autour de Mars en 7 heures 39 minutes, et le second en 30 heures 18 minutes (fig. 20).

Au delà de la planète Mars on rencontre les Astéroïdes, petites Planètes dont je vous ai parlé en vous énumérant les membres de la famille du Soleil; elles n'ont pas une grande importance pour nous, aussi allons-nous passer



maintenant à l'étude des grosses Planètes, en commençant par le géant Jupiter.

**Jupiter.** — La Planète Jupiter est beaucoup plus éloignée de nous que Mars, mais elle est si grosse qu'on peut encore facilement l'observer dans les instruments. Elle paraît jau-

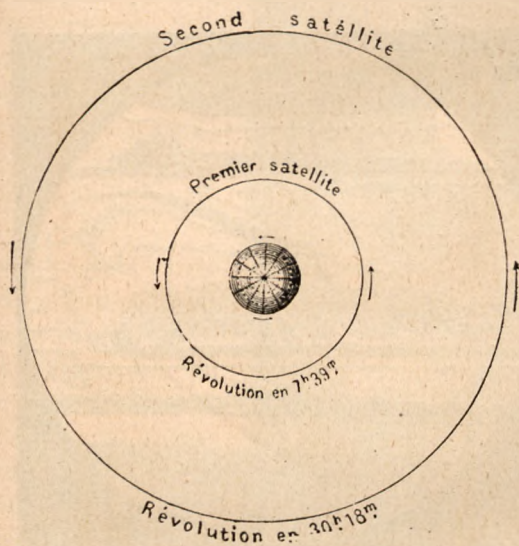


Fig. 20. — Les satellites de Mars.

nâtre et son disque est rayé de bandes parallèles à son *équateur*; ces bandes, alternativement grises et blanches, sont marquées de taches permanentes qui ont permis d'étudier le mouvement de rotation de la Planète (fig. 21).

Jupiter est 1300 fois plus gros que la Terre; la durée du jour y est de 9 heures, 50 minutes, c'est-à-dire que Jupiter tourne sur lui-même en 9 heures 50 minutes. La chaleur et la lumière y sont vingt-cinq fois moins fortes que sur la Terre, à cause de la grande distance qui le sépare du Soleil

(192 millions de lieues). L'année de Jupiter équivaut à douze années terrestres. Quand on pense à l'immense orbite que la Planète doit décrire autour du Soleil, on n'est pas étonné de la longueur de cette année.

Jupiter est très aplati à ses pôles, bien plus aplati que la



Fig. 21. — La Planète Jupiter le 24 janvier 1873.

Terre ; il possède quatre satellites qui ont été découverts par Galilée aussitôt après l'invention des lunettes ; ces quatre satellites sont plus petits que la Terre et à peu près aussi gros que la Lune (fig. 22). Les satellites de Jupiter ont servi aux physiciens pour trouver la vitesse de la lumière qui est de 75,000 lieues par seconde. Avec cette vitesse la lumière nous arrive du Soleil en huit minutes et demie, et de l'Étoile la plus proche en plus de trois ans !

**Saturne.** — Saturne est moins gros que Jupiter, mais beaucoup plus gros que la Terre, puisqu'il équivaut à 864 globes comme le nôtre ; sa distance au Soleil est de 352 millions de lieues. Il est visible à l'œil nu comme une belle Étoile, bien que sa lumière soit un peu terne et grise ; son disque est rayé de bandes parallèles comme celui de Jupiter.

Saturne possède un satellite d'une forme bizarre : c'est un anneau, situé dans son *plan équatorial*, qui tourne en dix heures et demie autour de l'astre. Cet anneau a une épaisseur d'à peu près 100 lieues et près de 12,000 lieues de largeur. Il est séparé de la Planète par un vide de 8,000 lieues (fig. 23). L'anneau de Saturne n'est

pas simple, il semble formé de quatre ou cinq anneaux concentriques.

Saturne tourne sur lui-même en près de dix heures, comme Jupiter, mais son orbite étant beaucoup plus grande que l'orbite de Jupiter, il met beaucoup plus de temps à la parcourir ; sa révolution autour du Soleil dure vingt-neuf ans et demi, près de trente ans.



Fig. 22. — Les satellites de Jupiter comparés à la Terre et à la Lune.

Outre son anneau, Saturne possède encore huit lunes, huit satellites qui tournoient autour de lui.

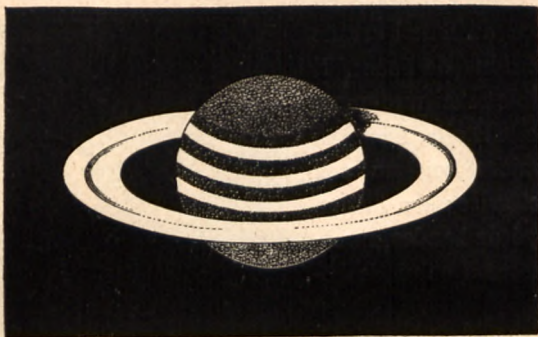


Fig. 23. — La Planète Saturne.

**Uranus.** — La planète Uranus a été découverte le 13 mars 1781 par William Herschell, astronome hanovrien émigré en Angleterre, elle n'était donc pas connue des anciens. Cette Planète est visible à l'œil nu, elle ressemble à une toute petite Étoile; son disque est un peu aplati. Elle équivaut comme grosseur à 75 Terres, et son année, c'est-à-dire la durée de sa révolution autour du Soleil, est de 84 années terrestres.

On ne connaît pas la durée de la rotation d'Uranus, qui est fort difficile à observer à ce point de vue, mais on sait qu'il possède quatre satellites.

L'astronome Bouvard, après avoir calculé et publié en 1821 les *tables d'Uranus*, c'est-à-dire les positions de la Planète aux différentes époques, trouva que les indications de la théorie ne concordaient pas exactement avec les observations réelles. (Uranus n'occupait pas réellement les positions que le calcul indiquait.) Il fut amené à penser qu'une



action étrangère influençait sa marche. Suivant lui, les écarts d'Uranus étaient dus à l'attraction d'une autre Planète circulant autour du Soleil dans une orbite plus grande que la sienne.

« M. Leverrier se mit à la recherche de cette Planète inconnue. Ayant repris d'abord le calcul des *perturbations* d'Uranus dues aux actions de Jupiter et de Saturne, il trouva d'importantes additions et modifications à faire à l'ensemble des perturbations que Bouvard avait adoptées en 1821.

« Après avoir mis en évidence l'impossibilité de représenter toutes les observations d'Uranus, en regardant cette Planète comme soumise aux seules perturbations produites par Jupiter et Saturne, M. Leverrier *chercha la place que devait occuper dans le ciel la planète inconnue* capable de produire les différences de position d'Uranus. En 1846, il parvint à indiquer, *par le calcul*, la place de cette planète, et M. Galle, astronome de Berlin, en examinant le ciel le 23 septembre 1846, l'aperçut presque exactement dans la position indiquée par la théorie. La nouvelle Planète reçut le nom de Neptune. » (Delaunay.)

**Neptune.** — La Planète Neptune accomplit sa révolution autour du Soleil en 165 années terrestres; chaque saison y dure 41 ans. La chaleur et la lumière y sont 900 fois moins fortes que sur la Terre à cause de son grand éloignement du Soleil.

Neptune possède un satellite, c'est la dernière Planète connue du monde solaire.

#### QUESTIONNAIRE.

*Qu'entend-on par planètes extérieures ?*

*Quelles sont les dimensions de Mars comparées à celles de la Terre ?*

*Décrivez la planète Mars.*

*Quelle est la durée de rotation de cette Planète sur elle-même ?*

*Combien Mars a-t-il de satellites ?*

*Quel est le savant qui a découvert les satellites de Mars ?*

*Quelle est la durée de la révolution de Mars autour du Soleil ?*

*Dites ce que vous savez sur les Astéroïdes.*

*Décrivez la planète Jupiter.*

*Quelles sont les dimensions de Jupiter comparées à celles de la Terre ?*

*Quelle est la durée de rotation de cette Planète sur elle-même ?*

*Quelle est la durée de la révolution de Jupiter autour du Soleil ?*

*Quelles sont les Planètes dont les orbites se trouvent à l'intérieur de l'orbite de Jupiter ?*

*Quel est l'astronome qui a découvert les satellites de Jupiter ?*

*Comment l'étude de ces satellites a-t-elle servi aux physiciens ?*

*Décrivez la planète Saturne.*

*Dites ce que vous savez sur son anneau et ses satellites.*

*Quelle est la grosseur de Saturne comparée à celle de la Terre ?*

*Quelle est la durée de la rotation de Saturne sur lui-même ?*

*Quelle est la durée de sa révolution autour du Soleil ?*

*Quel est le savant qui a découvert Uranus ?*

*Quelle est la grosseur d'Uranus comparée à celle de la Terre ?*

*En combien de temps Uranus décrit-il son ellipse autour du Soleil ?*

*Combien Uranus a-t-il de satellites ?*

*Expliquez comment l'étude d'Uranus a amené M. Leverrier à découvrir Neptune.*

*Dites ce que vous savez sur Neptune.*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Faire résumer par les élèves, au moyen d'une figure au tableau, l'ensemble du monde solaire. Insister de nouveau sur le sens des mots *orbite*, *ellipse*, *pôles*, *équateur*, *zones*, *axe*, etc. Compléter cette leçon par des lectures dans les ouvrages de vulgarisation. Montrer l'énorme puissance du calcul qui a permis de découvrir une Planète *sans la voir*. (Le tableau qui suit est tiré de l'*Astronomie descriptive* de Flammarion et Delon, Hachette éditeur.)

NOM DES ASTRES	DIMENSIONS COMPARÉES à celles de la Terre.	DISTANCE AU SOLEIL mesurée en millions de lieues.	DURÉE DE LA RÉVOLUTION autour du Soleil.	DURÉE DE LA ROTATION sur l'axe.	NOMBRE des SATELLITES.
SOLEIL .....	1,280,000	»	»	25 jours 1/2.	»
Planètes intérieures. { MERCURE.....	18 fois plus petit.	14	88 jours.	24 heures 5 min.	0
{ VÉNUS.....	De même grosseur.	26	7 mois 1/2.	23 — 21 —	0
LA TERRE.....	»	37	365 jours 1/4.	24 heures.	1
MARS.....	6 fois 1/2 plus petit.	55	1 an et 11 mois.	21 heures 37 min.	2
LES ASTÉROÏDES.	Très petits.	entre 81 et 130	entre 3 et 6 ans.	»	»
JUPITER.....	1,300 fois plus gros.	192	12 ans.	9 heures 55 min.	4
SATURNE.....	864	352	30 —	10 — 15 —	8 et 4 anneaux.
URANUS.....	75	710	84 —	Inconnue.	4
NEPTUNE.....	85	1,110	165 —	Inconnue.	1

## Les Comètes.

Les Comètes ont de tout temps excité la frayeur des ignorants et l'attention des astronomes. Les anciens ressentaient à leur vue une terreur superstitieuse; elles annonçaient, croyaient-ils, des désastres prochains, la mort des princes, les inondations, les épidémies, etc. Nos vigneron, au contraire, sont persuadés que les Comètes exercent une salutaire influence sur la végétation de la vigne; ils citent à ce sujet la magnifique récolte de l'année 1811, remarquable par sa belle Comète et la bonté de son vin.

Ce sont là des erreurs et des préjugés : les savants ont démontré que les Comètes n'exercent aucune influence sur la Terre. Ces astres, qui appartiennent comme les Planètes au *système solaire*, nous sont assez bien connus, surtout depuis les travaux des astronomes modernes.

**Orbites des Comètes.** — Toutes les Planètes que nous avons étudiées circulent à peu près dans un même *plan*, qu'on nomme le plan de l'*écliptique*. (Figurez-vous une table, au milieu de cette table une bille de billard et, tournant en rond autour de cette bille, huit petites billes semblables à celles dont vous vous servez tous les jours, vous aurez une idée du système planétaire; la table serait le plan de l'écliptique.)

De même que les Planètes, les Comètes tournent autour du Soleil; elles décrivent comme elles des *ellipses* dont le Soleil occupe un des *foyers*; mais ces ellipses, au lieu de se rapprocher par leur forme des *circonférences*, comme celles des Planètes, sont excessivement ovales et allongées.

Un autre caractère important distingue l'*orbite* des Co-



mètes, c'est que cette orbite n'est pas dans le plan de l'écliptique ; nous ne pourrions pas faire tourner les Comètes sur notre table en même temps que les billes dont je vous parlais tout à l'heure.

Lorsqu'une Comète apparaît dans le ciel, les astronomes examinent avec attention la courbe qu'elle décrit, l'angle que fait le plan de cette courbe avec le plan de l'écliptique, et le moment précis où la Comète a passé le plus près du Soleil. Ils peuvent ensuite tracer l'itinéraire complet de l'astre, calculer sa vitesse et dessiner toute son ellipse, la cataloguer, comme ils disent (fig. 24).

En 1682 parut une belle Comète que l'astronome Halley étudia d'après la méthode que nous venons d'indiquer ; il s'aperçut alors que les chiffres qu'il avait trouvés ressemblaient à ceux que Képler avait assignés à une Comète de 1607. Continuant ses recherches, Halley vit qu'avant

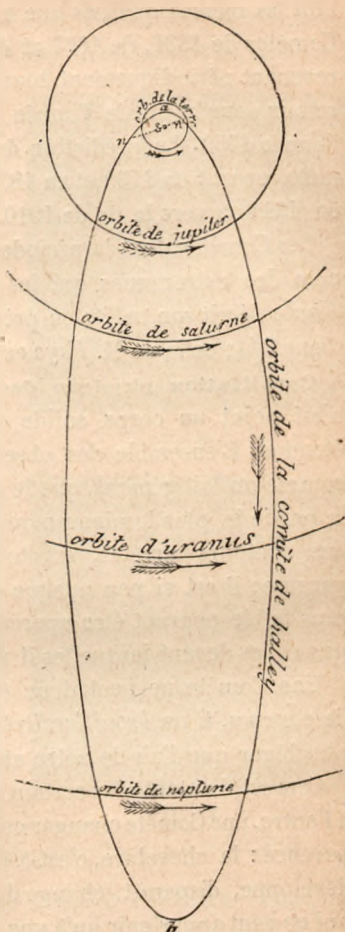


Fig. 24. — L'orbite des Comètes est une ellipse très allongée.

Comète de 1607. Continuant ses recherches, Halley vit qu'avant

Képler, Appian avait observé une Comète, en 1531, présentant les mêmes qualités que la sienne. Il en conclut que les Comètes de 1531, de 1607 et de 1682 étaient le même astre revenant périodiquement tous les 76 ans, et il prédit son retour pour la fin de l'année 1758 ou le commencement de l'année 1759. La prédiction de Halley s'accomplit; la Comète reparut en 1759 et en 1835; elle reviendra maintenant en 1911 ou vers la fin de 1910.

Les Comètes dont la période a été déterminée portent le nom des astronomes qui les ont étudiées. La Comète de *Encke* décrit son orbite en près de 3 ans; celle de *Biela* en 6 ans  $3/4$ ; celle de M. *Faye* en 7 ans  $1/2$ .

**Constitution physique des Comètes.** — Une Comète n'est point un corps solide environné d'une atmosphère étendue. L'ensemble des observations permet d'admettre, comme un fait général, que le *noyau* lui-même, c'est-à-dire la partie la plus lumineuse qui semble pourtant présenter des contours arrêtés, est toujours formé d'une masse gazeuse; il est si peu opaque que les Étoiles de l'éclat le plus faible peuvent être aperçues au travers, et il ne cache pas celles devant lesquelles il vient à passer.

Une Comète ne peut donc être comparée qu'à un amas de *vapeurs*, à un *brouillard* très léger, des milliards de fois plus léger que l'air de notre atmosphère.

Ceci est d'autant plus certain qu'on voit souvent, d'un jour à l'autre, une Comète changer complètement de forme et d'apparence: la chevelure, c'est-à-dire la *queue* de la Comète se développe, disparaît, change de position avec une mobilité qui ne peut appartenir qu'à une masse gazeuse.

Les figures 25, 26, 27 et 28 représentent différentes formes successives de la Comète observée par J. Herschell en 1835. Un mois après son apparition, elle finit par res-

sembler à un petit nuage globulaire, et devint peu à peu invisible. Les chevelures ont des dimensions immenses; souvent on a trouvé pour elles des longueurs de 60 millions

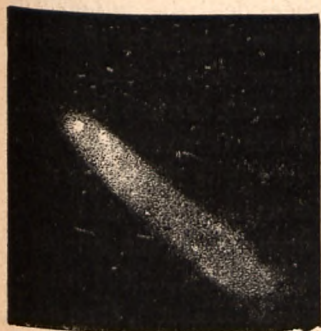


Fig. 25.



Fig. 26.



Fig. 27.



Fig. 28.

Divers aspects présentés par la Comète de 1835 observée par J. Herschell.

de lieues, sur une largeur de 400,000 à 500,000 lieues. Il serait donc impossible que la lumière d'une Étoile pût nous arriver à travers de pareilles épaisseurs de matière, si cette matière était autre chose qu'une vapeur de ténuité presque infinie. (Guiraudet.)

Les Comètes ne sont pas lumineuses par elles-mêmes, elles réfléchissent la lumière du Soleil absolument comme les Planètes. Elles deviennent donc d'autant plus lumineuses qu'elles se trouvent plus rapprochées de l'astre du jour. On doit remarquer aussi que la queue des Comètes ne se forme que dans le voisinage du Soleil, auquel elle est toujours opposée, comme si le Soleil la repoussait derrière le noyau.

On cite un assez grand nombre de Comètes remarquables, par exemple, celle de 1811 et celle de 1843. Cette dernière avait 38,000 lieues d'épaisseur et un volume égal à 1,700 fois celui de la Terre. Sa queue avait une longueur de 61 millions de lieues et une largeur de 1,300,000 lieues. Elle est passée très près du Soleil (13,000 lieues), et ne s'est approchée de la Terre que de 32 millions de lieues.

D'une apparition à l'autre, dit M. Tisserand, les Comètes périodiques offrent de grandes différences dans leur forme, leurs dimensions et leur éclat. On a constaté, pour la Comète de Biéla, le singulier phénomène d'un dédoublement; le 21 décembre 1845 il ne se manifestait aucun indice de séparation, et le 27 du même mois il y avait deux noyaux au lieu d'un seul.

Du 10 février au 22 mars 1846, la distance des deux noyaux augmenta depuis 60,000 jusqu'à 62,000 lieues; elle était de 500,000 lieues quand la Comète est revenue en 1852 près du Soleil, et chacune des deux parties avait pris une forme arrondie. La Comète n'a pas été revue depuis.

Les Comètes sont très influencées dans leur marche par l'attraction des Planètes qui peuvent les dévier plus ou moins. De là viennent des retards qui se produisent dans leur période et aussi des changements dans leur courbe.

On observe tous les ans plusieurs Comètes télescopiques, mais sur le grand nombre des Comètes observées, il y en a très peu dont la période soit connue.



On s'est demandé ce que deviendrait la Terre si elle était heurtée par une Comète; il est presque certain qu'elle n'en souffrirait pas, à cause de l'extrême légèreté de ces astres. Voici comment M. Faye s'est exprimé à ce sujet :

« Les Comètes elles-mêmes ne présagent plus rien. Tout au plus les vigneronns en profitent-ils pour annoncer une bonne récolte et tâcher d'augmenter le prix de leurs vins. Encore en donnent-ils une raison toute physique : les Comètes doivent amener, disent-ils, quelque chaleur avec elles et faire bien mûrir les raisins.

« On aurait tort cependant de délivrer à ces astres un certificat d'innocuité et d'insignifiance. Les Comètes sont, pour l'astronome, non pas un présage, mais un avertissement. Elles nous disent que dans cet admirable système du monde où tout semble avoir été organisé en vue d'une stabilité indéfinie, il faut pourtant faire la part de l'imprévu. L'imprévu, c'est ici les Comètes dont l'orbite coupe l'orbite terrestre et qui peuvent ainsi heurter notre Planète.

« Je sais bien qu'on a tâché de nous rassurer en montrant que la possibilité d'un tel choc est presque infiniment petite. Mais ce calcul pêche par l'énumération trop incomplète des chances favorables ou défavorables. On ne se doutait guère, à cette époque, de certaines relations intimes entre ces astres et les Étoiles filantes qui nous bombardent chaque jour. On a affirmé que la chance d'un pareil choc serait à peu près celle de tuer au vol un oiseau en tirant en l'air au hasard. Il serait plus juste de prendre pour terme de comparaison un individu qui s'aviserait de circuler, à bonne distance, autour d'une mire sur laquelle des soldats disséminés dans la campagne tireraient de temps en temps.

Quoi qu'il en soit du choc d'une Comète, je dois faire remarquer que le seul passage d'un de ces astres très près de

la Terre, suffirait à alarmer les esprits les moins superstitieux. La Comète de Halley (celle de 1682, de 1759, de 1835) reviendra au commencement du siècle prochain. Presque tous vous pouvez vous flatter de la voir. Grâce aux calculs de M. de Pontécoulant, nous sommes en état de retracer d'avance sa marche dans le ciel. Eh bien, vers la mi-juin 1910, elle passera près de nous, beaucoup plus près qu'en 1835. Vous verrez qu'à cette époque les pouvoirs publics prendront leurs précautions et chercheront à calmer les paniques.

« Il ne se produira probablement qu'une pluie d'Étoiles filantes. »

#### QUESTIONNAIRE.

*Qu'est-ce qu'une Comète ?*

*A quelles erreurs et à quels préjugés les Comètes ont-elles donné lieu ?*

*Quels sont les caractères qui permettent de distinguer les Comètes des Planètes ?*

*Quelle est la courbe décrite par les Comètes ?*

*Qu'est-ce que le plan de l'écliptique ?*

*Qu'est-ce que cataloguer une Comète ?*

*Comment Halley découvrit-il la périodicité de la Comète qui porte son nom ?*

*Citez quelques Comètes périodiques.*

*Dites ce que vous savez sur la constitution des Comètes.*

*A quel moment les Comètes sont-elles le plus lumineuses ?*

*Dans quelle direction est la queue des Comètes par rapport au Soleil ?*

*Quel phénomène remarquable la Comète de Biéla a-t-elle permis d'observer ?*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Lectures et récits sur les Comètes célèbres de l'antiquité et des temps modernes. Influence des préjugés et des superstitions.

Insister sur la signification du mot *plan* et sur la définition du *plan de l'écliptique*. Plans parallèles, plans sécants, etc. Découper des feuilles de papier pour figurer les plans et les placer dans diverses positions les unes par rapport aux autres. La découverte de Halley, fruit de l'*observation*. Méthode dans les sciences naturelles. A propos de la constitution physique des Comètes, parler de la *densité*, du *poids*, de la *masse*, etc. Attraction universelle.

## VI

### Les Comètes de 1881 et de 1882.

Les années 1881 et 1882 ont été particulièrement remarquables par l'éclat de leurs Comètes. Voici quelques renseignements sur ces Comètes récentes, je les ai recueillis à votre intention dans *La Nature* (1). Ce sont des récits qui vous intéresseront, j'en suis sûr, ainsi que les figures qui les accompagnent.

**La Comète de 1881.** — Tout Paris, toute la France a vu apparaître subitement dans la soirée du jeudi 23 juin 1881 une Comète à la flamboyante chevelure, dont le noyau, brillant comme une Étoile de première grandeur, perceait la clarté crépusculaire avec plus d'intensité que toutes les Étoiles de la même région du ciel.

Le nouvel astre a été visible toute la nuit du 23 au 24 juin; il l'a été également toutes les nuit suivantes lorsque le ciel a été pur; mais son éclat s'est bientôt éteint à mesure que la Comète s'est élevée vers le nord.

La Comète de 1881 a été découverte le 23 mai à Cordoba (États de la Plata) par M. Gould, directeur de l'Observatoire, et par son deuxième assistant, don Qualterio Davis, et observée aussi le 29 mai à Rio-Janeiro par M. Cruls; c'est celle dont l'empereur du Brésil a transmis les premières observations à l'Académie des sciences de Paris.

Elle volait dans le ciel avec une vitesse supérieure à celle de la Terre, dont la rapidité est pourtant déjà de 106,000 kilomètres à l'heure, de 29,450 mètres par seconde. Il est proba-

(1) Masson, éditeur. — Années 1882 et 1883.

ble que cette Comète est celle de 1807 qui nous est revenue sans que nous l'attendions. Elle avait la forme d'un éventail presque fermé, le côté gauche un peu plus long que le côté droit. A son maximum d'étendue son panache a présenté une longueur de 10,000,000 de lieues. La comète de Donati (1858) a mesuré 22 millions de lieues, celle de 1811 mesurait

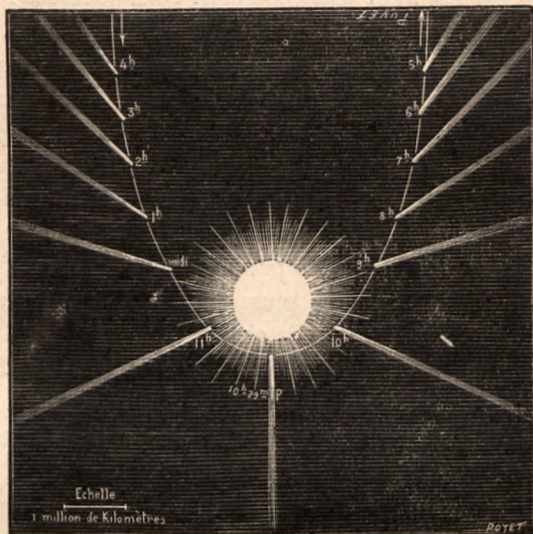


Fig. 29. — Passage de la Comète de 1843 près du Soleil dans la journée du 24 février.

44 millions de lieues, et celle de 1843, plus de 60 millions!

Pour se faire une idée de la vitesse des Comètes il suffit d'examiner la figure 29 qui montre le chemin parcouru précisément par cette fameuse Comète de 1843, pendant la journée du 24 février : de neuf heures et demie à onze heures et demie du matin elle a fait le tour de la moitié du Soleil! Il est probable que la Comète de 1881 nous reviendra en 1955, c'est-à-dire avec une période de soixante-



quatorze ans, si elle n'est pas dérangée en route (fig. 30).

**La grande Comète de 1882.** — L'année 1881 avait vu passer sept Comètes dont une grande, l'année 1882 plus favorisée encore a vu la plus belle du siècle. Malheureusement la persistance des nuages a beaucoup gêné l'Observatoire de Paris, et c'est dans le Midi qu'il faut aller puiser



Fig. 30. — La Comète de 1881, le 1<sup>er</sup> juillet.

la description de la remarquable Comète, elle n'a été bien visible à Paris qu'un mois après sa découverte.

De l'avis de tous les observateurs d'Espagne, de Portugal et des Indes, cette Comète offre un intérêt de premier ordre, un aspect magnifique ; parmi des centaines d'astres analogues qui ont illuminé le ciel, c'est la seule qui se soit montrée nettement en plein jour et dans le voisinage du Soleil (fig. 31).

Il paraît qu'elle a été observée au cap de Bonne-Espérance dès le 17 septembre 1882. A Vienne et à Bruxelles, les astro-

nomes qui l'ont étudiée déclarent que cette grande Comète est la plus éclatante qui ait brillé dans le ciel à notre époque.

On ne connaît que dix Comètes qui aient été vues pendant le jour par des observateurs dignes de foi.

« Ces astres mémorables sont : la Comète de 43 avant J.-C. prise par les Romains pour l'âme de César tombé peu de

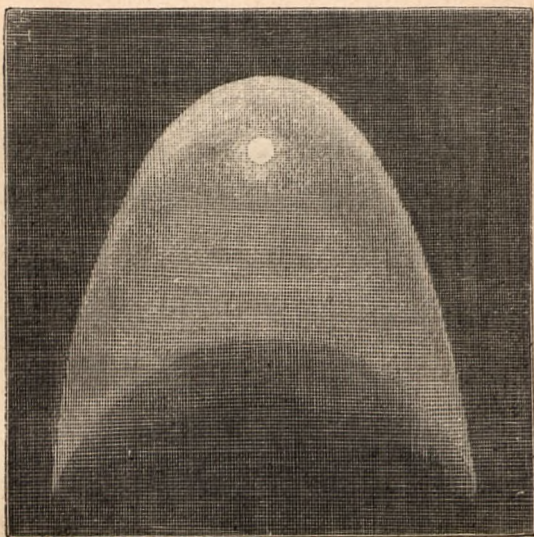


Fig. 31. — La grande Comète de 1882 vue, le 18 septembre, en Espagne en plein midi.

temps auparavant sous les poignards de Brutus et de Cassius ; celle du siège de Jérusalem, en l'an 70 ; les deux Comètes de l'an 1402 ; celles des années 1532, 1577, 1618 et 1744, celle de 1843, et enfin la Comète de 1882. » (Flammarion.)

La figure 32 a été exécutée par un officier de marine M. L. Jacquet, sur la passerelle du paquebot *le Niger*, à l'embouchure du rio de la Plata, elle représente la Comète le 25 septembre 1882. « Le 25 septembre, au matin, dit cet



Fig. 32. — La grande Comète de 1882 à son lever, le 25 septembre, à l'embouchure du rio de la Plata (M. Jacquet).



officier, dans le trajet de Buenos-Ayres à Montevideo, après un coup de vent du sud, avec une atmosphère d'une pureté parfaite, j'ai assisté au spectacle, ineffaçable dans mon souvenir, du lever de cette grande Comète. A quatre heures trente minutes, lorsque le noyau apparut au-dessus de l'horizon, le spectacle dans tout son éclat fut saisissant par son étrange grandeur. Tous, les timoniers et les hommes de quart, en le contemplant, avaient recours aux expressions les plus énergiques de leur langage pittoresque pour exprimer ce qu'ils ressentaient. Le noyau était brillant comme une Étoile de première grandeur, sans chevelure, et la queue s'allongeait comme un cône de métal en fusion. On aurait dit une aigrette éblouissante, ou plutôt un faisceau brillant de fils d'or, dont la partie supérieure se prolongeait au loin. La partie inférieure se prolongeait également, mais dans une très faible mesure. La Comète était très inclinée au-dessus de l'horizon et s'étendait vers le Nord. Chaque matin, lorsque l'état du ciel le permettait, la Comète était bien visible, mais sa grandeur diminuait sensiblement. »

La Comète de 1882 n'a pas de période définie, elle était donc inattendue pour les astronomes comme pour le public, aussi a-t-elle laissé une impression très profonde.

#### QUESTIONNAIRE.

*Récits sur les Comètes.*

*Révision du chapitre I, le Monde solaire.*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

A la fin de cette leçon, le professeur fera une révision du chapitre entier, une vue générale du système solaire. Soleil, Planètes et Satellites, Comètes. Il montrera la position de la Terre dans cet ensemble et ses rapports avec les autres astres.



## CHAPITRE II

### LA LUNE

---

#### I

#### Description de la Lune.

Maintenant que nous connaissons l'ensemble du *monde solaire*, nous allons étudier avec plus de détails la région qui nous intéresse spécialement, c'est-à-dire celle qu'occupent la Terre et la Lune son inséparable compagne.

**Dimensions de la Lune.** — La Lune est une petite planète qui décrit une orbite elliptique dont la Terre occupe un des foyers, mais son ellipse est très peu allongée et ressemble beaucoup à une circonférence.

La Lune accompagne la Terre dans son voyage autour du Soleil, c'est son *satellite*, elle n'est éloignée que de 96,000 lieues, ce qui est une toute petite distance si on la compare à celles que nous avons indiquées en parlant des autres astres ; nos plus forts instruments nous permettent de la voir comme si elle était à 50 lieues. La Lune est quarante-neuf fois plus petite que la Terre ; si nous reprenons la comparaison qui nous a servi pour le Soleil nous dirons que dans un tas de cinquante grains de blé, un grain de blé représente la Lune et les quarante-neuf autres la Terre.

Dans la figure 33, le grand *disque* est la *projection sur un plan* de la *sphère* terrestre et le petit la projection de la sphère lunaire. Aux proportions de cette figure il faudrait

éloigner le petit cercle à 64 centimètres du grand pour représenter exactement la distance de la Terre à la Lune. Et, si nous voulions ajouter le Soleil il faudrait tracer un troisième cercle de 2<sup>m</sup>,50 de *diamètre* et le placer à une distance de 260 mètres environ des deux autres.

La Lune accomplit une révolution complète autour de la

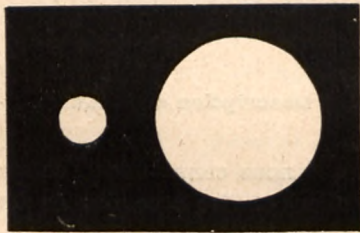


Fig. 33. — Grandeurs relatives de la Terre et de la Lune.

Terre en vingt-neuf jours et demi (*mois lunaire*), sa vitesse est d'à peu près 1 kilomètre par *seconde*.

La Lune pèse quatre-vingt fois moins que la Terre, c'est-à-dire que si l'on mettait la Terre dans le plateau d'une balance il faudrait quatre-vingt Lunes pour lui faire équilibre.

**Aspect de la Lune.** — Si on examine la Lune pendant une belle nuit d'été on est d'abord frappé par l'éclat tranquille et doux de sa lumière. Cette lumière n'appartient pas à la Lune, notre satellite ne fait que nous renvoyer la lumière qui lui vient du Soleil : c'est un miroir qui *réfléchit* les rayons lumineux qu'il reçoit, mais qui n'en produit pas lui-même. Les astronomes pour exprimer cela en deux mots disent que la Lune n'a pas de *lumière propre*.

On a souvent comparé la Lune à une pâle figure qui se montre au ciel pendant la nuit ; avec un peu de bonne volonté vous lui avez vu un nez, une bouche et des yeux ; ce

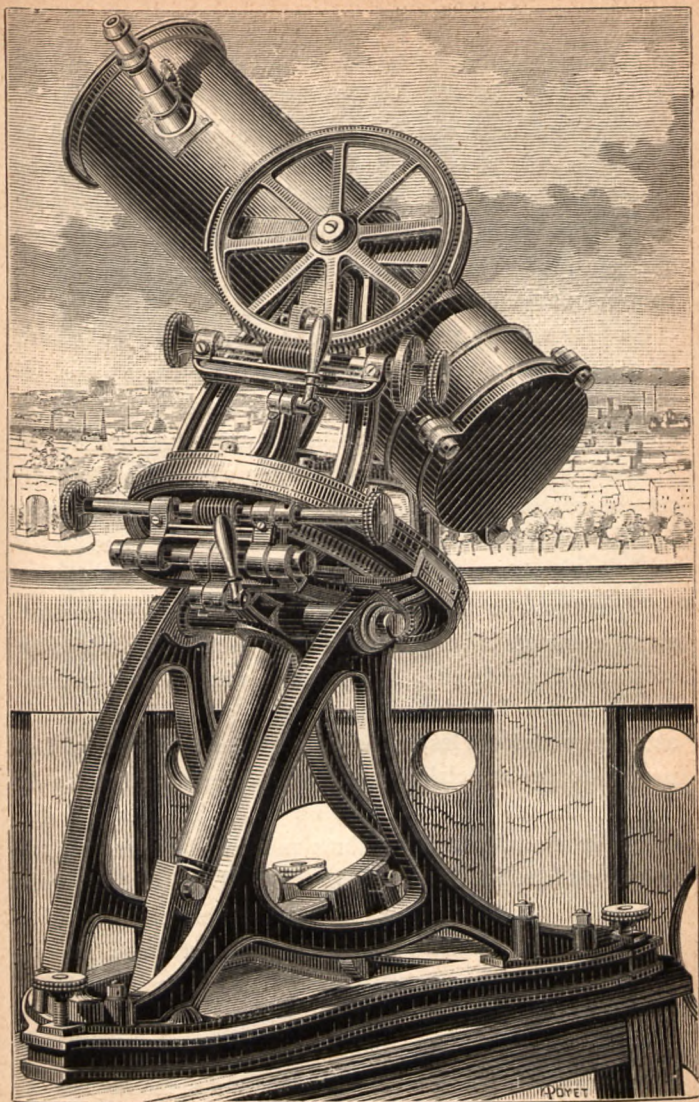


Fig. 34.— Le télescope de l'observatoire populaire du Trocadéro, à Paris.

sont des taches bien intéressantes qui donnent aux enfants cette illusion.

Regardons dans une lunette ou dans un télescope. A ce propos je dois vous dire qu'il ne faut jamais perdre une occasion de regarder le ciel dans ces instruments, les pauvres diables qui montrent les astres dans des lunettes rendent plus de service et gagnent mieux leur argent que beaucoup d'autres industriels de la rue.

Un jour viendra peut-être ou chaque maître d'école aura en sa possession une lunette de moyenne force dans laquelle les enfants pourront examiner les astres. A Paris, un magnifique observatoire populaire existe au Palais du Trocadéro ou tout le monde peut aller s'instruire (fig. 34), cet observatoire a été fondé par M. Léon Jaubert, un infatigable savant qui devrait trouver des imitateurs dans toutes les grandes villes.

Regardons donc l'astre des nuits dans une lunette, surtout au moment où il se présente à nous sous la forme d'un croissant lumineux (fig. 35). Nous le verrons tout hérissé de montagnes. Les sinuosités et les irrégularités des bords accusent nettement les rugosités de la surface lunaire. Les parties de l'astre éclairées par le Soleil sont parsemées de nombreuses cavités circulaires ou ovales limitées par des sortes de murs dont les ombres portées dessinent vigoureusement le relief. Les montagnes de la Lune sont des volcans éteints (fig. 36); on les reconnaît facilement parcequ'ils ressemblent absolument à nos volcans terrestres, ils ont comme eux la forme de vastes *cirques* avec des cônes d'éruption placés intérieurement.

Au moyen de procédés géométriques assez simples, les astronomes ont pu mesurer la hauteur des montagnes de la Lune : certaines d'entre elles atteignent des hauteurs con-



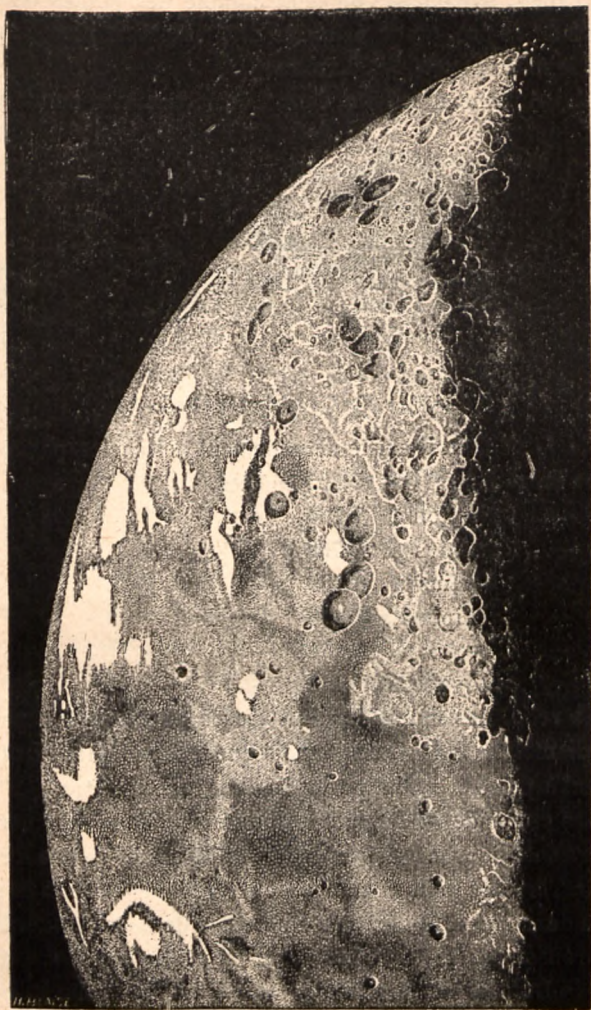


Fig. 35. — Aspect du croissant lunaire vu dans une lunette.

sidérables, surtout si l'on tient compte des petites dimensions de l'astre, on en a trouvé une vingtaine plus élevées que le mont Blanc (4,800 mètres).

L'astronome Riccioli a donné des noms aux montagnes



Fig. 36. — Une des montagnes de la Lune.

de la Lune dont il existe actuellement des cartes parfaites.

Le mont Dorfel a 7,603 mètres.

— Newton a 7,264 —

— Casatus a 6,769 —

— Curtius a 6,769 —

— Calippus a 6,216 —

— Tycho a 6,151 —

— Huyghens a 5,550 —

Le relief des monts les plus élevés atteint la 400<sup>e</sup> partie du diamètre de la Lune, tandis que nos montagnes atteignent à peine la 1,500<sup>e</sup> partie du diamètre terrestre.

Les cartes de la Lune et les hauteurs des montagnes de notre satellite sont plus exactement déterminées que celles de la Terre, et nous connaissons certainement mieux la surface de notre satellite, que la surface de notre globe. Malheureusement, notre curiosité n'est qu'à moitié satisfaite car la Lune ne nous montre jamais qu'un seul côté et nous ignorons absolument la structure de l'autre face lunaire, je vous dirai pourquoi dans la prochaine leçon.

Pour en revenir à la partie que nous connaissons, vous n'avez qu'à comparer les deux figures 37 et 38, et vous vous assurerez par vous-mêmes de la ressemblance frappante qui existe entre les volcans de la Lune et ceux de la Terre.

La figure 37 représente un coin de la surface lunaire, et la figure 38 représente le mont Vésuve avec les petits cratères qui l'entourent. Ne dirait-on pas que ces deux cartes ont été prises en pays voisins ?

Les cirques formés par les cratères de la Lune sont beaucoup plus vastes que ceux des cratères volcaniques terrestres, ils ressemblent à nos plus larges cratères de soulèvement. « Parmi les plus grandes montagnes circulaires de la Lune, dit M. Delaunay, on peut citer Tycho et Archimède qui ont, la première 91,200 mètres, et la seconde 87,500 mètres de diamètre ; à partir de là on en trouve pour ainsi dire de toutes les dimensions, jusqu'à celles qui sont trop petites pour qu'on puisse les distinguer avec les lunettes. Comme termes de comparaison pris sur la Terre, nous pouvons citer le cirque de l'île de Ceylan dont le diamètre est de 70,000 mètres, le cirque de l'Oisans (Dauphiné) dont le diamètre est 20,000 mètres, et le cirque du Cantal (Auvergne) dont le diamètre est de 10,000 mètres.

Quant aux volcans terrestres, leurs diamètres sont beaucoup moindres : celui de l'Étna, dans son maximum, a été de 1,500 mètres ; celui du Vésuve n'a atteint que 700 mètres, celui du Puy de Pariou (volcan éteint de l'Auvergne), est seulement de 310 mètres. »

Entre les volcans lunaires sont de grandes plaines auxquelles on a très improprement donné le nom de *mers*, bien qu'elles ne renferment pas une goutte d'eau.



La Lune ne possède ni atmosphère ni mers. — A la

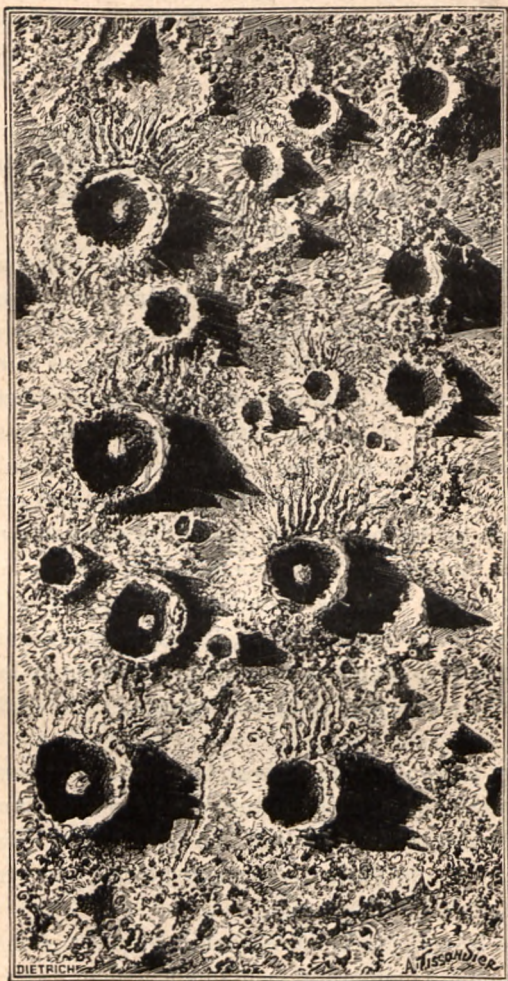


Fig. 37. — Un coin de la surface lunaire.



surface de notre satellite il n'y a ni air ni eau ; la Lune est

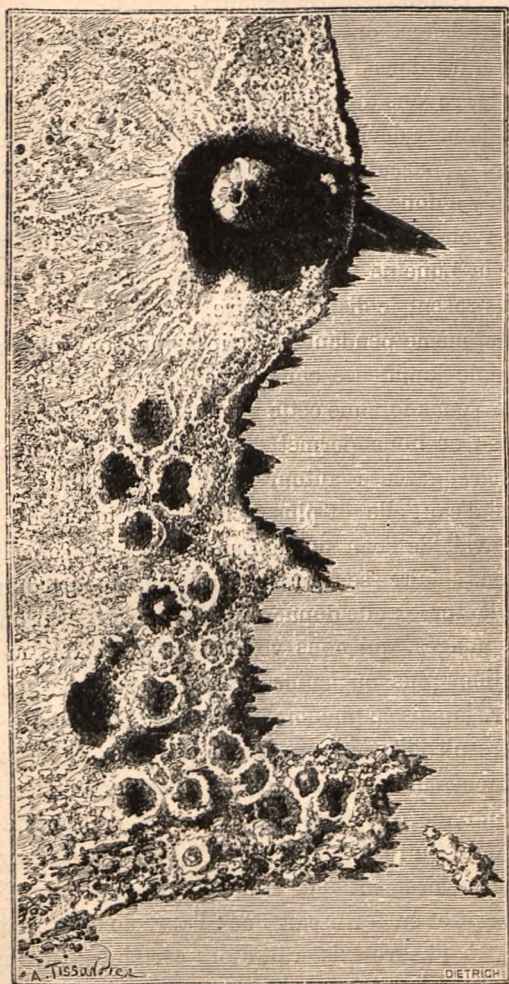


Fig. 38. — Le Vésuve et les champs Phlégréens.

donc une planète inhabitable, du moins pour des êtres organisés comme nous le sommes.

Les physiiciens ont démontré que lorsqu'un rayon de lumière entre dans l'air, il est dévié de sa direction primitive, or les rayons du soleil en rasant la surface de la Lune ne sont jamais déviés, ils ne produisent sur cet astre ni aurore ni crépuscule, ce qui serait un signe de leur déviation, il n'y a donc pas d'air sur la Lune.

Les rayons de lumière qui partent des Étoiles placées derrière la Lune ne sont pas plus déviés que ceux du Soleil lorsqu'ils rasant le disque lunaire.

Jamais, même pendant les éclipses, la Lune n'a présenté une auréole lumineuse comme celle que produit l'atmosphère de Vénus lorsque cette planète passe devant le Soleil, rien donc ne nous permet de croire à l'existence d'une atmosphère gazeuse autour de notre satellite. Quant à l'absence d'eau, elle est plus facile à démontrer encore.

S'il y avait de l'eau sur la Lune, cette eau sous l'action des rayons solaires se transformerait en vapeur comme fait l'eau de la Terre ; elle donnerait naissance à des brouillards ou à des nuages, qui nous voileraient à certains moments des portions plus ou moins étendues de la surface de la Lune. Or, jamais ce phénomène ne s'est produit ; le disque lunaire resplendit toujours du même éclat, il ne présente pas de taches mobiles cachant ses cratères pour les découvrir ensuite, ce que feraient des nuages courant dans une atmosphère. Du reste, s'il y avait de l'eau sur la Lune, il y aurait nécessairement une atmosphère, parce que l'eau se vaporiserait et en formerait une : l'auréole dont nous parlions tout à l'heure existerait alors certainement. Puisqu'il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune, on n'y entend aucun son, car les *ondes sonores ne se propagent pas dans le vide.*

Les volcans lunaires ont pu verser des torrents de lave et lancer des bombes volcaniques par milliers sur les plaines voisines, tous ces phénomènes se sont produits *sans aucun bruit*. Les physiiciens font une expérience bien curieuse pour prouver que le son ne se propage pas dans le vide, ils prennent un ballon de verre A (fig. 39), dans lequel est suspendue une petite clochette S ; tant qu'il y a de l'air dans le ballon on entend sonner la clochette, mais si on retire l'air en faisant communiquer le tuyau B avec une machine pneumatique, la clochette ne résonne plus. Après cela, si on laisse rentrer l'air par le robinet R, le son devient de plus en plus perceptible.

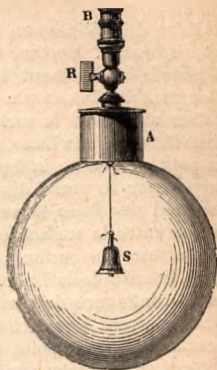


Fig. 39. — Le son ne se propage pas dans le vide.

#### QUESTIONNAIRE.

- Quelle est la forme de l'orbite de la Lune ?*
- A quelle distance de la Terre se trouve la Lune ?*
- Comparez la grosseur de la Lune à celle de la Terre.*
- Quelle est la durée du mois lunaire ?*
- Quelle est à peu près la vitesse de la Lune dans son mouvement de révolution autour de la Terre ?*
- Comparez le poids de la Lune à celui de la Terre.*
- La Lune possède-t-elle une lumière propre ?*
- Décrivez l'aspect que présente la Lune dans les instruments.*
- Dites ce que vous savez sur les montagnes de la Lune.*
- Comparez les hauteurs de ces montagnes au diamètre de la Lune et les hauteurs des montagnes de la Terre au diamètre terrestre.*
- Insistez sur les cirques et les mers de la Lune.*
- Démontrez que la Lune ne possède pas d'atmosphère.*
- Démontrez qu'elle ne possède pas d'eau.*
- Le son se propage-t-il dans le vide ?*
- Racontez l'expérience que font les physiiciens pour prouver que le son ne se propage pas dans le vide.*



### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Faire des ellipses en rapprochant les foyers pour finir par décrire la circonférence. Montrer aux élèves comment il est impossible d'arriver à grossir indéfiniment la Lune au moyen des instruments, la lumière devenant de plus en plus faible sur chaque portion de la Lune à mesure qu'on augmente la surface du disque. A propos des grosseurs relatives de la Terre et de la Lune, expliquer comment la petite boule représentée par le petit disque de la figure pourrait entrer 49 fois dans la boule représentée par le grand disque; les jeunes élèves objectent toujours qu'on ne peut pas faire 49 petits ronds lunaires dans le rond terrestre. Différence entre la surface du disque et le volume de la sphère qu'il représente, etc. Les surfaces et les volumes, rappel au système métrique.

La densité de la Lune. — Intensité de la pesanteur sur les différents astres, influence de la masse dans les phénomènes d'attraction. (Ces notions peuvent être facilement exposées en langage primaire, et intéressent au plus haut point le jeune auditoire.)

Notions générales sur les volcans et les soulèvements. — Mesure des hauteurs de points inaccessibles, arpentage, topographie, description de quelques instruments employés par les géomètres.

A propos de l'absence d'atmosphère dans la Lune, parler de la réfraction, de la réflexion des rayons lumineux, faire des expériences de réfraction (la pièce au fond d'une cuvette, le bâton qui semble brisé dans l'eau, les prismes, etc.) et des expériences de réflexion avec des glaces diversement disposées dans la classe. A propos de l'absence d'eau dans la Lune, formation des vapeurs dans le vide. — Conséquences de l'absence d'atmosphère, notions sur la propagation des ondes sonores.



### Les phases de la Lune. — Phénomène des marées.

Pendant son voyage autour de la Terre, la Lune ne se présente pas toujours à nous avec le même aspect ; tantôt elle a la forme d'un beau disque grand comme le Soleil, tantôt c'est un demi disque ou un croissant.

Si le disque lunaire nous apparaît aussi grand que le Soleil, c'est simplement parce que la Lune est à 96,000 lieues de nous, tandis que le Soleil est à 37,000,000 de lieues, car vous savez qu'il y a une énorme différence de grosseur entre les deux astres qui ne sont pas du tout comparables.

On a donné le nom de *phases* aux divers aspects sous lesquels la Lune se présente à nous.

**Explication des phases de la Lune.** — Pour comprendre les phases de la Lune, faites vous-mêmes une expérience bien simple.

1° Prenez une boule de jeu de quille ou de bilboquet, et couvrez-la de blanc avec un morceau de craie ; placez-vous ensuite devant une lampe munie d'un globe en verre dépoli et tenez la boule suspendue *entre vous et la lampe*.

Il est évident que dans cette position la boule tournera vers vous sa face non éclairée et ne vous réfléchira pas la lumière de la lampe.

2° Mettez maintenant la boule *derrière la lampe*, elle réfléchira la lumière et vous apparaîtra comme un disque blanc.

3° Placez-la *à droite de la lampe* vous en verrez une moitié éclairée et l'autre obscure ; le même fait se produira si vous la placez *à gauche*, mais la partie éclairée ne sera plus tournée du même côté. La boule a eu des phases. Du reste

vous allez vous rendre compte de tout ceci en examinant la figure 40.

Le point T placé au milieu de la figure représente la position de la Terre au centre de l'orbite de la Lune. Le Soleil est supposé situé très loin à droite, la flèche indique le sens de la révolution de la Lune autour de la Terre.

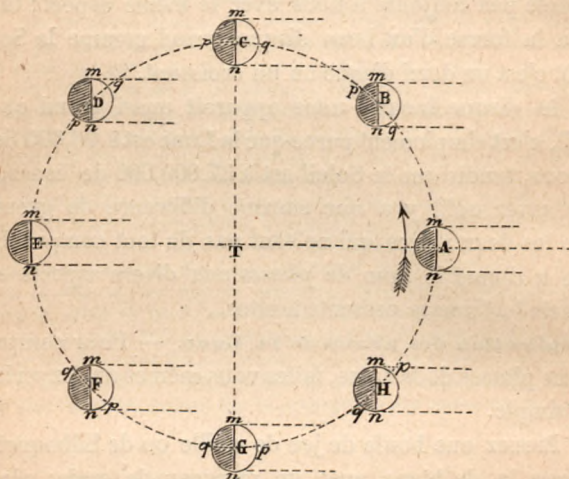


Fig. 40. — Explication des phases de la Lune. Le Soleil est supposé à droite de la figure et la Terre en T au centre de l'orbite lunaire.

D'abord considérons la Lune en A, elle tourne vers la Terre sa partie noire, elle est donc invisible pour nous. Lorsque la Lune est dans cette position, la nuit n'est éclairée que par la lueur des Étoiles, on dit qu'il y a *nouvelle Lune*.

Dans la position E, au contraire, la Lune tourne vers la Terre son disque entièrement éclairé, il y a *pleine Lune*.

Les positions C et G sont nommées *quartiers*, la Lune tourne alors vers la Terre son disque mi-partie éclairé mi-partie sombre. Les autres positions B, D, F, H, intermédiaires

sont les *octants*. (Dans tous les cas le côté éclairé de la Lune indique évidemment la partie du ciel où est le Soleil.)

Quand la Lune va de la nouvelle Lune vers la pleine Lune, on dit qu'elle *croît*, la première moitié du mois lunaire se passe donc en Lune croissante. Le terme est bien exact puisqu'il signifie que la Lune, invisible dans la position A (fig. 40),



Fig. 41. — Fuseau qui suit la nouvelle Lune.      Fig. 42. — La Lune dans la position B de la fig. 40.      Fig. 43. — La Lune dans la position C, 1<sup>er</sup> quartier.

passé à la position B où elle devient visible, nous apparaît d'abord comme un mince fuseau (fig. 41), qui grandit (fig. 42), devient le premier quartier C (fig. 43), grandit encore, D (fig. 44), et arrive enfin à la pleine Lune, E (fig. 45).

A partir de la pleine Lune jusqu'à la nouvelle Lune, c'est-



Fig. 44. — La Lune dans la position D.      Fig. 45. — La pleine Lune. Position E.      Fig. 46. — La Lune dans la position F.

à-dire pendant la seconde moitié du mois lunaire, la Lune *décroit* : son disque devient incomplet, F (fig. 46), le second quartier G arrive (fig. 47), puis le dernier octant H (fig. 48), un fuseau semblable au premier mais tourné inversement se montre encore (fig. 49), et la Lune disparaît.

Le tout s'est passé en 29 jours et demi.

Souvent on dit que la Lune est en *conjonction* lorsqu'elle se trouve entre le Soleil et la Terre, c'est-à-dire à la nou-

velle Lune, et en *opposition*, quand la Terre se trouve entre elle et le Soleil, c'est-à-dire à la pleine Lune.

Vous entendrez aussi quelquefois désigner par *syzygies* les deux positions de la nouvelle et de la pleine Lune (A et E),



Fig. 47. — La Lune dans la position G, dernier quartier.



Fig. 48. — La Lune dans la position H.



Fig. 49. — Fuseau qui précède la nouvelle Lune.

et par *quadratures* les positions de premier et dernier quartier (C et G, fig. 40).

Si vous voulez distinguer vous-mêmes les phases de la Lune, retenez bien le moyen suivant que les matelots enseignent aux mousses : quand le dos de la Lune est tourné comme pour écrire la lettre D, qui commence le verbe décroître (fig. 41, 42, 43 et 44), la Lune ment, elle *croît* ; et quand le dos de la Lune est tourné comme pour écrire la lettre C, qui commence le verbe croître, elle ment encore puisqu'elle *décroit*. Avec un peu d'exercice, vous reconnaîtrez aussi, d'après la grandeur et la direction de la portion de Lune éclairée, le jour du mois lunaire, ou comme on dit : *l'âge de la lune*.

**La lumière cendrée.** — Quelquefois, lorsque la Lune ne présente encore qu'un simple petit fuseau, et qu'on la regarde après le coucher du Soleil, on distingue assez nettement tout son disque. La faible lumière qui l'éclaire a été désignée sous le nom de *lumière cendrée* (fig. 50). Dans ce cas, le fuseau très lumineux est éclairé par le Soleil, et le reste du disque est éclairé par la Terre. Voici du reste comment les astronomes expliquent ce phénomène remarquable :



La Lune renvoie à la Terre la lumière qu'elle reçoit du Soleil, et c'est ainsi qu'elle nous éclaire pendant la nuit. Mais la Terre doit agir de même par rapport à la Lune. La Terre, éclairée par le Soleil, doit renvoyer à la Lune une portion de la lumière qu'elle reçoit.

Pour un observateur placé sur la Lune, la Terre présente des phases entièrement pareilles à celles de la Lune; la Terre doit donc éclairer les nuits de la Lune et les éclairer plus ou moins, suivant la phase dans laquelle elle se trouve.

On reconnaît sans peine (en supposant que la Terre soit en T de la figure 40 et éclairée par conséquent à droite comme la Lune), qu'à la nouvelle Lune, il y aurait pleine Terre pour un observateur placé dans la Lune et regardant notre planète. C'est donc au moment de la nouvelle Lune que l'hémisphère de la Lune non éclairé par le Soleil reçoit le plus de lumière de la Terre.

On comprend d'après cela que, pendant un certain temps avant et après la nouvelle Lune, notre satellite puisse recevoir assez de lumière de la Terre pour que nous l'apercevions. (Delaunay.)

Au moment où on examine la lumière cendrée, une illusion d'optique assez curieuse se produit : le disque faiblement éclairé semble trop petit pour être la suite du croissant lumineux. C'est là une conséquence du phénomène connu sous le nom d'*irradiation*, en vertu duquel, de deux objets d'égales dimensions, le plus éclairé semble plus gros. La figure 51 montre deux cercles égaux, ce que vous pouvez vérifier avec votre compas, et pour-



Fig. 50. — La lumière cendrée.

tant, à première vue, le cercle blanc paraît plus grand.

**La Lune nous montre toujours la même face.** — Dans le temps précis qu'elle met à tourner autour de la Terre, la Lune accomplit une révolution complète sur elle-même, c'est pour cela qu'elle nous montre toujours la même face. Un observateur placé dans le Soleil connaîtrait la Lune sous

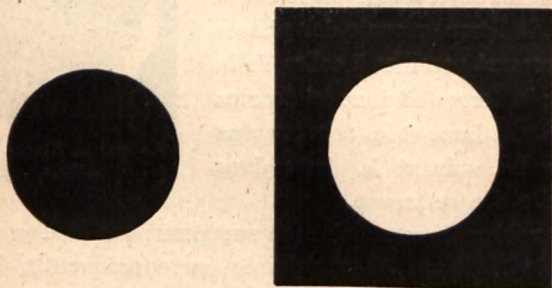


Fig. 51. — De deux cercles égaux, le plus éclairé paraît le plus grand.

toutes ses faces. Pour exprimer ce fait, servons-nous d'une comparaison.

Je suppose un invité placé au milieu d'un salon sous le lustre et regardant un danseur et une danseuse qui, entraînés par la musique, font le tour du salon en valsant.

Le lustre c'est le Soleil, le danseur c'est la Terre, la danseuse c'est la Lune.

La danseuse tourne autour du danseur qui la voit toujours de face. Mais l'invité qui est sous le lustre voit la même danseuse tantôt de face, tantôt de profil, tantôt de dos. De même le Soleil voit la Lune sous toutes ses faces et éclaire successivement chacun de ses points, et la Terre ne voit que la même face de son satellite.

**Effets de l'attraction lunaire sur les Océans.** — La Terre attire la Lune et la maintient dans son orbite, mais la

Lune exerce aussi son attraction sur la Terre ; cette attraction soulève les eaux de l'Océan.

Si vous avez été au bord de la Manche ou de l'Océan vous savez que la mer monte sur le rivage pendant à peu près 6 heures, c'est le *flux*, et qu'elle redescend ensuite dans le même temps, c'est le *reflux*. (Il y a exactement 12 heures 25 minutes entre deux *hautes mers*.)

Les plus fortes marées se produisent lorsque la Lune, la Terre et le Soleil se trouvent à peu près sur la même ligne, c'est-à-dire aux *syzygies* (pleine Lune et nouvelle Lune). Les moins fortes aux *quadratures* (pendant les *quartiers*). Ceci montre que la Lune n'exerce pas seule son action sur la mer, mais que l'attraction solaire contribue aussi au phénomène des marées. En effet c'est quand le Soleil attire l'eau dans le même sens que la Lune qu'ont lieu les marées de *vive eau*, et quand il contrarie l'attraction lunaire qu'ont lieu les marées de *morte eau*. Ces termes, employés par les marins, signifient, le premier, que la mer monte beaucoup, et le second qu'elle monte peu.

Le Soleil, à cause de la grande distance qui le sépare de nous, attire les eaux de l'Océan deux fois moins que la Lune.

Les mers intérieures, comme la Méditerranée, n'ont pas de marées, il n'y a que l'Océan ou les mers qui sont en large communication avec lui qui présentent ce phénomène.

A l'embouchure des fleuves la marée remonte rapidement le courant, une grosse vague se dresse : c'est la *barre*, qui lutte contre l'eau douce. Sur la Seine, aux *marées d'équinoxe* qui sont les plus belles de l'année, cette barre produit un effet grandiose ; on peut l'observer à Caudebec, par exemple, on l'appelle le *mascaret*.

Beaucoup de touristes font le voyage de Paris à Caude-

bec pour assister à ce spectacle magnifique, le 21 mars ou le 21 septembre.

### QUESTIONNAIRE.

*Qu'entend-on par phases de la Lune ?*

*Décrivez une expérience qui puisse donner une idée des phases.*

*Expliquez les phases de la Lune au moyen d'une figure.*

*Quand y a-t-il nouvelle Lune ?*

*A quel moment se produit la pleine Lune ?*

*Qu'entend-on par quartiers et octants ?*

*Que signifient les mots croître et décroître ?*

*Qu'entend-on par syzygies et quadratures ?*

*Dessinez la Lune au premier quartier.*

*Dessinez la Lune au dernier octant, etc.*

*Qu'est-ce que la lumière cendrée ?*

*Par quoi est-elle produite ?*

*Faites comprendre au moyen d'une comparaison le mouvement de la Lune dans l'espace, autour de la Terre et autour du Soleil.*

*Expliquez le phénomène des marées.*

*Qu'est-ce que le flux et le reflux ?*

*À quelles époques les marées sont-elles plus fortes ?*

*Qu'est-ce que le mascaret ?*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Insister longuement sur les phases de la Lune. Faire les expériences indiquées par le sujet.

A propos de la lumière cendrée, prendre deux miroirs et les placer de façon à ce qu'ils se renvoient plusieurs fois la lumière d'une lampe ou d'une bougie.

Expériences sur l'irradiation. — Lectures et récits sur le mascaret, les grandes marées, etc.



### Ce qu'il faut penser de l'influence de la Lune sur le temps.

M. Faye, de l'Institut, a fait au sujet de l'influence de la Lune sur le temps une conférence que je crois utile de répandre. Les erreurs et les préjugés ont une force vitale si remarquable qu'il est bon de s'appuyer sur l'autorité des grands savants pour les déraciner.

Voici comment s'est exprimé l'éminent astronome :

On entend souvent des personnes intelligentes dire : « Le temps est abominable : toujours des bourrasques, toujours de la pluie. Heureusement nous touchons à la fin de la lunaison : il y aura un changement de temps à la nouvelle Lune. »

La croyance à l'influence de la Lune se rencontre aussi chez les marins, pour qui cette question a une grande portée ; aussi, dès qu'on manifeste son incrédulité à cet endroit, ne manque-t-on pas de répondre : « Pourtant tous les marins sont de cet avis. »

D'autres personnes ont aussi le plus grand intérêt à ne pas se tromper en pareille matière. Tels sont les généraux d'armée à la veille d'une expédition que le mauvais temps peut faire échouer complètement.

On assure que le maréchal Bugeaud ne se décidait jamais à entreprendre une expédition de quelque durée avant d'avoir consulté la Lune. Ce guerrier avait même imaginé une règle assez compliquée qui, toutefois, n'impliquait pas un changement de temps à chaque lunaison.

On peut répondre à cela que les généraux romains — et il s'en trouve d'aussi habiles que le duc d'Isly — n'auraient pas osé entamer une entreprise sans consulter les entrailles

des victimes ou la manière dont les poulets sacrés se jetaient sur leur grain. L'opinion et même les victoires des généraux les plus illustres ne prouvent donc rien en certaines matières.

Ce n'est pourtant pas la Lune, mais bien le Soleil qui règle tout ici-bas. Du Soleil seul dépendent non seulement les vicissitudes des saisons, mais tous les mouvements terrestres, depuis les grandes tempêtes de notre atmosphère jusqu'aux moindres vibrations des ailes de l'insecte imperceptible, jusqu'au cours du moindre ruisseau, jusqu'à la chute de la moindre goutte de pluie. Si le Soleil s'éteignait, tout rentrerait bientôt dans l'immobilité; la vie disparaîtrait; pas un grain de sable ne bougerait sur notre globe.

La Lune, il est vrai, nous envoie, par réflexion, un peu de la chaleur que lui donne le Soleil; mais, pour le prouver, il a fallu inventer la pile thermo-électrique, qui est une merveille de sensibilité; la main de l'opérateur posant un instant devant cet admirable instrument, produit un résultat plus grand que tous les rayons de la pleine Lune concentrés par un miroir ardent. Ainsi, la Lune est incapable d'ajouter par sa chaleur propre à la puissante action de la chaleur solaire: c'est comme si on voulait faire monter le niveau des mers en jetant une goutte d'eau dans l'Océan.

Il est vrai encore que l'attraction de la Lune est la cause principale des grandes oscillations de la mer. Puisque la Lune meut l'Océan, on peut se demander si elle ne pourrait pas exercer son *action*, d'une manière sensible, sur l'océan aérien, c'est-à-dire sur notre atmosphère.

L'illustre Laplace qui, le premier, soumit complètement à l'analyse le phénomène des marées, calcula l'influence de la Lune sur notre océan aérien. Il arriva à cette conclu-

sion que la marée atmosphérique doit faire varier périodiquement *d'un centième et demi de millimètre* la hauteur du baromètre.

En outre, Laplace pria son ami Bouvard, directeur de l'Observatoire de Paris avant Arago, de rechercher si dans les observations météorologiques alors existantes, on ne retrouverait pas quelques traces de ces imperceptibles variations. Bouvard ne put rien constater. En se basant sur un siècle d'observations, il compta combien de jours de pluie avaient répondu à chacun des quatre quartiers : la pluie s'était répartie de la manière la plus égale entre ces quatre périodes.

C'est ce qu'on aurait obtenu, en vertu de ce qu'on appelle la *loi des grands nombres* dans le calcul des probabilités, si on s'était avisé de chercher, par exemple, à l'aide d'une statistique de cent années, combien il y a de bœufs à l'abattoir ou de passants sur le Pont-Neuf, à chacune des phases de la Lune.

*Les phases de la Lune n'ont donc aucun rapport avec les changements de temps, ni avec la fréquence ou la quantité de pluie.*

Les autres effets que l'on attribue à la Lune n'ont pas une base plus solide. Souvent même ils sont tellement bizarres que l'on ne peut s'expliquer comment ils ont pris crédit. Leur énoncé suffira à montrer leur absurdité : — Les arbres doivent être coupés pendant le décours de la Lune, si l'on veut que le bois soit de bonne qualité et de conserve. Pour avoir des plantes ou des arbres qui s'élèvent et poussent avec vigueur, il faut semer, planter, greffer et tailler pendant la Lune croissante. — Mais pour avoir des choux ou des laitues qui puissent pousser, pour avoir des fleurs doubles, des arbres à fruits précoces, il faut semer,

planter et tailler pendant le déclin. — Le vin qui se fait dans deux lunes n'est jamais de bonne qualité et reste constamment troublé. Il est évident que toutes ces croyances ne reposent sur aucun fondement.

Les anciens n'ont jamais attribué à la Lune la propriété de faire le beau et le mauvais temps. Ils laissaient à Jupiter tonnant le soin d'assembler les nuages et de lancer la foudre.

Ce préjugé provient d'une fausse analogie entre l'atmosphère et l'Océan, comme nous le disions tout à l'heure. Les anciens, circonscrits dans le bassin de la Méditerranée, ne connaissaient les marées de l'Océan que par ouï-dire. Les navigateurs modernes du quinzième siècle reconnurent l'universalité de ce phénomène : aussi est-ce à cette époque que l'on peut faire remonter l'origine du préjugé que nous combattons. Et ces mêmes navigateurs, en nous faisant connaître les merveilles de notre globe, ont apporté des arguments contre ce préjugé, en faveur de notre thèse.

Ainsi il n'y a jamais d'orages à Lima. Jamais à Sainte-Hélène, de l'autre côté du continent américain et de l'Atlantique, on n'a entendu les éclats de la foudre, tandis qu'il tonne presque tous les jours aux Moluques ou aux îles de la Sonde ; pourtant la Lune change pour les uns comme pour les autres. Dans la Haute-Égypte, il ne pleut jamais, et pourtant la Lune y a, comme chez nous, toutes ses phases. Partout, au contraire, l'Océan monte ou baisse suivant la Lune.

Il faut conclure de là que les deux phénomènes, les marées universelles et les accidents météorologiques de l'atmosphère, n'ont aucun rapport entre eux.

Un autre argument décisif se trouve dans les lois qui régissent les tempêtes : il est fourni par un habile marin, ce qui le fera accepter de meilleure grâce par les hommes



de mer. Il a l'avantage de mettre les partisans de l'influence lunaire dans la situation légèrement embarrassante d'un ferrailleur qui reçoit en pleine poitrine un coup droit bien porté, sans riposte possible, et qui, pour la galerie, termine nécessairement le combat.

« Un cyclone, dit le commandant Bridet, voyage pendant dix, quinze et même vingt jours pour accomplir sa course totale. Le même cyclone peut donc frapper un navire en nouvelle Lune, un second en premier quartier, et un troisième en pleine Lune. Chacun des capitaines de ces trois navires aurait alors le droit d'attribuer à l'un de ces trois quartiers de la Lune le désastre qui l'aurait atteint, et cependant ce serait le même phénomène qui, dans sa course normale et parfaitement régulière, aurait rencontré ces trois navires, l'un après l'autre, sur la route qu'il était naturellement appelé à parcourir. »

**La Lune rousse.** — D'autres opinions reposent sur des faits vrais pour l'explication desquels on fait à tort intervenir la Lune. Il faut citer l'influence nuisible que l'on attribue à la *Lune rousse* sur les phénomènes de la végétation. On sait que les jardiniers donnent ce nom à la Lune qui, commençant en avril, devient pleine à la fin de ce mois ou dans le courant de mai.

Ils affirment qu'à cette époque, lorsque le ciel est serein, les feuilles, les bourgeons exposés à la lumière de la Lune *roussissent*, c'est-à-dire se gèlent, quoique le thermomètre se tienne dans l'atmosphère à plusieurs degrés au-dessus de zéro. Mais, si la Lune est cachée, si les nuages interceptent la lumière de l'astre et l'empêchent d'arriver jusqu'aux plantes, les mêmes effets n'ont plus lieu, les bourgeons ne roussissent pas.

D'où ils concluent que la Lune refroidit les plantes et les gèle.

Or, la pile thermo-électrique, dont nous avons déjà parlé et qui est une merveille de sensibilité, montre que la Lune ne chauffe rien et ne refroidit rien; il faut donc rejeter l'explication des jardiniers.

Cependant, le fait est vrai, les plantes roussissent en avril quand la Lune brille d'un pur éclat, *mais la Lune n'en est pas la cause.*

On sait que les végétaux se refroidissent très vite lorsque le Soleil est couché et qu'ils peuvent acquérir une température inférieure de sept à huit degrés à celle de l'atmosphère qui les environne. Une plante peut donc être fortement gelée pendant la nuit, même quand l'air s'est maintenu constamment à plusieurs degrés au-dessus de zéro. Mais il faut pour cela que le ciel soit parfaitement serein; s'il est couvert, la plante ne rayonne pas sa chaleur dans l'espace, elle la garde et ne se refroidit pas.

Or, en avril et en mai, la température n'est souvent, la nuit, que de quelques degrés au-dessus de zéro. Par suite, *si la Lune brille, c'est-à-dire si le ciel est serein*, le rayonnement peut faire descendre la température des plantes au-dessous de zéro et les geler entièrement, tandis que *si la Lune ne brille pas, c'est-à-dire si le ciel est couvert*, la température des plantes ne descendra pas au-dessous de celle de l'atmosphère et il n'y aura pas de gelée.

Les nuages, dans ce cas, jouent le même rôle que les paillassons ou les feuilles mortes dont on recouvre les jeunes pousses, ils empêchent la chaleur acquise par les plantes pendant le jour de s'échapper pendant la nuit. S'il n'y a pas de nuage en avril, les plantes, n'étant pas couvertes, gèlent et roussissent, mais la Lune n'y est pour rien.

## QUESTIONNAIRE.

*La Lune a-t-elle une influence sur le temps ?*

*La quantité de chaleur qu'elle nous envoie est-elle appréciable ?*

*Son attraction s'exerce-t-elle d'une façon sensible sur l'atmosphère ?*

*Que sait-on sur les marées atmosphériques ?*

*Réfutez, au moyen d'observations géographiques, ce préjugé que la Lune a la propriété de faire le beau et le mauvais temps.*

*Réfutez le même préjugé par l'observation de la marche des tempêtes.*

*Qu'entendent les jardiniers par la Lune rousse ?*

*Expliquez le phénomène qui a fait croire à l'influence nuisible de la Lune d'avril.*

## EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Parler des nombreux préjugés que la science combat tous les jours. — Les augures, les astrologues, les diseurs de bonne aventure, les tireuses de cartes, les chiromanciens, etc., n'ont vécu et ne vivent que de la crédulité des ignorants.

Calcul des probabilités, lois des probabilités. — Observations continues. Tableaux statistiques pour arriver à la connaissance des lois naturelles.

Insister sur la différence du régime des pluies à la surface des diverses parties de la Terre, qui toutes voient pourtant les phases de la Lune de la même façon. — Marche des cyclones.

Insister, à propos de la *Lune rousse*, sur le rayonnement (glacières, marmites suédoises, théorie des vêtements, les édredons, les doubles fenêtres, etc.). Conductibilité des corps pour la chaleur.

## Les Éclipses.

**Définition.** — On donne le nom d'*éclipse* à la disparition momentanée, totale ou partielle, du Soleil ou de la Lune. Le spectacle des éclipses est toujours des plus frappants.

Tantôt, en plein jour, le disque du Soleil s'éteint, les animaux effrayés se cachent, les oiseaux cessent de chanter, et les hommes, saisis d'étonnement, attendent le retour de la lumière. D'autres fois c'est la pleine Lune qui en quelques minutes cesse d'éclairer la Terre et obscurcit son disque lumineux. Ces phénomènes ont de tout temps vivement impressionné ceux qui en ont été témoins. Dans l'antiquité et au moyen âge ils inspiraient une profonde terreur. De nos jours les savants ont si parfaitement expliqué le mouvement des astres et la production nécessaire des éclipses qu'elles n'excitent plus qu'une vive curiosité.

**Éclipses de Lune.** — Vous avez certainement remarqué que lorsqu'un corps est vivement éclairé, il projette derrière lui une *ombre*.

La Terre, éclairée d'un côté par le Soleil, projette donc

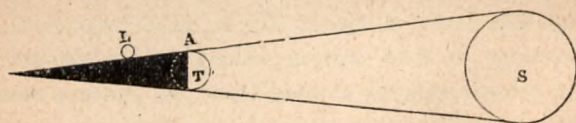


Fig. 52. — La Lune va entrer dans le cône d'ombre de la Terre.

derrière elle une grande *ombre* qui s'étend à 344,000 lieues dans l'espace. Cette ombre a la forme d'un *cône*, parce que la Terre est une *sphère*.



La Lune, qui tourne autour de la Terre seulement à 96,000 lieues, peut, à l'époque de la pleine Lune, c'est-à-dire quand elle passe derrière nous, entrer dans notre *cône d'ombre* (fig. 52). Si elle y entre tout entière, on dit qu'il y a *éclipse totale* de Lune. Si une partie seulement de son disque y pénètre, l'*éclipse est partielle* (fig. 53).

Autour de l'ombre proprement dite de la Terre se trouve une ombre moins obscure qu'on nomme *pénombre*, beaucoup plus grande que l'ombre vraie. Avant de pénétrer dans l'ombre, la Lune passe dans la pénombre. C'est pour cela que, pendant l'éclipse, la lumière du disque lunaire disparaît par une dégradation insensible et non brusquement.

*Les éclipses de Lune ne peuvent se produire qu'à la pleine Lune*, et il faut pour cela que le Soleil, la Terre et la Lune soient à peu près sur la même ligne droite. Elles sont faciles à prédire. Les Chaldéens avaient déjà remarqué que tous les 18 ans et 11 jours la Lune reprenait exactement les mêmes positions par rapport au Soleil et à la Terre; ils avaient appelé *saros* cette période, qui comprend exactement 223 mois lunaires.

Connaissant les éclipses d'une période, il est facile de prédire celles des autres périodes, puisqu'elles se reproduiront dans le même ordre : c'est le procédé que les anciens employaient.

Quelques éclipses de Lune sont restées célèbres dans l'histoire. La mort du général athénien Nicias et la ruine de son armée en Sicile, qui commencèrent la décadence d'Athènes, eurent pour cause une éclipse de Lune. On sait

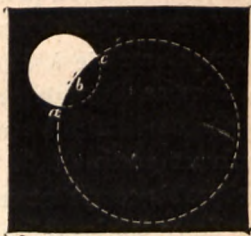


Fig. 53. — Éclipse partielle de Lune. *abc*, les bords de l'ombre de la terre sur le disque lunaire.

comment Christophe Colomb, menacé de mourir de faim, à la Jamaïque, avec sa petite armée, trouva le moyen de se procurer des vivres en menaçant les Caraïbes de les priver désormais de la lumière de la Lune. L'éclipse était à peine commencée qu'ils se rendaient à lui (c'est l'éclipse du 1<sup>er</sup> mars 1504, observée en Europe par plusieurs astronomes et arrivée à la Jamaïque à six heures du soir). La Lune ne disparaît presque jamais complètement dans les éclipses totales à cause de la réverbération des rayons lumineux partis de la Terre. Elle est pourtant devenue quelquefois complètement invisible; on cite comme exemples de ce fait les éclipses de 1642, 1761 et 1816 : il était impossible de trouver dans le ciel la place de la Lune. D'autres fois, la visibilité, sans être nulle, est très imparfaite. Quelquefois, au contraire, comme en 1703 et 1848, la Lune est restée si éclairée qu'on pouvait douter qu'elle fût éclipcée. (Flammarion.)

La prochaine éclipse totale de Lune, qui sera bien visible en France, aura lieu le 28 janvier 1888; il y en aura d'autres partielles le 11 mai 1892 et le 7 janvier 1898.

**Eclipses de Soleil.** — *Les éclipses de Soleil ne peuvent*

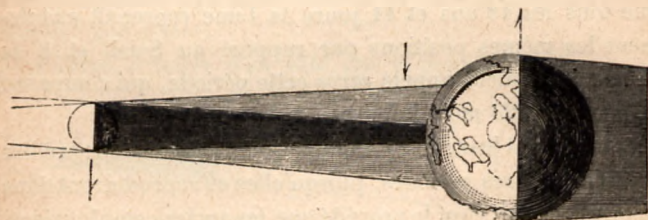


Fig. 54. — Théorie de l'éclipse de Soleil.

*se produire qu'à la nouvelle Lune, c'est-à-dire quand la Lune, passant entre nous et le Soleil, se place de telle façon qu'elle nous cache tout ou partie de l'astre du jour.*

Il y a, derrière la Lune comme derrière la Terre, une ombre et une pénombre. L'ombre de la Lune peut dépasser 96,000 lieues de longueur et atteindre la Terre, comme le montre la figure 54. Dans ce cas, il y a éclipse totale de Soleil pour toutes les régions touchées par l'ombre. Si c'est seulement la pénombre qui atteint la Terre, l'éclipse est partielle. La même éclipse, totale dans un pays, est partielle dans les pays voisins, et invisible pour les autres parties de la Terre.

Il est facile de se rendre compte de ce phénomène en

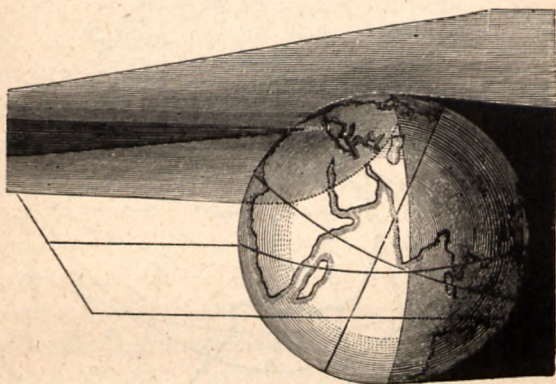


Fig. 55. — L'éclipse de Soleil du 22 décembre 1870.

examinant la figure 55, qui représente l'éclipse du 22 décembre 1870. Le cône d'ombre de la Lune vient toucher l'Algérie, où l'éclipse est totale; la pénombre couvre l'Europe et l'Afrique jusqu'à l'équateur, où l'éclipse n'est que partielle, tandis que le reste de l'Afrique et Madagascar ne se doutent même pas de son existence et continuent à recevoir les rayons du Soleil.

L'éclipse ne peut être totale que pour une surface d'une trentaine de lieues à la fois; mais comme la Terre et la Lune ne sont pas immobiles pendant la durée du phéno-

mène, la tache noire avance sur la Terre en décrivant une courbe que les astronomes connaissent d'avance. Plusieurs pays voient successivement le Soleil s'éclipser. On prédit de même la marche de la pénombre, et l'on construit des *cartes d'éclipses* comme celle de la figure 56.

La ligne AA'A'' marque les points où l'éclipse de 1870 a



Fig. 56. — Carte de l'éclipse de Soleil du 22 décembre 1870.

été totale. La tache d'ombre était en A vers midi moins un quart, en A' vers midi et demie et en A'' sur la mer d'Azof à une heure et demie. Les autres lignes marquent la pénombre.

Les astronomes font de longs voyages pour assister aux éclipses totales, qui leur permettent d'étudier les protubérances solaires. Parmi les dernières qui ont eu lieu nous pouvons citer : celle du 8 juillet 1842, visible dans les Pyrénées-Orientales; celle du 18 juillet 1860, visible en Afrique; celle du 18 août 1868, observée dans l'Inde par



M. Janssen; celle du 13 mai 1877, visible en Turquie; et celle du 29 juillet 1878, qui fut totale aux États-Unis.

Il n'y aura pas d'*éclipse totale* de Soleil en France d'ici à la fin du siècle, il n'y en aura même pas pendant le siècle prochain; la première qui se produira aura lieu en 2026. Nous avons dit en commençant ce livre que les astronomes pouvaient retrouver par le calcul la date des anciennes éclipses.

En voici un exemple :

D'après Hérodote, que l'on regarde comme le plus véridique des historiens anciens, le Soleil s'éteignit subitement pendant une bataille que se livraient les Lydiens et les Mèdes. Les deux armées épouvantées mirent bas les armes pensant que les dieux ne voulaient pas être témoins de leur lutte criminelle, et firent des efforts pour arriver à conclure la paix. Ce fut cette éclipse totale de Soleil qui amena un arrangement pacifique entre les deux nations. Pline et Cicéron s'accordent dans leurs écrits pour placer l'événement à une date qui correspondrait pour nous à l'année 585 avant J.-C. D'autres historiens prétendent que la bataille en question eut lieu en 583, d'autres en 601, d'autres en 603.

Les calculs des astronomes modernes ont démontré que tout le monde avait tort. L'éclipse totale de Soleil dont parle Hérodote n'a pu se produire que le 30 septembre de l'année 610 avant J.-C., et c'est ce jour-là par conséquent que les deux armées ennemies se livrèrent bataille, mirent bas les armes et firent la paix.

Voilà donc une date de l'histoire de l'antiquité établie par le calcul des astronomes.

Lorsque l'éclispe est *partielle*, le disque du Soleil paraît échancré plus ou moins profondément par la Lune, qui passe devant lui comme un écran (fig. 57).

Les éclipses partielles les plus intéressantes sont les *éclipses annulaires*, dans lesquelles la Lune, trop petite pour couvrir tout le disque solaire, laisse autour d'elle un anneau lumineux (fig. 58).

**Occultations.** — De petites éclipses se produisent toutes



Fig. 57.— Une éclipse partielle de Soleil. Fig. 58. — Éclipse annulaire de Soleil.

les nuits quand la Lune, décrivant son orbite autour de la Terre, passe devant les Étoiles et les cache. On nomme ces éclipses d'Étoiles des *occultations*. Il va sans dire que les astronomes savent d'avance quelles sont les Étoiles qui seront cachées par la Lune.

Les occultations sont intéressantes à étudier; elles nous prouvent, par exemple, que, même pendant les phases, le disque lunaire est toujours bien complet puisque les Étoiles disparaissent derrière la partie non visible de la Lune, absolument comme pendant la pleine Lune.

#### QUESTIONNAIRE.

*Qu'entend-on par le mot éclipse ?*

*Expliquez les éclipses de Lune.*

*A quel moment les éclipses de Lune peuvent-elles se produire ?*

*Qu'est-ce que le saros des Chaldéens ?*

*Citez quelques éclipses de Lune célèbres dans l'histoire.*

*Pourquoi les éclipses de Soleil ne se produisent-elles qu'à la nouvelle Lune?*

*Expliquez les éclipses de Soleil.*

*Qu'entend-on par éclipse totale et éclipse partielle?*

*Qu'est-ce qu'une carte d'éclipse?*

*Qu'entend-on par occultations?*

#### **EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.**

Ombre et pénombre, objet éclairé par un point lumineux ou par une source de lumière étendue. — Explication des éclipses par des expériences. — Pourquoi ne se produit-il pas d'éclipses à toutes les nouvelles Lunes et à toutes les pleines Lunes? Les trois astres ne se trouvent pas dans le même plan. — Lectures et récits sur les éclipses. — Faire des occultations de points marqués sur les murs en promenant un petit disque de papier, etc., etc.

# CHAPITRE III

## LA TERRE

---

### I

#### Forme et dimensions de la Terre.

**Définition.** — La Terre est la troisième planète qui tourne autour du Soleil; elle se trouve placée à une distance moyenne de 37,000,000 de lieues de cet astre; son orbite est une ellipse.

La durée de la révolution de la Terre autour du Soleil est de 365 jours, 5 heures, 48 minutes, 48 secondes. Cette durée se nomme *année*.

La Terre ne tourne pas seulement autour du Soleil, elle est encore animée d'un mouvement de rotation sur elle-même. La durée de cette rotation se nomme *jour*; on a divisé le jour en 24 parties égales qui sont les *heures*.

Chaque heure comprend 60 *minutes* et chaque minute 60 *secondes*.

**Forme et dimensions de la Terre.** — La Terre est *ronde*; pour s'en convaincre, il suffit de regarder un navire placé à l'horizon (fig. 59) et se dirigeant vers la côte. C'est d'abord la partie supérieure de sa mâture que l'on aperçoit, parce que les parties basses sont cachées derrière la courbure de la Terre, puis peu à peu le pont devient visible, et enfin le navire tout entier.

Puisque la Terre est une sphère, nous pouvons considérer



deux de ses diamètres : l'un vertical, c'est le *diamètre polaire*, et l'autre horizontal, c'est le *diamètre équatorial*.

Des mesures prises par les astronomes démontrent que ces deux diamètres ne sont pas égaux ; le diamètre polaire



Fig. 59. — Preuve de la sphéricité de la Terre.

est de  $1/300$  plus court que le diamètre équatorial. *La Terre n'est donc pas une sphère parfaite ; elle est aplatie à ses pôles.* (Cet aplatissement est négligeable ; il serait en effet représenté par une diminution de 3 millimètres sur le diamètre polaire d'une sphère dont le diamètre équatorial aurait 1 mètre.)

On trouve pour les dimensions de la Terre les valeurs suivantes : Diamètre équatorial, 12,753,642 mètres ;

Diamètre polaire, 12,711,130 mètres ;

Différence entre les deux diamètres, 42,512 mètres.

Les *grands cercles* que l'on fait passer par les deux extrémités du diamètre polaire se nomment *méridiens*.

La ligne PAMQ dans la figure 60 est un méridien.

Le *grand cercle*, qui passe par les deux extrémités du diamètre équatorial, se nomme *équateur*. La ligne EOME dans la figure 60 est l'équateur.

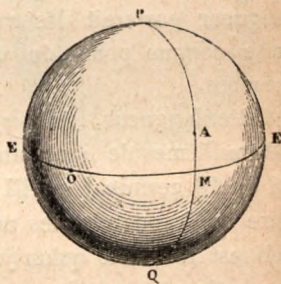


Fig. 60. — Équateur EOME, et méridien PAMQ.

On peut mener autant de méridiens qu'on veut sur le globe terrestre; ils sont tous égaux; mais on ne peut y tracer qu'un seul grand cercle équateur; les cercles parallèles à l'équateur sont plus petits que lui.

Avant la Révolution de 1789 les mesures de longueur employées en France et dans tous les pays du monde étaient très différentes les unes des autres; d'une province à la province voisine, l'unité de longueur différait. Il en était de même des mesures de capacité et de poids.

Un décret de l'Assemblée constituante chargea l'Académie des sciences de mettre ordre à cet état de choses et d'organiser un nouveau système de poids et mesures (8 mai 1790). Delambre et Méchain mesurèrent une grande portion du méridien, qui, partant des pôles, passe par Paris, et conclurent de leurs travaux que le quart du méridien terrestre (la ligne PM de la figure 60) avait une longueur de 5,130,740 toises.

L'Académie décida que la dix-millionième partie de cette longueur porterait désormais le nom de *mètre* et serait prise comme point de départ du nouveau système de mesures.

Cette longueur, qui équivalait à 3 pieds, 11 lignes, 296 millièmes de ligne, ancien système, fut adoptée par la loi du 18 germinal an III (7 avril 1795), et devint obligatoire en France avec les mesures qui en dérivent.

Il est probable qu'un jour viendra où tous les peuples consentiront à employer notre système métrique, qui rattache l'unité de mesure aux dimensions du globe terrestre et facilite beaucoup les calculs.

**Latitudes et longitudes géographiques.** — Vous avez probablement tous dans votre boîte de compas un demi-cercle en corne ou en cuivre sur lequel sont gravées 180 di-

visions; cet instrument, nommé *rappporteur*, sert à mesurer les angles et à construire des angles d'une grandeur donnée. *Le cercle entier aurait 360 divisions* (fig. 61).

On peut tracer sur le méridien terrestre autant de degrés que sur le rapporteur, et faire la même opération sur l'équateur; par ce moyen il devient facile de déterminer la position d'une ville ou d'un point quelconque sur la sphère terrestre; vous allez voir comment.



Fig. 61.

Supposez le cercle méridien PAMQ de la figure 62 divisé en degrés, le  $0^\circ$  étant placé en M et le  $90^\circ$  en P.

Le point A se trouve sur un de ces degrés, le quinzième par exemple; il y a entre A et M un arc de méridien qu'on nomme *arc de latitude*, et on dit que le point A se trouve à quinze degrés de latitude.

Supposez maintenant le cercle équateur EOME de la même figure divisé en degrés, les degrés commençant en M et le  $90^\circ$  degré arrivant en E, à gauche de la figure.

Le point O se trouve sur un de ces degrés, le quarantième par exemple; il y a entre O et M un arc d'équateur qu'on nomme *arc de longitude*, et on dit que le point O se trouve à quarante degrés de longitude. Chaque degré de latitude ou de longitude est subdivisé en 60 minutes, et la minute en 60 secondes. Par les degrés de latitude on fait passer des cercles parallèles à l'équateur (fig. 63); on les nomme simplement *parallèles*. Le petit cercle *mn* est un parallèle.

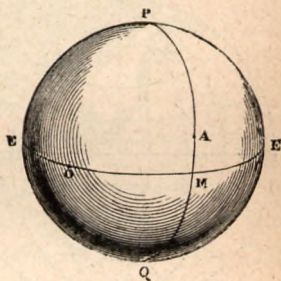


Fig. 62. — Équateur et Méridien.

De tout ce que nous venons de dire, il résulte qu'un point quelconque de la surface du globe sera déterminé si on connaît sa latitude et sa longitude, c'est-à-dire sa hauteur au-dessus de l'équateur, et son éloignement du méridien PAMQ choisi comme point de départ.

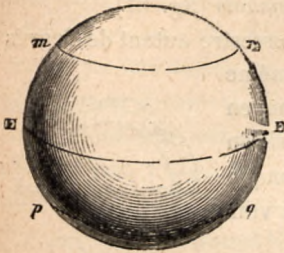


Fig. 63. — Équateur EE et parallèle mn.

Examinez un *globe terrestre* quelconque, et vous verrez sur ce globe les cercles de latitude (parallèles) et les cercles de longitude (méridiens) (fig. 64). On a tracé les mêmes cercles sur le *globe lunaire* (fig. 65) afin de pouvoir indiquer exactement la position des montagnes

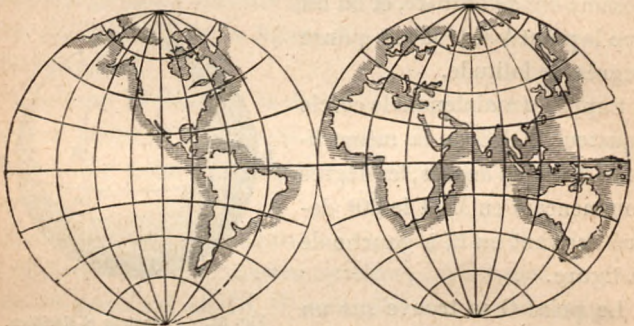


Fig. 64. — Mappemonde avec ses parallèles et ses méridiens.

de la Lune, et sur le *globe céleste* pour indiquer la position des Étoiles.

Dans le cas de la sphère céleste on ne dit plus latitude et longitude, on dit *ascension droite* et *déclinaison*.

Les degrés de latitude se distinguent en degrés de *latitude nord* et degrés de *latitude sud*, suivant qu'ils se trouvent au-dessus ou au-dessous de l'équateur.



(Il y a  $90^\circ$  de latitude nord et  $90^\circ$  de latitude sud.)

De même les degrés de longitude se distinguent en degrés de *longitude est* et degrés de *longitude ouest*, suivant qu'ils sont à droite ou à gauche du méridien PAMQ.

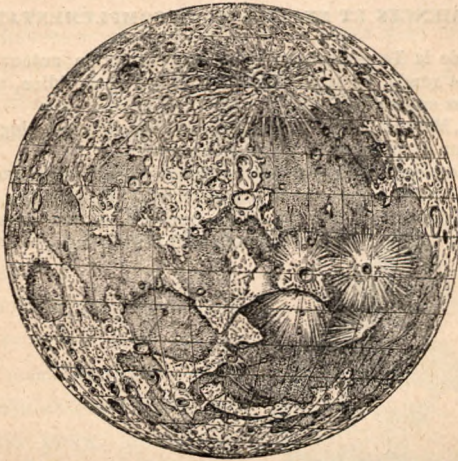


Fig. 65. — La Lune avec ses parallèles et ses méridiens.

(Il y a  $180^\circ$  de longitude *est* et  $180^\circ$  de longitude *ouest*.)

On a dû vous apprendre toutes ces choses dans votre cours de géographie; je n'insisterai donc pas plus longtemps sur ce sujet.

#### QUESTIONNAIRE

Qu'est-ce que la Terre?

A quelle distance se trouve-t-elle du Soleil?

Quelle est la durée de l'année?

Qu'est-ce que le jour?

Prouvez la sphéricité de la Terre.

Qu'entend-on par diamètre polaire et diamètre équatorial?

La Terre est-elle parfaitement sphérique?

Quelle est la longueur du diamètre équatorial?

*Quelle est la longueur du diamètre polaire ?*

*Comment nomme-t-on les grands cercles qui, partant des pôles, coupent l'équateur ?*

*Qu'est-ce que le mètre ?*

*Qu'entend-on par latitudes et longitudes géographiques ?*

### **EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.**

Rotation de la Terre autour de son axe, révolution autour du Soleil. La Terre est ronde, *horizon*. Mesure d'un arc de méridien, notions sur les méthodes employées.

Delambre, Méchain, Biot, Arago. Notions historiques et biographiques.

Insister sur le mètre et le système métrique.

Divisions du cercle, rapporteur, angles, arcs, etc. Faire mesurer des angles. Choisir des points sur la sphère terrestre et faire dire aux élèves à quelles latitude et longitude ils se trouvent. — Notions sur la construction des cartes. Diverses méthodes de projection.

## Le jour et la nuit. — Les heures.

**Orientation.** — Lorsqu'à midi on regarde le Soleil, on a devant soi le *midi*, derrière soi le *nord*, l'*est* à gauche, et l'*ouest* à droite. Chercher ces quatre points qu'on nomme *points cardinaux*, c'est *s'orienter*.

Il est toujours assez facile de s'orienter dans un lieu, et c'est une opération que je vous engage à répéter souvent en promenade.

Au lieu d'observer les astres, on peut se servir d'un instrument nommé *boussole*. C'est une aiguille aimantée très mobile sur un pivot; une de ses extrémités, celle qui est brunie, se dirige vers le nord.

La boussole est indispensable aux marins, elle est installée à l'arrière du navire, sous les yeux du timonier (fig. 66), qui peut à chaque instant comparer la direction de l'aiguille avec celle de son bâtiment et, par conséquent, rester dans la bonne voie.

**Mouvement apparent du Soleil.** — Pour assister au lever du Soleil, il faut se placer autant que possible dans une plaine bien découverte, ou sur un point élevé.

A l'aide de la boussole on détermine la direction du *midi* et on se tourne dans cette direction.



Fig. 66. — Boussole marine.

Tout d'un coup, vers la *gauche*, c'est-à-dire vers l'*est*, les Étoiles pâlisent, l'astre s'annonce par une lueur rosée et paraît au-dessus de l'horizon.

L'*est* étant le côté où le Soleil se lève, on le désigne souvent sous les noms de *levant* ou d'*orient*.

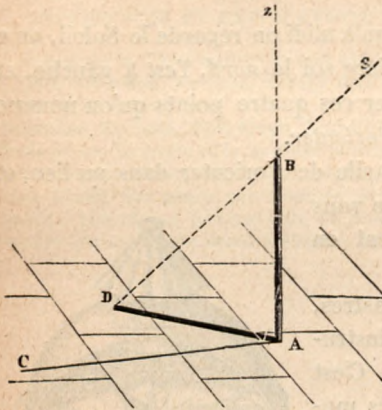


Fig. 67. — L'ombre d'un bâton indique la position du Soleil.

En peu de temps, le Soleil monte de plus en plus, il décrit une courbe dont il atteint le point le plus élevé à midi, puis redescend à *droite*, vers l'*ouest* qu'on nomme encore *couchant* ou *occident*.

On peut suivre le mouvement du Soleil en plantant un bâton AB en terre et en exami-

nant son ombre AD. La position occupée par l'extrémité de cette ombre (fig. 67) indique exactement à chaque moment de la journée la position du Soleil; il se trouve en S sur le prolongement de la ligne imaginaire qui joint D et B.

La droite CA de la figure est très importante, c'est la *méridienne* du lieu, c'est-à-dire la direction de l'ombre du bâton à midi, précisément avant que le Soleil ne commence à descendre vers l'ouest.

Les astronomes, pour mieux se rendre compte de la position du Soleil, placent à l'extrémité d'une tige qu'ils nomment *style* un disque percé en son centre d'une ouverture circulaire : l'instrument est un *gnomon* (fig. 68).

L'ombre tourne autour du style à mesure que le Soleil



tourne lui-même de l'est vers l'ouest, et, suivant les heures,

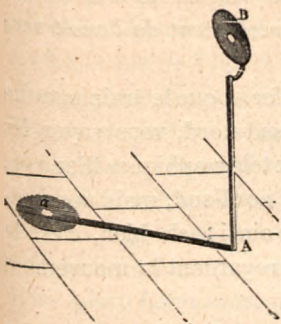


Fig. 68. — Le gnomon.

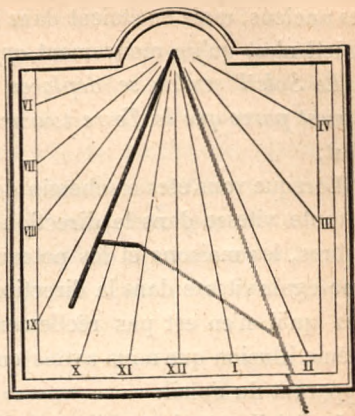


Fig. 69. — Cadran solaire vertical appliqué contre un mur.

cette ombre occupe telle ou telle position par rapport à la méridienne.

On a construit des appareils qui donnent l'heure au moyen de l'ombre d'un style, ce sont des *cadrans solaires*. Les uns sont appuyés verticalement sur un mur (fig. 69), d'autres sont horizontalement placés sur une petite colonne (fig. 70).

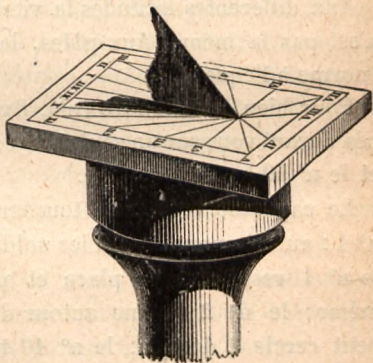


Fig. 70. — Cadran solaire horizontal sur une colonne.

**Mouvement réel de**

**la Terre.** — Après tout ce que nous venons de dire, on pourrait croire que le Soleil tourne autour de la Terre en 24 heures, et qu'il revient tous les jours à midi dans la

même position pour chaque lieu. C'est là ce que croyaient les anciens, mais ils étaient dans l'erreur; le mouvement du Soleil n'est qu'un mouvement *apparent*, il n'est pas *réel*.

*Le Soleil semble se déplacer de l'est de la Terre vers l'ouest parce que la Terre tourne réellement de l'ouest vers l'est.*

Lorsque vous êtes en chemin de fer et que le train marche à toute vitesse dans la direction sud-nord, vous voyez les arbres, les maisons et les poteaux télégraphiques filer avec une égale vitesse dans la direction nord-sud, mais vous savez qu'il n'en est pas réellement ainsi: eh bien, c'est la même illusion que nous avons en regardant le mouvement apparent du Soleil.

Le Soleil reste immobile et la Terre, qui tourne sur elle-même, lui présente successivement tous ses méridiens en 24 heures.

Aux différentes latitudes la vitesse de rotation de la Terre n'est pas la même. Aux pôles, la vitesse est nulle, elle est énorme à l'équateur.

Pour bien comprendre cela, figurez-vous 50 soldats placés devant vous sur un seul rang, le n° 1 est à votre droite, et le n° 50 à votre gauche.

Le capitaine veut faire tourner ses hommes autour du n° 1: au commandement, les soldats se mettent en marche. le n° 1 reste seul en place et pivote lentement sur lui-même; le n° 2 tourne autour du n° 1, il n'a qu'un tout petit cercle à décrire; le n° 10 tourne plus vite, le n° 25 beaucoup plus vite, et le n° 50 est forcé de courir parce que c'est lui qui doit décrire le plus grand circuit dans le même temps que ses camarades.

Il en est de même sur la Terre, les points les plus rapprochés de l'axe de rotation, c'est-à-dire de la ligne des

pôles, tournent moins vite que les autres; ceux qui en sont le plus éloignés tournent plus vite.

Les contrées équatoriales ont le plus grand circuit à décrire, puisque l'équateur est plus grand que les parallèles, elles font donc le tour de la Terre (10,000 lieues en 24 heures) à raison de 7 lieues par minute. La France, placée plus près de l'axe de rotation, a 6,500 lieues à faire par jour, sa vitesse est seulement de 4 lieues et demie par minute.

**Le jour et la nuit.** — Le côté de la Terre qui est tourné vers le Soleil est éclairé, et par conséquent dans le *jour*; le côté opposé se trouve dans la *nuit*. Les Étoiles ne sont pas visibles pendant le jour, bien qu'elles occupent au ciel leur place habituelle, parce que la lumière du Soleil est si intense qu'elle empêche de les distinguer.

La limite de la lumière et de l'ombre sur la Terre n'est pas une ligne bien tranchée, la nuit ne succède pas brusquement au jour. Nous avons déjà eu l'occasion de dire que des rayons lumineux sont déviés quand ils traversent l'air en venant des espaces célestes. Grâce à cette déviation, un certain nombre de rayons nous éclairent le matin avant que le Soleil n'ait paru au-dessus de l'horizon, c'est ce qui explique le phénomène de l'*aurore*; d'autres nous éclairent encore le soir quand le Soleil est déjà couché, c'est la *brune*, ou crépuscule vespéral.

Sur la Lune qui n'a pas d'atmosphère, la nuit succède brusquement au jour; l'aurore et le crépuscule n'existent pas.

**Les heures.** — Il n'est jamais la même heure au même moment sur tous les points du globe; seuls, *les points placés sur le même méridien, ont midi en même temps.*

Lorsque le Soleil se trouve sur notre méridien de Paris, il est déjà passé sur le méridien de Strasbourg, et n'est pas encore passé sur celui de Rennes.

En d'autres termes, et pour être plus exact, la Terre tournant de l'ouest vers l'est, présente le méridien de Strasbourg au Soleil avant le méridien de Paris, et celui-ci avant le méridien de Rennes ; donc, quand il est midi à Paris, il est midi passé en Alsace (à l'est), et il n'est pas encore midi en Bretagne (à l'ouest).

Il est extrêmement facile de savoir les heures de chaque méridien, connaissant l'heure de l'un d'entre eux. Les 360 méridiens tracés sur la sphère terrestre doivent passer tous en 24 heures sous le Soleil ; il en passe donc  $\frac{360}{24}$  en une heure, c'est-à-dire 15.

Ce calcul nous montre qu'il y a une différence de *une heure par 15° de longitude*. S'il est midi à Paris, il est 1 heure après midi sur le 15° méridien *est*, et seulement 11 heures sur le 15° méridien *ouest* de notre ville. Mais ce n'est pas tout : 15 méridiens passant sous le Soleil en 60 minutes, un méridien passera en  $\frac{60}{15}$ , c'est-à-dire en 4 minutes ; donc, *entre chaque méridien il y aura une différence de 4 minutes d'heure*.

Regardez la petite carte de France ci-contre (fig. 71). S'il est midi à Paris, il est 12 heures 12 minutes à Marseille, 11 heures 55 minutes à Rouen, 11 heures 44 à Cherbourg et à Nantes, 11 heures 30 minutes vers Brest, etc. Quand midi sonne à Paris, il est 11 heures 36 à Madrid, et 5 heures 14 minutes du matin à Mexico.

« Arrêtons-nous un instant à considérer les conséquences de ce que nous venons d'apprendre : elles sont bien curieuses. N'est-ce pas vraiment intéressant de penser, par exemple, que tandis que vous êtes là en classe, en plein jour, en d'autres pays du monde on est couché, on dort, on rêve ? Et que les habitants de ce pays-là, tandis que nous nous reposons, s'évertuent à travailler ? Tenez, suivez sur



un globe terrestre : nous allons faire un voyage pittoresque, le tour de la Terre en quelques minutes, en imagination, bien entendu.

« Supposons qu'il soit, chez nous, presque midi. A l'école la classe finit; l'heure va sonner. Pour les peuples de l'est



Fig. 71. — Carte de la France avec ses parallèles et ses méridiens.

qui ont eu midi avant nous, la journée est plus avancée. Ainsi, en Égypte, vers le trentième degré de longitude orientale (deux fois 15 degrés), il est déjà deux heures de l'après-midi; tandis que dans le pays des Tartares, à 60° de longitude *est* (quatre fois 15), il est quatre heures, et l'on prépare le repas du soir.

« Dans l'Inde, aux bouches du grand fleuve du Gange, il est 6 heures (90°, six fois 15). Le Soleil se couche; ses derniers rayons éclairent la cime des grands arbres. Du fond des jungles (forêts) les bêtes féroces rugissent au coucher du Soleil; les éléphants viennent boire au fleuve.

« Plus loin (cherchez le 120° degré), nous sommes en Chine, à Pékin. Il est plus de 8 heures du soir; une capitale de 2 millions d'hommes s'éclaire; mille lanternes de couleur circulent dans les rues.

« Plus loin encore, au même moment, la nuit noire s'étend sur l'Océan et sur les îles où dorment les sauvages dans leurs cases misérables. Sur la mer, çà et là dans l'ombre immense, de petits fanaux allumés glissent: ce sont des navires qui traversent ces océans lointains. Le timonier veille; il regarde les Étoiles et dit: Il est minuit (180° degré, douze fois 15).

« Mais à ce moment-là même où nous nous réchauffons, nous, au Soleil ardent du milieu du jour, le grand continent de l'Amérique, situé à l'*occident* de nous, n'est pas encore arrivé en face du Soleil; il commence seulement à entrer dans l'espace éclairé. Pour ses habitants, c'est le matin.

« Le mineur de Californie voit à peine les premières lueurs de l'aube (103° degrés de longitude occidentale). Mais déjà sur les bords du Mississippi, le Soleil est levé; aux Antilles, il fait grand jour; dans les grandes villes des États-Unis, ouvriers et commerçants sont au travail, aux affaires (60° degré, 7 heures du matin).

« Dans l'Amérique du Sud, plus avancée vers l'orient, au Brésil, par exemple, il est 8 heures du matin.

« Au beau milieu de l'Atlantique nous pourrions rencontrer des navires qui voyagent entre l'ancien monde et le nou-

veau; ils comptent à 45 degrés 9 heures; à 30 degrés 10 heures du matin.

« Ceux qui vont rentrer en France, revoir leur patrie, calculent avec plaisir que l'heure, de plus en plus rapprochée de celle que l'on compte à Paris, leur signale le voisinage des côtes françaises (15° degré : une heure avant midi), 11 heures du matin; c'est l'heure que l'on compte en Portugal. Enfin nous voici de retour en Europe, en France, chez nous, où, comme notre voyage imaginaire n'a duré que quelques instants, nous entendons de toutes parts les horloges sonner midi (1). »

#### QUESTIONNAIRE.

*Quels sont les points cardinaux?*

*Comment fait-on pour s'orienter?*

*Qu'est-ce que la boussole?*

*Dans quel sens le Soleil semble-t-il tourner autour de la Terre?*

*Comment peut-on suivre le mouvement du Soleil?*

*Qu'est-ce que la méridienne d'un lieu?*

*Qu'est-ce que le gnomon?*

*Qu'est-ce qu'un cadran solaire?*

*Expliquez le mouvement apparent du Soleil.*

*Dans quelle direction tourne la Terre?*

*Pourquoi la vitesse de rotation diffère-t-elle avec les latitudes?*

*Expliquez le jour et la nuit?*

*Expliquez les phénomènes de l'aurore et du crépuscule.*

*Expliquez les différences d'heure sur les divers méridiens.*

*Combien faut-il compter de méridiens à l'est pour avoir une heure d'avance?*

*Combien faut-il compter de méridiens à l'ouest pour avoir une heure de retard?*

*Quelle différence d'heure y a-t-il entre chaque méridien?*

*Donnez l'heure de quelques villes d'Europe, connaissant celle de Paris.*

(1) Flammarion et Delon, *Petite Astronomie descriptive*. — Hachette, édit.

**EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.**

Nombreuses expériences d'orientation avec et sans la boussole. Parler des aimants et de leurs propriétés. — Montrer une boussole et des aimants. Insister sur la direction des navires à l'aide de la carte et de la boussole, ligne de foi. Construction des cadrans solaires. — Mouvement apparent du soleil, exemples de mouvements apparents, un élève tourne sur lui-même au milieu de la classe, il voit les objets attachés aux murs tourner en sens inverse autour de lui, etc. Faire l'expérience du rang de soldats pendant une récréation pour montrer les différentes vitesses de rotation qui augmentent à mesure que les points s'éloignent de l'axe.

Explication du jour et de la nuit avec une sphère terrestre éclairée d'un seul côté. — Faire tourner la sphère devant une bougie, il est midi pour le méridien placé devant la bougie. Exercice de calcul des différences d'heure. Suivre le voyage imaginaire dont il est question dans la leçon. Notions élémentaires sur la détermination des longitudes par les différences d'heure (chronomètre), et la détermination des latitudes par la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon (sextant).



### III

#### Choix d'un premier méridien. — Cartes marines.

La latitude et la longitude se nomment coordonnées géographiques. On donne le nom de *premier méridien* au cercle d'où l'on part pour compter les longitudes. Il serait mieux, dit M. Cortambert, le célèbre géographe auquel j'emprunte une grande partie des détails qui vont suivre, il serait mieux de l'appeler *méridien initial* ou *méridien O*; nous préfererions encore adopter le nom de *médiateur* qu'a proposé M. Bouthillier de Beaumont, car il serait analogue à celui de *l'équateur*, d'où l'on part pour compter les latitudes.

**Choix d'un premier méridien.** — Ce méridien initial, ce médiateur, donne lieu aux plus graves complications; chaque nation veut avoir le sien, passant par sa ville capitale ou par son observatoire principal. De là résultent des difficultés nombreuses, des erreurs, même des dangers et des accidents maritimes, si l'on n'est pas sûr du méridien employé ou si l'on s'est trompé dans le calcul de la différence d'un méridien à l'autre.

Les notions géographiques des anciens s'arrêtaient vers l'*ouest* aux îles Fortunées (Canaries); Ptolémée partit de là pour compter les longitudes en allant à l'*est* jusqu'à l'extrémité des pays connus.

En 1634, une ordonnance de Louis XIII déclara que les géographes français devraient partir désormais du méridien de l'île de Fer, à 20° de longitude *ouest* de Paris (fig. 72). Pendant le siècle qui suivit, les géographes français acquirent par leurs travaux une telle renommée, que toutes les

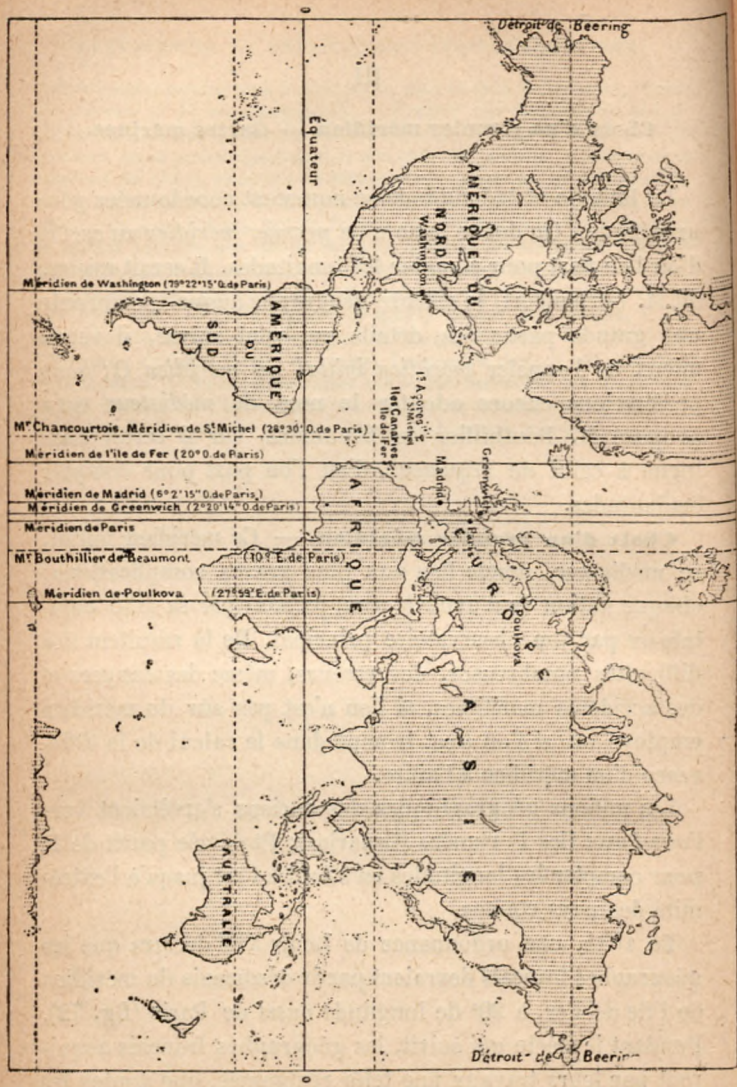


Fig. 72. — Divers méridiens choisis pour déterminer les longitudes.

nations acceptèrent pour *médiateur* le méridien de l'île de Fer (fig. 72).

Seule, l'Angleterre fixa son méridien initial à Saint-Paul de Londres et ensuite à Greenwich. Plus tard, les Français suivirent le mauvais exemple de l'Angleterre; ils firent passer leur méridien initial à Paris. Alors, les Pays-Bas prirent le méridien d'Amsterdam comme point de départ des longitudes dans leurs cartes; les Espagnols, après avoir eu quelque temps leur méridien initial à Ténérife et à Cadix, adoptèrent le méridien de Madrid; les Portugais ont pris Lisbonne; les Russes, leur observatoire de Poulkova; les États-Unis, celui de Washington; les Chiliens, Santiago; les Brésiliens, Rio-de-Janeiro, etc.

Toutes ces prétentions diverses sont déplorables; c'est une confusion extrême. Aussi les géographes proposent-ils maintenant de revenir à un méridien unique, qui serait adopté universellement.

M. de Chancourtois, en 1874, a désigné le méridien de Saint-Michel, une des Açores; il pense que c'est celui dont se sont servi les plus anciens géographes, Ptolémée et Mercator. Il lui semble excellent, parce qu'il sépare bien l'ancien et le nouveau continent. M. de Longperrier en a proposé un autre qui passerait par le milieu de l'Europe et couperait la Dalmatie et l'Adriatique, divisant assez convenablement le monde oriental et le monde occidental. Enfin, un savant de Genève, M. Bouthillier de Beaumont, a proposé de prendre le méridien qui passerait par le détroit de Behring et par le 10° à l'est de Paris, séparant, d'une part, les deux grands continents, et, de l'autre, se plaçant en Europe entre ce qu'on appelle les contrées occidentales et les contrées orientales.

Le *médiateur* de M. Bouthillier de Beaumont passe par

Venise et par Rome ; mais, pour éviter toute rivalité politique, les puissances du globe demanderaient à l'Italie la cession de la petite île de Levanzo, une des Égades, à l'ouest de la Sicile, pour y fonder un observatoire international, et le méridien O prendrait le nom de cette île.

D'autre part, le méridien 180°, seconde moitié du méridien O, couperait le cap Oriental, ou cap du prince de Galles, à l'endroit qui s'avance sur le détroit de Behring et qui est, avec l'île d'Ounalachka, dans l'archipel des Aléoutes, la seule terre qu'il rencontrerait. Les États-Unis pourraient céder une partie de l'île d'Ounalachka au monde savant pour y établir un observatoire comme celui de Levanzo, et la question du *médiateur* unique serait définitivement résolue, au grand avantage des navigateurs et des géographes (1).

**Cartes marines et terrestres.** — Dans la construction d'une carte on se propose de projeter sur un plan, c'est-à-dire sur une feuille de papier, les diverses parties du globe ou le globe tout entier. Je n'insisterai pas sur les divers modes de projection employés par les géographes ; vous n'êtes pas d'âge à les comprendre. Je vous dirai seulement que la *carte marine* est construite d'après le système de Mercator (1569).

L'équateur y est représenté en entier par une ligne droite ; les méridiens indiquant les longitudes par des verticales également écartées les unes des autres, et les parallèles indiquant les latitudes par des horizontales dont l'écartement a été calculé pour conserver aux pays leurs dimensions respectives (fig. 73).

Supposez qu'un capitaine aille en ligne droite de Gibral-

(1) *La Nature*, 1879. — Masson, édit.



tar à New-York (joignez d'un coup de crayon ces deux points sur la carte), il lui sera facile de se diriger au moyen de la boussole : *l'axe du navire* (ligne de foi) *devra toujours faire le même angle avec la direction nord-sud*

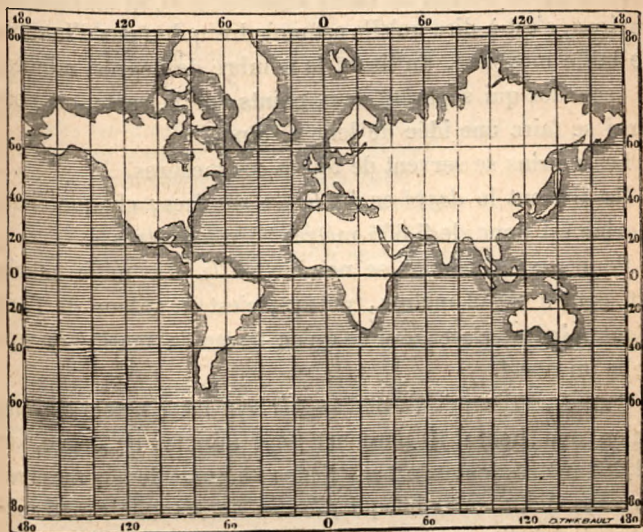


Fig. 73. — Les parallèles et les méridiens sur une carte marine.

de l'aiguille aimantée, qui est précisément *la direction des méridiens*.

(La ligne qui fait ainsi le même angle avec tous les méridiens est appelée par les marins la *loxodromie*.)

Les lignes de latitude et de longitude marquées sur les cartes ont encore un avantage; elles permettent de savoir approximativement la distance qui sépare deux points. En effet, d'après ce que nous avons dit dans une précédente leçon, la Terre a 10,000 lieues de tour. On peut dire autrement que  $360^\circ = 10,000$  lieues; si  $360^\circ$  valent 10,000

kilomètres, 1 *degré* vaudra 111 kilomètres 111 mètres. Par conséquent : chaque *degré* étant divisé en 60 minutes, la *minute* = 1852 mètres ; chaque minute étant divisée en 60 *secondes*, la *seconde* = 31 mètres ; chaque *seconde* étant divisée en 60 *tierces*, la *tierce* équivaut à 0,50 centimètres environ, c'est-à-dire qu'elle est moindre qu'un pas d'homme de taille moyenne. En lisant le nombre de degrés, minutes et secondes qui séparent deux points sur la carte, on peut ainsi se faire une idée de leur distance.

Les marins se servent de toutes ces mesures.

Ils divisent le *degré* en 20 *lieues marines* ; chaque lieue marine est donc de 5,555 mètres 55 centimètres.

Pour eux la *minute* se nomme *mille*. Le mille marin est égal à 1852 mètres, puisque c'est la valeur de l'arc d'une minute ; c'est aussi ce qu'en terme de marine on appelle un *nœud*.

Quand on dit qu'un vaisseau *file sept nœuds*, cela signifie qu'en une heure il parcourt sept minutes de degré, ou 12,964 mètres (environ trois lieues un quart de nos mesures terrestres). Un vaisseau qui *file dix nœuds* fait 18,520 mètres, c'est-à-dire quatre lieues et demie environ par heure.

Le mot *nœud* a son origine dans l'emploi d'un instrument nommé *loch* dont les marins se servent pour connaître la vitesse du navire.

Le loch est une petite planchette triangulaire qui est lestée de façon à rester debout dans l'eau. On attache le loch à une cordelette nommée *ligne* portant des nœuds de quinze en quinze mètres.

Lorsqu'on veut savoir quelle est la vitesse du navire, on jette le loch à la mer et on laisse la ligne se dérouler. Si trois nœuds passent en une demi-minute dans la main de l'opérateur, le navire fait 45 mètres par demi-minute, 90 mè-

tres par minute, ou 5,400 mètres à l'heure, c'est-à-dire près de 3 milles marins.

### QUESTIONNAIRE.

*Qu'entend-on par coordonnées géographiques ?*

*Parlez du méridien initial et de son importance.*

*Quels sont les médiateurs qui ont été proposés pour devenir universels ?*

*Dites ce que vous savez sur la carte marine.*

*Quelle est la valeur en mètres de l'arc de un degré ?*

*Quelle est la valeur de l'arc d'une minute ?*

*Quelle est la valeur de l'arc d'une tierce ?*

*Combien y a-t-il de lieues marines au degré ?*

*Qu'est-ce que le mille marin ?*

*Pourquoi lui donne-t-on aussi le nom de nœud ?*

*Qu'est-ce que le loch ?*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Insister sur l'importance de l'unification des méridiens. Expliquer le plus simplement possible les diverses méthodes de projection employées pour la construction des cartes.

Direction des navires sur la loxodromie, diriger une règle d'un bout de la classe à l'autre en diagonale, les bancs parallèles représentant les divers méridiens, etc. Boussole et ligne de foi du navire. A propos des méridiens, montrer que leur écartement devient de plus en plus grand du pôle vers l'équateur, la distance qui sépare les méridiens n'est donc pas toujours la même. C'est sur un grand cercle qu'on a pris la valeur du degré, de la minute et de la seconde, c'est-à-dire sur l'équateur ou sur un méridien.

Parler de la navigation au cabotage et au long cours.

### Les climats et les saisons.

Les rayons du Soleil viennent tomber sur la Terre plus ou moins obliquement. Aux pôles ils rasant pour ainsi dire la surface du globe terrestre, tandis qu'à l'équateur ils frappent le sol verticalement. Il s'en suit que la chaleur n'est pas répartie également sur la Terre. Dans les régions équatoriales, où les rayons du Soleil tombent d'aplomb, la température est très élevée, il fait excessivement chaud :

dans les régions polaires, au contraire, c'est le froid qui est excessif.



Fig. 74. — Division de la Terre en cinq zones.

La France, placée à peu près à égale distance entre le pôle et l'équateur, jouit d'un climat moyen ; il n'y fait jamais très chaud ni jamais très froid.

Les astronomes ont divisé chaque hémisphère de la Terre en trois régions (fig. 74). Ainsi l'hémisphère

Nord comprend : 1° une région polaire ou *zone glaciale*, qui va du pôle Nord au parallèle AA' (*cercle polaire arctique*) ; 2° une région moyenne ou *zone tempérée*, qui commence au cercle polaire arctique AA' et qui va jusqu'au parallèle CC' (*tropique du Cancer*), et 3° une région équatoriale ou *zone torride*, qui commence au tropique du Cancer CC' et s'arrête à l'équateur EE'.



Dans l'hémisphère Sud on trouve, de même : 3° la zone torride, de EE' au *tropique du Capricorne* DD'; 2° la zone tempérée, du *tropique du Capricorne* DD' au *cercle polaire antarctique* BB', et 1° la zone glaciale, du cercle BB' au pôle.

Le parallèle AA' correspond au degré 66°,32' de latitude Nord.

Le parallèle BB' correspond au degré 66°,32' de latitude Sud.

Le parallèle CC' correspond au degré 23°,28' de latitude Nord.

Le parallèle DD' correspond au degré 23°,28' de latitude Sud.

**Les Saisons.** — Si l'axe de la Terre était vertical, par rapport au plan de l'écliptique, les climats seraient toujours les mêmes pour chaque région ; il n'y aurait pas de saisons ; les jours et les nuits auraient toujours la même longueur.

Mais il n'en est pas ainsi, vous savez comme moi qu'à certaines époques de l'année il fait plus chaud ou plus froid ; vous savez aussi qu'en hiver

les nuits sont plus longues que les jours. Cela tient à l'inclinaison de l'axe de la Terre qui, au lieu de tourner debout sur le plan de l'écliptique, est penchée comme la toupie de la figure 75.

Pendant le mouvement de la Terre autour du Soleil, la ligne des pôles conserve la même inclinaison et la même direction (fig. 76). Au point de vue astronomique, on distin-

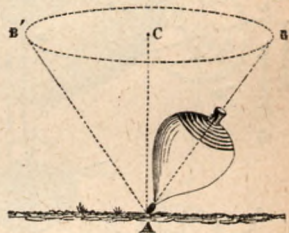


Fig. 75. — Toupie tournant sur son axe incliné AB.

gue quatre époques principales dans l'année, dont voici à

peu près les dates :

Le solstice d'hiver, 21 décembre.

Le solstice d'été, 21 juin.

L'équinoxe de printemps, 21 mars.

Et l'équinoxe d'automne, 21 septembre.

Le solstice d'hiver est l'époque de la nuit la plus longue et du jour le plus court.

Le solstice d'été, l'époque du jour le plus long et de la nuit la plus courte.

Aux équinoxes, le jour a la même longueur que la nuit.

Examinons la figure 77, qui représente la Terre au solstice d'hiver. Le plan  $MM'$  est le plan de l'écliptique, le Soleil se trouve placé bien loin dans la direction  $S$  sur ce plan.

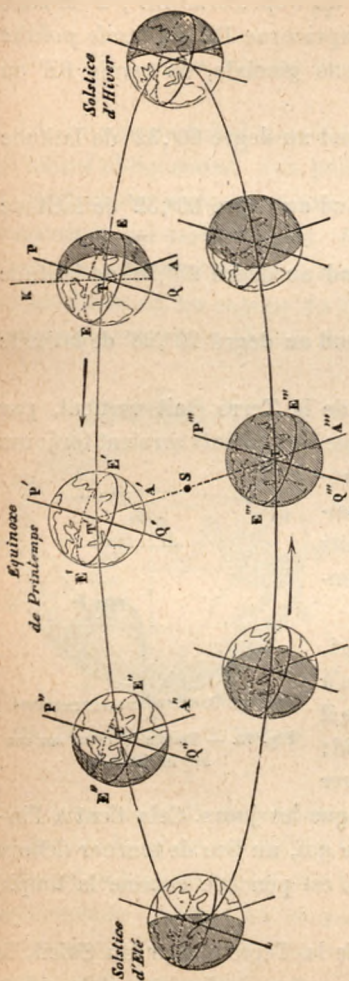


Fig. 76. — A toutes les époques de l'année la ligne des pôles  $PQ$  conserve la même inclinaison et la même direction.

La Terre, au lieu de tourner sur la ligne  $KK'$ , perpendi-

culaire au plan de l'écliptique, tourne sur l'oblique PQ, qui est la ligne des pôles.

Il s'ensuit qu'au solstice d'hiver, la Terre étant pour ainsi dire penchée en arrière, l'équateur semble relevé vers le pôle dans l'hémisphère Nord. La France, relevée d'une quantité égale, reçoit les rayons du Soleil plus obliquement et *par conséquent possède un climat plus froid*. Le pôle Nord reste plongé dans l'obscurité, et les cercles de latitude sur

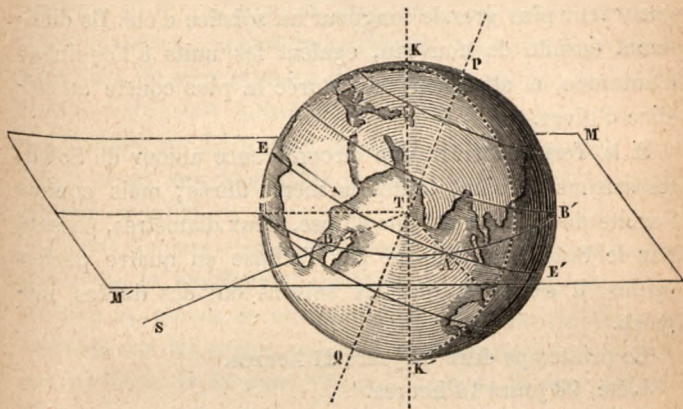


Fig. 77. — La Terre au solstice d'hiver.

lesquels se trouve notre pays, *tournent plus longtemps dans l'ombre que dans la lumière*.

C'est évidemment l'inverse qui se produit dans l'hémisphère Sud.

Au solstice d'été, au contraire (fig. 76), la Terre étant, pour ainsi dire, penchée en avant, la France est abaissée vers le plan de l'écliptique où les rayons du Soleil tombent perpendiculairement : elle est comme rapprochée de l'équateur et possède par conséquent un climat plus chaud. Le pôle Nord tourne continuellement dans la lumière, et les cercles de

latitude sur lesquels se trouve notre pays tournent plus longtemps dans la lumière que dans l'ombre.

A l'équinoxe d'automne, le jour a la même durée que la nuit ; mais plus tard, la Terre, suivant la direction de la flèche (fig. 76), se dirige vers le solstice d'hiver ; alors les jours vont en diminuant de longueur.

A partir du solstice d'hiver, les jours augmentent petit à petit ; ils égalent la nuit à l'équinoxe de printemps, et atteignent leur plus grande longueur au solstice d'été. Ils diminuent ensuite de nouveau, égalent les nuits à l'équinoxe d'automne, et atteignent leur durée la plus courte au solstice d'hiver.

Si la Terre décrivait une circonférence autour du Soleil, les saisons auraient toutes la même durée ; mais comme l'orbite de la Terre est une ellipse, deux diamètres, passant par le Soleil, ne coupent pas l'ellipse en quatre parties égales, il s'en suit que les saisons ont des durées inégales.

Le printemps dure 92 jours 21 heures.

L'été, 93 jours 14 heures.

L'automne, 89 jours 19 heures.

L'hiver, 89 jours.

**Le Soleil de minuit.** — Pendant une moitié de l'année, l'axe de la Terre étant incliné vers le Soleil dans l'hémisphère Nord, le pôle Nord jouit d'un jour de six mois, tandis que le pôle Sud reste dans la nuit.

Alors, au pôle Nord, le Soleil ne quitte plus l'horizon ; il brille à minuit, et les voyageurs qui ont visité les contrées arctiques ont tous été frappés par ce Soleil extraordinaire.

« C'est un spectacle vraiment beau et grandiose, étrange pour nous, habitants du Midi, habitués à l'alternance quo-



tidienne de la nuit et du jour, dit M. Charles Grad. Visible à partir du cercle polaire, le Soleil de minuit revient tous les jours, ou plutôt le disque entier de l'astre reste au-dessus de l'horizon à Hammerfest (Laponie) à partir du 16 mai (fig. 78); du 13 mai jusqu'au 30 juillet au cap Nord. Toutefois, on n'en jouit pas quand il est masqué par les montagnes ou caché par les nuages, comme cela arrive trop fréquemment pendant la navigation, le long des côtes. Lorsque je le vis pour la première fois, après plusieurs jours brumeux, pendant une éclaircie, à travers l'ouverture d'un bras de mer et entre deux rangées de monts élevés, il était tout à fait splendide, dans son plein éclat. Le ciel, absolument pur dans cette direction, avait un coloris d'un rouge sang, sur lequel les sommets du littoral se détachaient en relief.

« Cette lumière rouge se tamisait, avec ses tons pourpres à travers le feuillage d'une forêt de bouleaux nains qui revêtait les parois du chenal rocheux où nous passions, se reflétant sur les arêtes nues des montagnes plus hautes et sur les flots de la mer. Chaque lame de la mer reflétait l'image de l'astre radieux, qui descendit lentement et se releva de nouveau, sans disparaître au-dessous de l'horizon.

« Quand le Soleil de minuit reste masqué par les montagnes, l'atmosphère vaporeuse étale au ciel, du côté opposé, toutes les couleurs du prisme. Ce n'est plus la lumière vive du jour, ce n'est pas non plus la nuit, mais quelque chose d'indécis, un crépuscule lumineux plein de charme (1). » Les longues nuits polaires ne sont éclairées que par les aurores boréales dont nous parlerons plus loin.

(1) *Nature*, 1883. — Masson, éditeur.

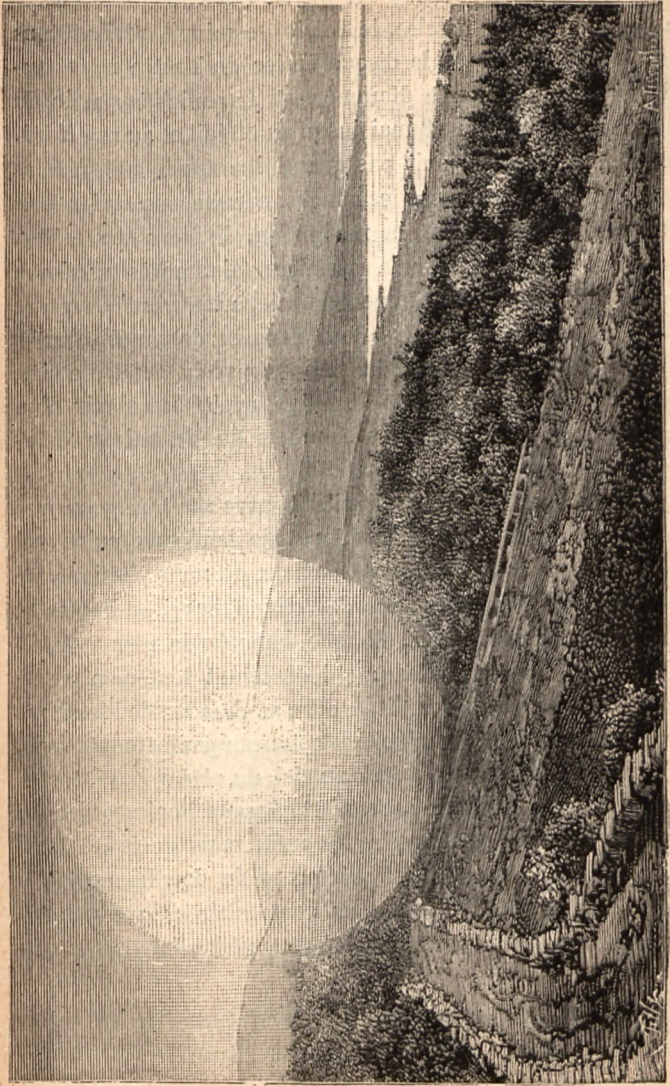


Fig. 78. — Le soleil de minuit à Hammerfest (Laponie).

**QUESTIONNAIRE.**

*Expliquez l'existence des climats.*

*Comment divise-t-on le globe terrestre au point de vue des climats?*

*Qu'entend-on par zone glaciale, zone tempérée, zone torride?*

*Quelles sont les limites de ces zones?*

*Pourquoi les jours et les nuits n'ont-ils pas une égale durée?*

*Qu'entend-on par solstices et équinoxes?*

*Donnez les dates des solstices et des équinoxes?*

*Pourquoi le 21 juin est-il le plus long jour de l'année?*

*Décrivez la Terre dans sa position de solstice d'hiver.*

*Le jour et la nuit aux pôles.*

*Les Saisons ont-elles la même durée?*

*Parlez du Soleil de minuit et expliquez sa présence aux pôles.*

**EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.**

Notions géographiques sur les diverses zones. Diversité des produits de la terre, à cause des différences de température. Production de la zone torride, animaux et végétaux de cette zone. — Productions des zones tempérées et des zones glaciales. — Lectures et récits de voyages dans ces diverses régions.

Insister sur les saisons. — Solstices, le Soleil semble s'arrêter; équinoxes, égalité du jour et de la nuit.

## Le Calendrier.

Le Calendrier est l'ensemble des conventions qui règlent la division du temps.

La Terre en tournant autour du Soleil n'accomplit pas sur elle-même un nombre exact de rotations. Pour revenir au même point par rapport au Soleil elle fait 365 tours et près d'un quart de tour, de là des complications dans l'arrangement de l'*année civile* qui doit concorder autant que possible avec l'*année tropique* ou année astronomique.

**Calendrier romain.** — Les anciens ne réglèrent pas l'année sur le Soleil, ils avaient pris pour base le mouvement de la Lune qui tourne autour de la Terre en près d'un mois. Au temps de Romulus l'année se composait de dix mois, dont les uns avaient 30 et les autres 31 jours.

1. — MARS, consacré à Mars, dieu de la guerre.
2. — APRILIS, consacré à Vénus, déesse de la beauté.
3. — MAIA, consacré à la déesse Maïa.
4. — JUNIUS, consacré à Junon.
5. — QUINTILIS, cinquième mois.
6. — SEXTILIS, sixième mois.
7. — SEPTEMBER, septième mois.
8. — OCTOBER, huitième mois.
9. — NOVEMBER, neuvième mois.
10. — DECEMBER, dixième mois.

Avec un tel calendrier les saisons ne revenaient pas toujours à la même époque, le mois de Mai, par exemple, était tantôt un mois d'hiver, tantôt un mois d'été.



Le roi Numa Pompilius ajouta deux mois à la fin de l'année de Romulus, ce sont :

11. — JANUARIUS, consacré au dieu Janus, dont le temple était à Rome.

12. — FEBRUARIUS, consacré à Februo, dieu des morts.

Malgré la réforme de Numa Pompilius, le calendrier ne s'accordait pas encore avec l'année tropique. Pour mettre fin à ce désordre, Jules César fixa le nombre des jours de l'année à 365, et, aidé de l'astronome Sosigène, il fit la réforme qui porte son nom. Il décida que désormais on ajouterait tous les quatre ans un jour au mois de Février, le dernier de l'année, pour regagner les quatre quarts de jours que l'on perdait en quatre ans en faisant l'année de 365 jours seulement.

La réforme Julienne eut lieu 44 ans avant J.-C. Pour en garder le souvenir, on donna à Quintilis, le nom de JULIUS, et il resta consacré à Jules César (Juillet). Un peu plus tard, Auguste, empereur Romain, donna son nom à Sextilis, qui devint AUGUSTUS (Août). D'autres empereurs voulurent imiter cet exemple : Tibère, Néron et Commode, cherchèrent à s'immortaliser en se faisant consacrer September, October et November, mais ils n'y réussirent pas.

Dans le Calendrier romain le premier jour de chaque mois était le jour des *Calendes*, les autres dates principales étaient les *Ides* qui coupaient le mois en deux moitiés presque égales, et les *Nones* qu'on plaçait huit jours avant les Ides. Les Ides tombaient le quinzième jour des mois de mars, mai, juillet et octobre ; les autres mois, les Ides étaient le 13. De plus, les almanachs signalaient les fêtes ainsi que les jours *fastes* et *néfastes*. Les jours *fastes* étaient marqués F, ces jours-là il était permis de plaider et de faire les affaires civiles, contrats, ventes, etc. Les jours *néfastes* étaient marqués N.

NP, signifiait néfaste dans la première partie du jour, et EN néfaste à certaines heures seulement.

Les jours étaient numérotés à reculons : ainsi le 2 janvier était le quatrième jour avant les Nones de janvier ; le 3 était le troisième jour avant les Nones, etc., jusqu'aux Nones qui arrivaient le 5 ; ensuite venaient le 6 janvier, huitième jour avant les Ides ; le 7, septième jour avant les Ides ; le 8, sixième jour avant les Ides, etc. jusqu'aux Ides du 13 ; à partir des Ides, les dénominations sont plus singulières encore ; le 14 janvier était appelé dix-neuvième jour avant les Calendes de février, etc. (1).

Des Calendes aux Nones il y avait quatre jours dans les mois de janvier, avril, juin, août, septembre et décembre, et six dans ceux de mars, mai, juillet et octobre. On donnait le nom de *Veille* au jour avant les Calendes, les Nones et les Ides. Les mois grecs n'avaient pas de Calendes, de là le dicton populaire romain : payer ses dettes aux Calendes grecques.

Lorsque César voulut ajouter un jour supplémentaire tous les quatre ans, il le plaça le sixième jour avant les Calendes de mars, c'est-à-dire entre le 24 et le 25 février, afin de ne pas gêner le culte des dieux infernaux. Il ne voulut pas non plus lui donner un chiffre spécial, on l'appela *6 bis*, ou *bis-sextus*, et l'année prit le nom d'année *bissextile*.

**Calendrier grégorien.** — L'astronome Sosigène et Jules César prirent 365 jours 6 heures pour durée de l'année tropique, or cette durée est exactement de 365 jours 5 heures 48 minutes, 48 secondes : ils donnèrent donc à l'année civile près de 11 minutes de plus que ce qu'elle devait avoir.

Tous les quatre ans, il y eut 44 minutes d'erreur : en 128 ans cela fit un jour. A force de faire les années trop longues,

(1) Voir l'appendice à la fin de la leçon.

les dates se trouvèrent en retard sur les phénomènes astronomiques fixes.

Regardez le mur de la classe qui est à droite, il a exactement 10 mètres de long ; avec un mètre en toile, je ne lui trouve pourtant que 9<sup>m</sup>,90.

La chose est facile à comprendre, le mètre en toile étiré par l'usage, est plus long qu'un vrai mètre, et ne peut par conséquent pas s'appliquer dix fois sur le mur. Autrement dit, le bout du mur arrive à la quatre-vingt-dixième division du dernier mètre au lieu d'aller jusqu'à la centième division, c'est précisément ce qui arriva en 1582 avec le calendrier ; comme depuis César on avait mesuré le temps en années trop longues, l'équinoxe de printemps qui devait tomber le 20 *mars* se trouva coïncider avec le 10 *mars*. On avait distribué par petits morceaux à toutes les années précédentes les 10 jours qui manquaient à l'appel cette année-là.

Une nouvelle réforme du Calendrier devenait nécessaire ; le pape Grégoire XIII la fit. Il fut ordonné que le lendemain du 4 octobre 1582 s'appellerait 15 octobre, et, pour empêcher le désordre de se reproduire, on supprima l'année bissextile qui commence chaque siècle.

Cette correction seule eût été trop forte ; en effet, avec le Calendrier julien, l'erreur d'un jour n'est produite qu'au bout de 128 ans, et non pas au bout de chaque siècle. Grégoire XIII le comprit et conserva une année bissextile tous les 400 ans. (Il y a encore une petite erreur, puisque 28 années sont comptées pour 25, cela fait 1 jour pour 4000 ans.)

Vous vous rendrez facilement compte du système grégorien en lisant la liste qui suit :

## CALENDRIER JULIEN.

1700 Bissextile.

1800 Bissextile.

## CALENDRIER GRÉGORIEN.

Non bissextile.

Non bissextile.

1900	Bissextile.	Non bissextile.
2000	Bissextile.	<i>Reste bissextile.</i>
2100	Bissextile.	Non bissextile.
2200	Bissextile.	Non bissextile.
2300	Bissextile.	Non bissextile.
2400	Bissextile.	<i>Reste bissextile.</i>

L'année séculaire n'est plus bissextile que tous les quatre siècles. Tous les peuples ont accepté la réforme de Grégoire XIII, sauf les Grecs et les Russes ; ils avaient comme nous dix jours de retard en 1582, mais comme depuis cette époque ils ont laissé bissextiles les années 1700 et 1800, ils sont actuellement en retard de douze jours. Quand nous sommes au 1<sup>er</sup> janvier ils en sont encore au 19 décembre.

Pour reconnaître si une année ordinaire est bissextile, il suffit de diviser son millésime par 4 ; si la division se fait exactement, l'année est bissextile ; s'il y a un reste, elle ne l'est pas. Pour les années séculaires on retranche d'abord les deux zéros qui terminent le millésime et on opère de la même façon. Ainsi l'année séculaire 2000 est bissextile puisque après avoir enlevé les deux zéros on trouve 20 divisible par 4 : l'année séculaire 2300 n'est pas bissextile puisque 23 n'est pas divisible par 4.

L'année romaine commençait le 1<sup>er</sup> mars ; sous Charlemagne, en mémoire de la naissance du Christ, on la fit commencer à Noël, et sous Charles IX (1563), sans aucune raison valable, on mit le premier jour de l'an le 1<sup>er</sup> janvier. Avec ces changements le mois de décembre (qui signifie dixième), se trouve le douzième mois ; septembre, octobre et novembre portent comme lui un nom absurde.

**Calendrier républicain.** — Le 24 novembre 1793, la Convention nationale chargea le Comité d'Instruction publique de faire un nouveau calendrier. L'étude en fut faite par les plus illustres savants de l'époque, Monge, Lagrange,



Dupuis, Romme, Lalande et Guyton de Morveau. L'année fut divisée en 12 mois de 30 jours, on ajoutait à la fin de l'année 5 jours complémentaires, et 6 pour les années bissextiles, pendant lesquels on célébrait les grandes fêtes nationales (Fêtes de la Vertu, du Génie, du Travail, de l'Opinion et des Récompenses).

Les mois furent divisés en trois périodes de 10 jours, les *Décades*, qui remplacèrent les semaines ; les jours portant des numéros d'ordre : Primidi, duodi, tridi, quartidi, quintidi, sextidi, septidi, octidi, nonidi, decadi.

Le premier jour de l'année fut fixé au moment de l'équinoxe d'automne (22 septembre), qui rappelait aussi la date de la proclamation de la République (22 septembre 1792).

Les noms donnés aux mois sont dus au conventionnel Fabre d'Églantines, en voici le tableau :

AUTOMNE . . . . .	{	<i>Vendémiaire</i> (mois des vendanges).
	{	<i>Brumaire</i> (mois des brouillards).
	{	<i>Frimaire</i> (mois des frimas).
	{	<i>Nivôse</i> (mois de la neige).
HIVER . . . . .	{	<i>Pluviôse</i> (mois des pluies).
	{	<i>Ventôse</i> (mois des giboulées et des vents).
	{	<i>Germinal</i> (mois de la germination des plantes).
PRINTEMPS . . .	{	<i>Floréal</i> (mois des fleurs).
	{	<i>Prairial</i> (mois des prairies et des herbages).
	{	<i>Messidor</i> (mois des moissons).
ÉTÉ . . . . .	{	<i>Thermidor</i> (mois des chaleurs).
	{	<i>Fructidor</i> (mois des fruits).

Dans le Calendrier républicain, à la place des noms des saints, les jours de chaque décade reçurent les noms des produits de la terre, des instruments et des animaux domestiques. Le philosophe Auguste Comte a proposé depuis, pour un calendrier universel, de remplacer les noms des saints par ceux des grands hommes et des bienfaiteurs de l'humanité, qui sont de toutes les religions.

Malgré sa grande simplicité et son caractère aussi poétique que rationnel, le Calendrier républicain fut bientôt abandonné. Il avait un inconvénient trop grave, celui de ne *s'appliquer qu'au seul climat de la France*, et par conséquent d'être incompréhensible et inapplicable dans les autres pays. Le 1<sup>er</sup> janvier 1806, le Calendrier grégorien fut remis en vigueur, il a l'avantage d'être commun à toutes les nations : des sept premiers mois, ceux qui sont de rang impair ont 31 jours ; les autres, à l'exception de février, en ont 30 ; l'inverse a lieu pour les cinq derniers mois de l'année.

#### QUESTIONNAIRE.

*Qu'est-ce que le Calendrier ?*

*Qu'est-ce que l'année civile et l'année tropique ?*

*Parlez du Calendrier romain et de la réforme julienne.*

*Qu'est-ce que le Calendrier grégorien ?*

*Quels sont les peuples qui n'ont pas accepté le système grégorien ?*

*Comment reconnaît-on qu'une année est bissextile ?*

*Comment reconnaît-on qu'une année séculaire est bissextile ?*

*Dites ce que vous savez sur le Calendrier républicain.*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Insister sur *l'année tropique* et *l'année civile*. Notions historiques sur le calendrier. — Voici quelques renseignements précis sur le calendrier romain, pour les élèves qui font ou feront du latin, nous les devons à l'obligeance de M. Wierzeyski, professeur à l'école Monge :

## Fasti Calendares ou Calendaria.

Il nous reste un calendrier complet gravé sur une table de marbre brisée par le haut. Sur la partie brisée on lit encore quelques mots d'une inscription qui précédait le calendrier.

Ce document, élucidé par Maffei (1535-1603), fut imprimé pour la première fois par Alde Manuce en 1561 à Venise. On le trouve reproduit dans divers ouvrages, on l'appelle *Calendarium Maffeianum*.

Nous donnons, comme specimen, le mois de mai de ce calendrier dans la deuxième colonne de droite, celle de gauche donnant simplement la concordance de notre calendrier actuel avec le calendrier romain.

1	KAL. MAI.....	A. K. MAI. N.
2	VI.....	B. F. Comp. (1).
3	V.....	C. C.
4	III.....	D. C.
5	II.....	E. C.
6	Prid. Non.....	F. C.
7	NON.....	G. Non. N.
8	VIII.....	H. F.
9	VII.....	A. Lem. N. (2).
10	VI.....	B. C.
11	V.....	C. Lem. N.
12	IV.....	D. NP. Lud. Mart. Circ. (3).
13	III.....	E. Lem. N.
14	Prid. Eid.....	F. C.
15	EID.....	G. Eid. NP.
16	XVII.....	H. F.
17	XVI.....	A. C.
18	XV.....	B. C.
19	XIV.....	C. C.
20	XIII.....	D. C.
21	XII.....	E. Agon. NP. (4).
22	XI.....	F. N.
23	X.....	G. Tub. NP (5).
24	IX.....	H. Q. Rex. C. F. (6).
25	VIII.....	A. C.
26	VII.....	B. C.
27	VI.....	C. C.
28	V.....	D. C.
29	III.....	E. C.
30	II.....	F. C.
31	Prid. Kal. Iun.....	G. C.

(1) *Compitalia*, fête du dieu des carrefours.

(2) *Lemuria*, fête des Lemures, ombres des morts (*Lares*, favorables; *Larvæ*, malfaisantes) qu'il fallait se concilier ou éloigner des maisons.

(3) *Ludi Martiales Circenses*, jeux de Mars au cirque.

(4) *Agonalia*, fêtes de Janus (de ἀγών, lutte).

(5) *Tubilustrium*, purification des trompettes des sacrifices.

(6) *Quando rex comitio fugit*, quand le roi s'enfuit du comice (expulsion des rois).

## LECTURE DU CALENDRIER DE CONCORDANCE.

K = *Kalendæ*.

Non = *Nonæ*.

Eid = *Idus* (anc. orthogr. *Eidus*).

1<sup>er</sup> mai. *Kalendæ Maiæ*, Kalendes de mai.

2 mai. VI. = *ante diem sextum nonas Maias*, sixième jour avant les Nones de mai.

6 mai. Prid. Non. = *Pridie nonas*, veille des Nones, etc.

## LECTURE DU CALENDRIER MAFFÉIEN.

Les huit lettres A-H ont trait aux *Nundinæ* (novem), jours de foire, qui revenaient à tous les jours marqués par A, c'est-à-dire tous les neuf jours sans interruption.

Le mois de juin du calendrier Mafféien commence naturellement par la lettre H de même que le mois d'avril finit par H.

C = *dies comitialis*, jour où l'on pouvait tenir les comices.

F = *dies fastus*, jour faste.

N = *dies nefastus*, jour néfaste.

NP = *nefastus priore parte*, néfaste dans sa première partie.

EP = *fastus priore parte*, faste dans sa première partie.

En = *endotercisus*, ancienne forme de *intercisus*, entrecoupé.

Cette dernière abréviation ne figure pas dans le mois de mai ; elle se rencontre dans d'autres mois du calendrier Mafféien.

On appelait *fasti* les jours où le préteur pouvait exercer son droit de juridiction (*quibus lege agi licet et forensem iurisdictionem exercere*) ; *nefasti*, les jours où le préteur n'avait pas le droit de rendre la justice, *quibus tria verba silentur*, selon l'expression d'Ovide, c'est-à-dire où le préteur n'avait pas le droit de se servir des trois formules sacramentelles : *do, dico, addico* ; *endotercisi*, jours où le matin et le soir sont néfastes, et où l'intervalle est faste (*per quos mane et vesperi est nefas ; medio tempore, inter hostiam cæsam et exta porrecta, fas*).

Il nous reste en outre un calendrier des mois non divisé par jour, dit *Calendarium Farnesinum* ; ce calendrier rustique donne le nombre de jours du mois, la date des Nones (5 ou 7), la longueur des jours et des nuits, la constellation où se trouve le Soleil, la divinité à laquelle est dévolue la tutelle des mois, les occupations et travaux périodiques des agriculteurs et les principales fêtes et sacrifices.

Le *Calendarium Cumanum*, dont nous n'avons que deux fragments, l'un à Naples, l'autre à Rome, était une sorte de calendrier historico-politique de la vie de César-Auguste, ressemblant un peu à nos calendriers à effeuiller, qui portent chaque jour une note ayant rapport à notre histoire.



## VI

### Étoiles et constellations.

Lorsque, dans une précédente leçon, je vous ai indiqué les caractères qui permettent de distinguer les Étoiles des Planètes, je vous ai dit qu'il nous était impossible de grossir les Étoiles même avec nos plus forts instruments, tandis que nous pouvions augmenter le diamètre apparent des Planètes qui tournent avec nous autour du Soleil.

L'étude du monde solaire est terminée, il nous reste à jeter un coup d'œil sur ces lointains soleils que nos lunettes ne peuvent rapprocher.

**Classification des Étoiles.** — Le nombre des Étoiles visibles à l'œil nu n'est pas considérable, il ne dépasse pas six mille; mais si l'on examine le ciel avec une bonne lunette, il nous semble comme parsemé d'une poussière d'or, et le nombre des Étoiles devient immense.

Les Étoiles ne brillent pas toutes d'un égal éclat, on les a classées en *grandeurs*. Les plus brillantes sont de *première grandeur*, il y en a dix-huit, puis viennent celles de *seconde grandeur* au nombre de cinquante, et ainsi de suite, le nombre augmentant à mesure que la classe change. Les Étoiles de septième grandeur ne sont plus visibles à l'œil nu.

Dans cette classification, il est évident que le mot *grandeur* signifie *éclat* et qu'il n'indique aucune différence dans la dimension des Étoiles qui ne sont toujours pour nous que des *points* lumineux. La lumière des Étoiles est généralement blanche comme celle du Soleil, il y en a pourtant qui présentent une coloration particulière rouge, jaune, verte ou bleue. Il y en a aussi dont l'éclat varie soit subi-

tement, soit périodiquement. Enfin quelques Étoiles sont doubles et même triples.

On fait mention dans les traités d'astronomie d'Étoiles temporaires qui, après avoir brillé d'un vif éclat, se sont éteintes graduellement et n'ont plus été revues. Ce fut une Étoile de ce genre qui parut 125 ans avant J.-C. et qui fit entreprendre à Hipparque son catalogue d'Étoiles; une autre fut observée en 389, qui eut pendant trois semaines un éclat pareil à celui de Vénus. Le soir du 11 novembre 1572, Tycho-Brahé vit une Étoile qui en quelques instants surpassa l'éclat de Jupiter; cette Étoile avait complètement disparu en mars 1574. Tant qu'elle fut visible elle garda la même position dans le ciel. Le même phénomène s'est reproduit en mai 1866.

**Constellations.** — Le ciel se présente à nous comme une immense coupole sur laquelle les Étoiles seraient fixées, formant des dessins bizarres de forme invariable.

Ces dessins, ces groupes d'Étoiles, ont été nommés *constellations*, les anciens leur ont donné des noms tirés de la mythologie, qui ont été conservés pour la plupart.

La surface entière de la sphère céleste a été divisée en

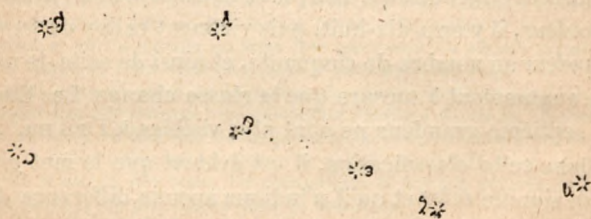


Fig. 79. — Constellation de la Grande Ourse.

régions que les astronomes connaissent parfaitement et désignent au moyen des constellations qu'elles renferment. Ainsi on dit : constellation de la *Grande Ourse*, du *Dragon*,

d'*Hercule*, de la *Petite Ourse*, de *Persée*, du *Lion*, etc., pour indiquer non seulement les quelques Étoiles qui composent ces constellations, mais encore le département céleste dans lequel elles se trouvent.

Chaque Étoile de ce département céleste porte une lettre ou un numéro d'ordre qui permet de la distinguer des autres. Ainsi pour la constellation de la *Grande Ourse* (fig. 79), ce sont les premières lettres de l'alphabet grec qui servent à désigner les sept Étoiles principales dont elle est formée.

On nomme *gardes* les Étoiles  $\alpha$  et  $\beta$ .

Lorsqu'on connaît la *Grande Ourse* il est facile de trouver

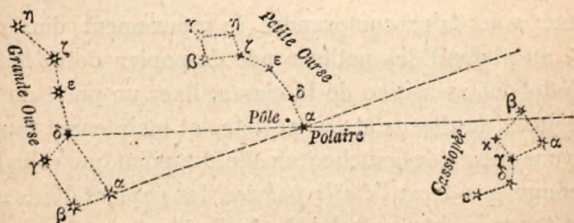


Fig. 80. — Alignements pour trouver les étoiles et les constellations.

la position et par conséquent le nom des autres constellations au moyen d'alignements dont voici le principe.

Joignons par une ligne droite  $\beta$  et  $\alpha$  de la *Grande Ourse* et prolongeons cette ligne plus loin que  $\alpha$  de cinq fois sa longueur (fig. 80) : nous rencontrerons l'Étoile principale de la constellation de la *Petite Ourse*, qu'on nomme la *polaire*, autour de laquelle le ciel tout entier semble tourner et que les peuples du Midi appellent *Tramontane*. Joignons par une ligne droite  $\delta$  de la *Grande Ourse* et la *polaire*, et prolongeons cette ligne plus loin que la *polaire*, d'une fois sa longueur, nous serons dans la constellation de *Cassiopee*, et ainsi de suite pour les autres constellations.

**Mouvement diurne.** — Les Étoiles sont fixes; mais comme la Terre tourne sur son diamètre polaire, elles semblent tourner en sens inverse du mouvement de rotation de notre planète; leur révolution complète s'effectue en vingt-quatre heures: c'est ce que les astronomes appellent le *mouvement diurne*.

Supposons une tige de fer traversant la Terre comme une broche et allant de son pôle nord à son pôle sud; si on prolongeait cette tige au-dessus de notre hémisphère, elle atteindrait l'*étoile polaire*; c'est pour cela que l'*étoile polaire* reste fixe pour nous et que toutes les autres Étoiles semblent tourner autour d'elle.

Pour vous faire comprendre le mouvement diurne, je colle au plafond des petits ronds de papier doré. Placez-vous debout au milieu de la classe, fixez un point du plafond juste au-dessus de votre tête, et maintenant tournez sur vous-même de gauche à droite. Le point que vous fixez ne bouge pas, c'est l'*étoile polaire*, les papiers dorés semblent tourner autour de lui de droite à gauche; ce sont les Étoiles qui accomplissent leur mouvement *apparent* autour du pôle, leur mouvement diurne, comme nous avons dit.

**Le zodiaque.** — On nomme *zodiaque* une sorte de ceinture qui fait le tour de la sphère céleste et qui renferme les douze constellations dans lesquelles le Soleil se projette pendant son mouvement annuel apparent autour de la Terre.

Les douze constellations ont été appelées *signes du zodiaque* et sont figurées sur les almanachs en tête de chaque mois.

1. LE BÉLIER,

2. LE TAUREAU,

3. LES GÉMEAUX,

4. L'ÉCREVISSE,

5. LE LION,

6. LA VIERGE,



- |                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| 7. LA BALANCE,    | 10. LE CAPRICORNE, |
| 8. LE SCORPION,   | 11. LE VERSEAU,    |
| 9. LE SAGITTAIRE, | 12. LES POISSONS.  |

Pour vous faire comprendre comment le Soleil se projette dans les constellations du zodiaque, nous allons tracer un grand cercle au milieu de la cour. Au centre du cercle je vais mettre le plus grand d'entre vous, ce sera le Soleil; autour de lui et à peu de distance, le plus petit tournera représentant la Terre, puis sur la circonférence nous placerons douze élèves se tenant par la main comme pour danser en rond, ceux-là représenteront les constellations du zodiaque.

Tout le monde restant immobile, la Terre seule va commencer son mouvement réel autour du Soleil. A mesure que la Terre tourne, elle voit se succéder derrière le Soleil tous les signes du zodiaque. C'est ainsi que pour nous le Soleil se projette dans les constellations qui forment comme l'équateur de la sphère céleste.

Les habitants de l'hémisphère nord de la Terre ne connaissent que les constellations qui appartiennent à l'hémisphère nord de la sphère céleste. Les plus belles sont la *Grande Ourse*, la *Petite Ourse*, le *Bouvier*, la *Couronne boréale*, le *Serpent*, *Hercule*, *Céphée*, *Cassiopée*, *Andromède*, *Persée*, *Pégase*, le *Dragon*, la *Méduse*, le *Cocher*, le *Taureau*, les *Gémeaux*, le *Petit Chien*, etc.; dans l'hémisphère sud le ciel est illuminé pendant la nuit par d'autres constellations, ce sont: *Argo*, la *Croix du sud*, le *Centaure*, la *Couronne australe*, l'*Eridan*, le *Grand Chien*, le *Poisson austral*, la *Baleine*, *Orion*, le *Sagittaire*, la *Balance*, le *Scorpion*, le *Capricorne*, etc. Les Étoiles les plus brillantes sont disséminées dans ces constellations; les voici rangées par ordre d'éclat décroissant:

*Sirius* ( $\alpha$  du Grand Chien), — *Canopus* ( $\alpha$  du navire Argo),  $\alpha$  du Centaure, — *Arcturus* ( $\alpha$  du Bouvier), — *Rigel* ( $\beta$  d'Orion), — *La Chèvre* ( $\alpha$  du Cocher), — *Wéga* ( $\alpha$  de la Lyre), — *Procyon* ( $\alpha$  du Petit Chien), — *Bételgeuse* ( $\alpha$  d'Orion), — *Achernard* ( $\alpha$  de l'Eridan), — *Aldébaran* ( $\alpha$  du Taureau),  $\beta$  du Centaure,  $\alpha$  de la Croix du sud, — *Antarès* ( $\alpha$  du Scorpion), — *Atair* ( $\alpha$  de l'Aigle), — *l'Epi* ( $\alpha$  de la Vierge), — *Fomalhaut* ( $\alpha$  du Poisson austral),  $\beta$  de la Croix du sud, — *Pollux* ( $\beta$  des Gémeaux), — *Régulus* ( $\alpha$  du Lion).



Fig. 81. — La nébuleuse d'Andromède.

Parmi ces vingt étoiles, six ne sont pas connues en Europe, ce sont : *Canopus*,  $\alpha$  et  $\beta$  du *Centaure*, *Achernard*,  $\alpha$  et  $\beta$  de la *Croix du sud*.

**Les nébuleuses.** — On appelle *nébuleuses* des taches d'un blanc laiteux réparties çà et là dans le ciel au milieu des constellations. Elles ont des formes plus ou moins régulières et peuvent être divisées en deux classes : les *nébuleuses résolubles* et les *nébuleuse irrésolubles*.

Les nébuleuses résolubles sont celles qui, examinées avec

des instruments très grossissants, apparaissent comme un semis d'Étoiles. Exemples : la nébuleuse d'*Andromède* (fig. 81) et la nébuleuse perforée qui se trouve entre  $\beta$  et  $\gamma$  de *la Lyre* (fig. 82). Vous avez tous certainement remarqué une sorte de traînée lumineuse d'un blanc de lait qui dessine un grand cercle sur la sphère céleste : on nomme cette traînée lumineuse la *voie lactée* ou *chemin de Saint-Jacques* ; c'est encore une nébuleuse résoluble. Notre Soleil est une Étoile placée vers le centre de la *voie lactée* dont il fait

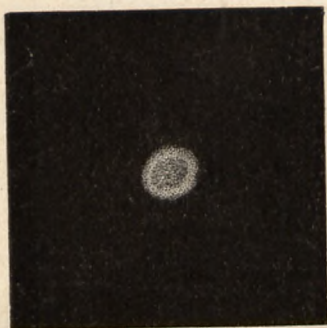


Fig. 82. — Nébuleuse perforée de la Lyre.

partie ; cette grande nébuleuse a la forme d'un anneau comme celle que représente la figure 83.

Les nébuleuses irrésolubles ne sont pas formées par des amas d'Étoiles (fig. 84, 85, 86, 87), mais par une matière extrêmement ténue, gazeuse et lumineuse. Les astronomes pensent avec l'illustre Laplace que ce sont des Étoiles en formation. Quelques-unes semblent se diviser pour former des Étoiles doubles (fig. 88 et 89).

**Distances des Étoiles à la Terre.** — Les distances qui nous séparent des Étoiles sont immenses. Les astronomes

ont calculé que la lumière faisant 77,000 lieues par seconde, elle nous arrive :

Du *Soleil* en 8 minutes 18 secondes ; de  $\alpha$  du *Centaure* en 3 ans 8 mois ; de la  $61^{\circ}$  du *Cygne* en 9 ans 5 mois ; de *Wéga*



Fig. 83. — Nébuleuse en forme d'anneau.

en 12 ans 6 mois ; de *Sirius* en 22 ans ; d'*Arcturus* en 26 ans ; de la *Polaire* en 31 ans ; de la *Chèvre* en 72 ans.

Il y a des Étoiles pour lesquelles les distances sont si énormes que la lumière ne nous en arrive qu'après des centaines et des milliers d'années ! L'imagination reste confondue devant de pareils nombres ; et pourtant, là où se trouve la dernière Étoile visible recommence une autre





Fig. 84.

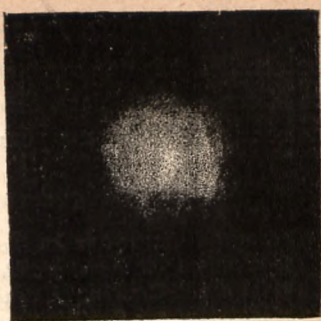


Fig. 85.

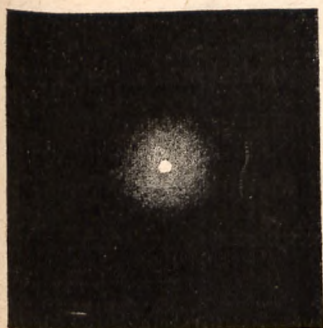


Fig. 86.



Fig. 87.

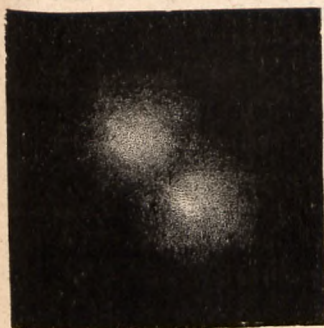


Fig. 88.

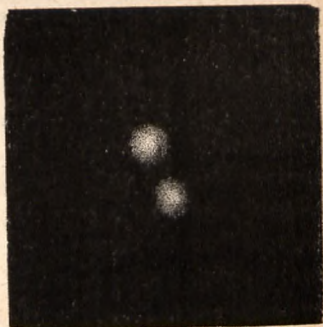


Fig. 89.

Nébuleuses irrésolubles simples et doubles.

immensité, puis une autre et une autre encore, et l'espace se déroule ainsi dans l'indéfini jusqu'à des limites que notre raison comme nos yeux ne sauraient voir.

#### QUESTIONNAIRE.

*Comment distingue-t-on les Étoiles des Planètes ?*

*Qu'entend-on par le mot grandeur appliqué aux Étoiles ?*

*Parlez des Étoiles simples, doubles, colorées, etc.*

*Qu'entend-on par Constellations ?*

*Comment fait-on pour distinguer les Constellations par la méthode des alignements ?*

*Comment trouve-t-on l'Étoile Polaire.*

*Qu'est-ce que le mouvement diurne ? Expliquez-le.*

*Pourquoi l'Étoile Polaire est-elle fixe, tandis que les autres Étoiles semblent tourner autour d'elle ?*

*Qu'est-ce que le Zodiaque ?*

*Qu'est-ce qu'une Nébuleuse ?*

*Donnez une idée de la distance qui nous sépare des Étoiles.*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Montrer aux élèves une carte céleste (nous ne saurions trop recommander la carte murale de M. Villard, éditée chez M. Delagrave et C<sup>e</sup> à Paris) et les habituer à tracer des alignements. — Profiter d'une belle soirée pour leur apprendre le nom de quelques étoiles.

Expliquer le mouvement diurne et la projection du Soleil dans les signes du zodiaque au moyen des expériences décrites.

# DEUXIÈME PARTIE

## MÉTÉOROLOGIE

---

### CHAPITRE PREMIER

#### L'ATMOSPÈRE

---

#### I

#### Composition de l'air atmosphérique.

La Terre est enveloppée par une couche d'air qui mesure près de 20 lieues de hauteur. Cette couche d'air nommée *atmosphère* joue un rôle considérable dans la vie de notre planète. C'est elle qui entretient la respiration des animaux et des végétaux, elle aussi qui alimente la flamme de nos foyers.

L'air est un *gaz*, mais ce n'est pas un corps simple, un élément, comme disaient les anciens, c'est un mélange de deux gaz : l'*oxygène* et l'*azote*.

**Expérience de Lavoisier.** — Un chimiste français, le grand Lavoisier, a démontré ce fait au moyen d'une expérience restée célèbre (1774).

« J'ai pris, dit Lavoisier, un matras A de 36 pouces cu-

biques environ de capacité, dont le col était très long et avait 6 à 7 lignes de grosseur intérieurement; je l'ai courbé comme on le voit représenté (fig. 90) de manière qu'il pût être placé dans un fourneau, tandis que l'extrémité de son col irait s'engager sous la cloche C placée dans un bain de

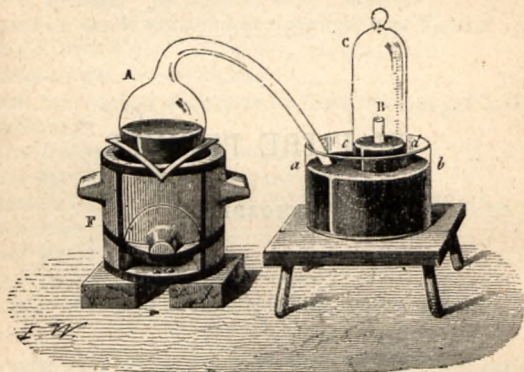


Fig. 90. — Appareil de Lavoisier pour l'analyse de l'air.

mercure *ab*. J'ai introduit dans ce matras 4 onces de mercure très pur, puis en suçant avec un siphon que j'ai introduit dans la cloche C, j'ai élevé le mercure jusqu'en *cd*. Les choses ainsi préparées, j'ai allumé le feu dans le fourneau F et je l'ai entretenu pendant douze jours, de manière que le mercure fût échauffé jusqu'au degré nécessaire pour le faire bouillir.

« Il ne s'est rien passé de remarquable pendant tout le premier jour; le mercure, quoique non bouillant, était dans un état d'évaporation continuelle et tapissait l'intérieur des vaisseaux de gouttelettes d'abord très fines, qui allaient ensuite en augmentant, et qui lorsqu'elles avaient atteint un certain volume retombaient d'elles-mêmes au fond du vase et se réunissaient au reste du mercure. Le second jour,



j'ai commencé à voir nager à la surface du mercure de petites parcelles rouges qui pendant quatre ou cinq jours ont augmenté en nombre et en volume, après quoi elles ont cessé de grossir et sont restées absolument dans le même état.

« Au bout de douze jours, voyant que la calcination ne faisait plus aucun progrès, j'ai éteint le feu, et j'ai laissé refroidir les vaisseaux. Le volume de l'air contenu, tant dans le matras que dans son col et sous la partie vide de la cloche était, avant l'opération, de 50 pouces cubiques ; lorsque l'opération a été finie, ce même volume ne s'est plus trouvé que 42 à 45 pouces cubes. Il y avait eu par conséquent une diminution de volume d'un sixième environ ; d'un autre côté, ayant rassemblé soigneusement les parcelles rouges qui s'étaient formées et les ayant séparées autant que possible du mercure coulant dont elles étaient baignées, leur poids s'est trouvé de 45 grains.

« L'air qui restait après cette opération et qui avait été réduit aux  $\frac{5}{6}$  par la calcination du mercure, n'était plus propre à la respiration ni à la combustion, car les animaux qu'on y introduisait y périssaient en peu d'instants, et les lumières s'y éteignaient sur-le-champ comme si on les eût plongées dans l'eau.

« D'un autre côté, j'ai pris les 45 grains de matière rouge qui s'étaient formés pendant l'opération, je les ai introduits dans une très petite cornue de verre, à laquelle était adapté un appareil propre à recevoir les produits liquides et aériformes qui pourraient se séparer (fig. 91).

« Lorsque la cornue chauffée a approché de l'incandescence, la matière rouge a commencé à perdre peu à peu de son volume et en quelques minutes elle a complètement disparu ; en même temps il s'est condensé dans le récipient 41 grains  $\frac{1}{2}$  de mercure coulant, et il a passé sous la cloche

7 à 8 pouces cubiques d'un fluide élastique beaucoup plus propre que l'air de l'atmosphère à entretenir la combustion et la respiration des animaux.

« Ayant fait passer une portion de cet air dans un tube de verre d'un pouce de diamètre, et y ayant plongé une bougie, elle y répandait un éclat éblouissant. Le charbon, au lieu de s'y consumer paisiblement comme dans l'air ordi-

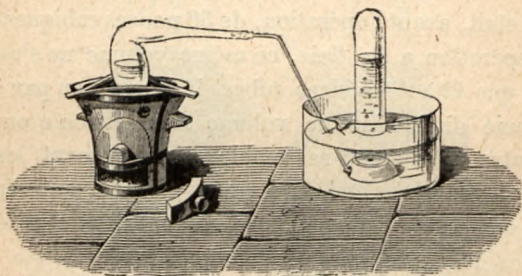


Fig. 91. — Décomposition de l'oxyde de mercure.

naire, y brûlait avec flamme et une sorte de décrépitation à la manière du phosphore, et avec une vivacité de lumière que les yeux avaient de la peine à supporter.

« En réfléchissant sur la condition de cette expérience, on voit que le mercure en se calcinant absorbe la partie soluble et respirable de l'air; que la portion d'air qui reste est une espèce de moffette, incapable d'entretenir la respiration et la combustion; *l'air de l'atmosphère est donc composé de deux fluides élastiques de nature différente et pour ainsi opposée.*

« Une preuve de cette importante vérité, c'est qu'en recombinant les deux fluides élastiques qu'on a ainsi obtenus séparément, c'est-à-dire les 42 pouces d'air non respirable et les 8 pouces d'air respirable, on forme de l'air en tout semblable à celui de l'air de l'atmosphère, et qui est propre,

à peu près au même degré, à la combustion, à la calcination des métaux et à la respiration des animaux. »

**Les gaz de l'air.** — Le gaz irrespirable de Lavoisier,

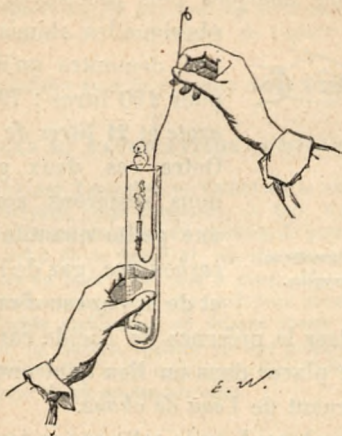


Fig. 92. — Une bougie s'éteint dans l'azote.

c'est l'*azote*, dans lequel une bougie s'éteint (fig. 92) et un animal meurt asphyxié (fig. 93).

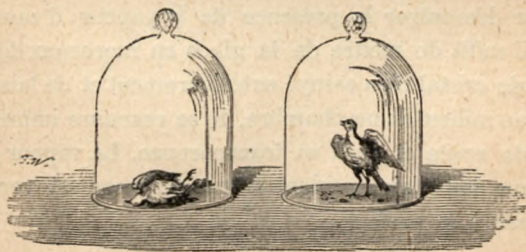


Fig. 93. — Un oiseau meurt dans l'azote et vit dans l'oxygène.

L'autre gaz, c'est l'*oxygène*, dans lequel une bougie se rallume même quand elle ne présente plus qu'un seul

point en ignition (fig. 94), et dans lequel aussi les animaux peuvent vivre sans manifester aucune sensation extraordinaire (fig. 93).



Fig. 94. — Une allumette se rallume dans l'oxygène.

En faisant des analyses plus précises de l'air atmosphérique les chimistes modernes ont démontré qu'il renfermait, pour 100 litres : 79 litres de gaz azote et 21 litres de gaz oxygène. Outre ces deux gaz, l'air que nous respirons contient encore une petite quantité de gaz *acide carbonique* (gaz de l'eau de Seltz) et de la *vapeur d'eau*.

Pour démontrer la présence de l'acide carbonique dans l'air, il suffit de placer dans un lieu quelconque une petite soucoupe contenant de l'eau de chaux.

Au bout de quelques heures cette eau se trouble et donne un dépôt de *craie*. La craie résulte précisément de l'union de l'acide carbonique de l'air avec la chaux contenue dans l'eau de la soucoupe. (Les chimistes appellent la craie du *carbonate de chaux*.)

Pour démontrer la présence de la vapeur d'eau dans l'air, il suffit de mettre de la glace en morceaux dans un verre de cristal bien essuyé extérieurement et de laisser ce verre au milieu d'une chambre, il se recouvre immédiatement de rosée et perd sa transparence. La vapeur d'eau contenue dans l'air circulant autour du verre est venue se *condenser* à sa surface.

#### QUESTIONNAIRE.

*Qu'est-ce que l'atmosphère?*

*L'air est-il un gaz simple?*



*Racontez l'expérience de Lavoisier.*

*Comment se nomment les gaz qui composent l'air ?*

*Quelles sont les propriétés de l'azote ?*

*Quelles sont les propriétés de l'oxygène ?*

*En quelles proportions ces gaz sont-ils mélangés dans l'air ?*

*Comment démontre-t-on la présence de l'acide carbonique dans l'air ?*

*Comment y démontre-t-on la présence de la vapeur d'eau ?*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Notice historique sur Lavoisier. — Utilité de la chimie, ses applications. — Corps simples, corps composés. — Gaz, liquides, solides. — Préparer de l'oxygène en chauffant du chlorate de potasse dans un appareil semblable à celui de la figure 91, ou simplement en chauffant de l'oxyde de mercure au fond d'un tube à essai. Montrer les propriétés de ce gaz et insister sur le grand rôle qu'il joue dans la nature.

Préparer de l'acide carbonique en faisant réagir à froid de l'acide chlorhydrique sur du marbre, insister sur les propriétés de ce gaz. — Démontrer la présence de l'acide carbonique dans l'air au moyen de l'eau de chaux. — Vapeur d'eau atmosphérique.

### L'air est pesant.

Les anciens croyaient que l'air était un élément subtil et impondérable ; c'est l'illustre Galilée qui vers la fin de sa vie (1640) démontra le premier que l'air était pesant. Il prenait un ballon de verre et y chassait de l'air avec force : plus il entraînait d'air dans le ballon, plus l'appareil augmentait de poids.

Les savants modernes, avec des moyens d'expérimentation plus précis, ont déterminé exactement le poids d'un litre d'air ; ce poids est égal à 1<sup>er</sup>293. Ce qui revient à dire que 10 litres d'air pèsent sensiblement 13 grammes, et 760 litres un kilogramme.

Il faut donc 760 litres d'air pour égaler le poids d'un seul litre d'eau.

Le poids de l'air paraît bien faible, et pourtant on a calculé qu'un homme de taille ordinaire supportait 17,000 kilogr. de ce fluide ! ce qui faisait dire au savant Haüy : « Voilà pourtant de quel poids étaient chargés les anciens philosophes qui niaient la pesanteur de l'air ! »

Pour démontrer que l'air est pesant, on fait les expériences suivantes : on prend un cylindre de verre que l'on pose sur le plateau d'une *machine pneumatique* et on le ferme avec une membrane, puis on fait le vide dans l'intérieur du cylindre, c'est-à-dire qu'on en retire l'air au moyen de la machine. On voit bientôt la membrane fléchir sous la pression de l'air qui s'exerce dans le sens de la flèche, et sa rupture se produit avec un bruit comparable à celui d'un coup de pistolet (fig. 95).

Une autre expérience consiste à faire le vide dans une

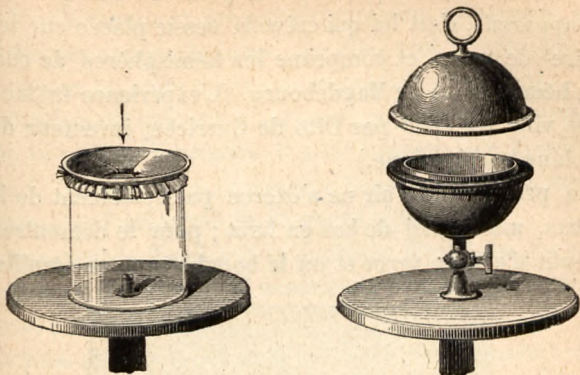


Fig. 95. — Expérience du crève-vessie. Fig. 96. — Hémisphères de Magdebourg.

sphère de cuivre formée de deux hémisphères se fermant hermétiquement (fig. 96). Quand le vide est fait, deux



Fig. 97. — Expérience des hémisphères de Magdebourg.

hommes, même très forts, ne peuvent parvenir à les séparer (fig. 97).

Dans ces deux expériences le poids de l'air presse sur les appareils, c'est lui qui crève la vessie placée sur le cylindre de verre et comprime les hémisphères de cuivre, dits hémisphères de Magdebourg. (L'expérience fut faite en cette ville en 1653 par Otto de Guericke, inventeur de la machine pneumatique.)

La pression de l'air ne s'exerce pas seulement de haut en bas, mais aussi de bas en haut ; pour le démontrer on remplit d'eau un verre et on le bouche avec une feuille de



Fig. 98. — Pression de l'air de bas en haut.

papier (fig. 98), puis on le renverse ; l'eau ne s'écoule pas, parce que l'air comprime le papier et maintient le liquide dans le verre.

C'est parce que notre corps est également pressé de tous côtés par l'air qui l'entoure que nous n'avons pas conscience du poids de l'atmosphère. La pression de haut en bas est annulée par la pression de bas en haut, la pression de gauche à droite par la pression de droite à gauche, etc.

**Le baromètre.** — La pression exercée par l'atmosphère



à la surface de la terre est variable : tantôt elle augmente, tantôt elle diminue ; ses oscillations sont observées avec soin par les météorologistes, car elles ont la plus grande importance au point de vue de la *prévision du temps*.

L'instrument qui sert à mesurer la pression atmosphérique se nomme *baromètre*, il a été inventé par Torricelli, élève de Galilée et son successeur dans la chaire de mathématiques de l'université de Florence (1643).

L'appareil de Torricelli se compose d'un tube de verre AB fermé à son extrémité supérieure A et ouvert à son extrémité inférieure B.

Ce tube mesure à peu près un mètre de longueur ; on le remplit de mercure et, après l'avoir bouché avec le doigt (fig. 99), on le renverse sur une cuve MN contenant aussi du mercure. On voit alors le métal liquide du tube descendre jusqu'en C et s'arrêter à ce niveau (760 millimètres au-dessus de MN). Torricelli démontra que c'était la pression atmosphérique qui maintenait le mercure soulevé dans le tube de son appareil, et Pascal en France fit des expériences qui le prouvèrent jusqu'à l'évidence. En montant sur le Puy de Dôme il vit la colonne de mercure diminuer de hauteur parce que l'air placé au-dessous de lui ne pesait plus sur le baromètre ; à Paris même, cette expérience fut faite à la tour Saint-Jacques. En haut de ce monument la colonne de mercure mesurait 4 millimètres de moins qu'au niveau du sol.

C'est en mémoire de ces expériences qu'on a élevé à Pascal une statue sous la voûte qui supporte la tour Saint-Jacques.

Si la colonne barométrique baisse à mesure qu'on s'élève dans les hautes régions de l'atmosphère, elle doit évidemment s'élever lorsqu'on descend dans les mines. C'est ce

qui arrive en effet ; aussi emploie-t-on continuellement le baromètre pour mesurer les hauteurs et les profondeurs.

Dans les laboratoires et dans les appartements on se sert de baromètres fixes ; tantôt on applique un baromètre de

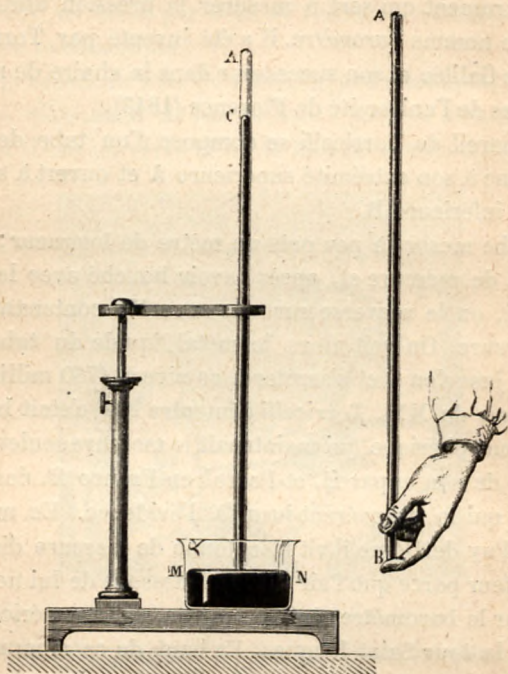


Fig. 99. — Baromètre de Torricelli.

Torricelli sur une planchette comme le montre la figure 100 ; tantôt on préfère le *baromètre à cadran* (fig. 101). C'est un tube recourbé dont la petite branche E est ouverte, tandis que la grande branche T est fermée en A.

Le mercure arrive en C d'une part et en *nm* d'autre part. Un petit flotteur *p* touche le mercure en *nm* et suit

tous ses mouvements. Un fil très fin est attaché au flotteur et s'enroule autour d'une poulie M à laquelle est fixée une aiguille légère. Le fil reste tendu grâce au contre-poids  $p'$ .

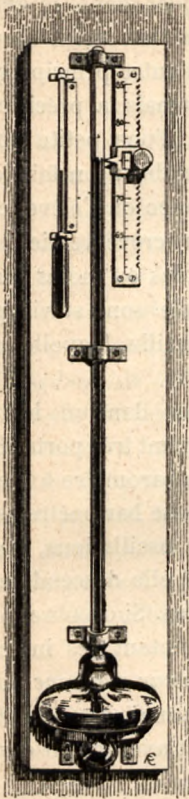


Fig. 100. — Baromètre à cuvette.

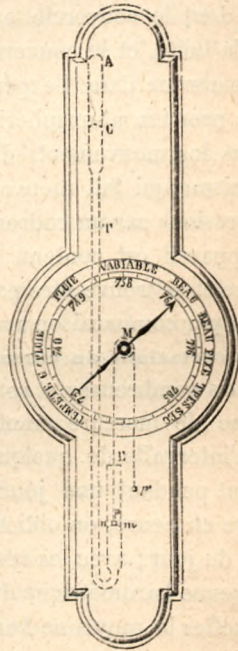


Fig. 101. — Baromètre à cadran.

L'appareil étant ainsi disposé, si la pression barométrique change, le niveau du mercure s'élève ou s'abaisse dans la branche E et l'aiguille tourne indiquant les varia-

tions sur un cadran. (Toute la partie pointillée de la figure est cachée derrière le cadran.)

Pour les voyages et les ascensions de montagnes on se sert souvent de *baromètres métalliques* dans le genre de celui que nous avons figuré au commencement de ce volume (fig. 3). Ils sont fondés sur un autre principe que les baromètres à mercure et n'en ont jamais la précision. Un baromètre métallique se compose d'une petite boîte en métal dont le couvercle est très flexible ; on fait le vide dans la boîte, et le couvercle s'enfonce ou s'élève, comme la membrane dans l'expérience du crève-vessie, suivant que la pression atmosphérique est plus ou moins forte.

Tous les mouvements du couvercle sont suivis par un mécanisme qui fait mouvoir une aiguille, laquelle marque les pressions sur un cadran.

L'appareil est contenu tout entier dans un boîtier de montre et se trouve être par conséquent très portatif. On le gradue par comparaison avec un bon baromètre à mercure.

**Les variations du baromètre.** — Le baromètre est soumis à de nombreuses et continuelles oscillations, tantôt sa colonne de mercure monte, tantôt elle descend, et cela dans l'intervalle de quelques minutes. Si on observe l'instrument pendant une journée, en notant ses indications d'heure en heure, on obtient la *hauteur moyenne barométrique* du jour ; avec les résultats journaliers on peut faire la moyenne barométrique du mois, et avec les observations mensuelles la moyenne barométrique de l'année.

La hauteur moyenne du baromètre dans une localité quelconque dépend d'abord de l'*altitude* de cette localité, c'est-à-dire de son élévation au-dessus du niveau de la mer. C'est ce qu'ont démontré les expériences de Pascal à la tour Saint-Jacques et au Puy de Dôme. Sous l'équateur,



par exemple, le baromètre marque 758 millimètres au niveau de la mer ; à Quito, capitale de la république de l'Équateur, située à 2,910 mètres d'altitude, il marque 754 millimètres, et à la métairie d'Antisana, voisine de Quito, mais à une altitude de 4,100 mètres, la colonne de mercure n'atteint plus que 740 millimètres.

La *latitude* du lieu a aussi une grande influence sur la hauteur moyenne barométrique. Les observations météorologiques ont démontré qu'aux pôles et à l'équateur les pressions étaient plus faibles que vers le 40° parallèle.

À l'équateur la pression moyenne est de 758 millimètres ; elle augmente jusque vers le 40° degré de latitude, où elle atteint 764 millimètres, et diminue ensuite à mesure qu'on arrive aux contrées polaires.

À Paris (vers le 50° parallèle) la hauteur barométrique moyenne est 760 millimètres.

Connaissant la hauteur moyenne barométrique d'un lieu, on a observé qu'en général une hausse du baromètre annonçait le beau temps et qu'une baisse de la colonne de mercure annonçait la pluie. De là ces indications marquées sur les baromètres d'appartements :

785 millim.	=	<i>Très sec.</i>
776 —	=	<i>Beau fixe.</i>
767 —	=	<i>Beau.</i>
758 —	=	<i>Variable.</i>
749 —	=	<i>Pluie ou vent.</i>
740 —	=	<i>Grande pluie.</i>
731 —	=	<i>Tempête.</i>

Ces indications n'ont rien de précis et peuvent être dans certains cas absolument erronées, l'arrivée de la pluie dépendant surtout de la direction des vents qui peuvent apporter plus ou moins d'humidité.

A l'embouchure de la Plata, les variations barométriques ont même des significations contraires à celles qu'indique le tableau précédent, puisqu'il y pleut généralement quand le baromètre monte.

Nous verrons plus loin comment les météorologistes tirent parti des observations barométriques pour la prévision du temps ; nous apprendrons alors qu'un seul baromètre n'indique pas grand'chose, mais que la réunion des observations faites au même moment sur toute la terre offre un très grand intérêt.

La pression atmosphérique a une influence notable sur les actions chimiques que l'air exerce. Est-elle considérable, l'air est sec et calme, les gaz que les corps terrestres emprisonnent dans leurs pores sont maintenus et ne peuvent pas se dégager. Il n'en est plus de même quand la pression diminue, surtout si le baromètre baisse rapidement. Dans ce cas, la vapeur d'eau atmosphérique se condense en brouillard ou en pluie, l'air se charge d'électricité, le vent devient violent. En même temps les gaz renfermés dans les corps terrestres se distendent et se répandent au dehors ; les égouts, les latrines, exhalent leur odeur infecte ; les étangs et les réservoirs se troublent, et les cadavres d'animaux morts immergés remontent à la surface ; les gaz du sol s'élèvent de la terre en ramenant de son sein des miasmes méphitiques ou chargés de germes microscopiques qui déterminent la corruption rapide de nos aliments ; dans les mines de houille, ce sont des gaz combustibles que les basses pressions font dégager de la terre, de façon à former avec l'air ce mélange explosif, le *grisou*, si justement redouté des mineurs.

Autant les hautes pressions barométriques déterminent le calme dans la nature et la sécurité au point de vue de

l'hygiène, autant les basses pressions ont pour cortège les bourrasques et les émanations insalubres (1).

### QUESTIONNAIRE.

*Comment démontre-t-on que l'air est pesant ?*

*Combien pèse un litre d'air ?*

*Quelle est la pression que supporte un homme de taille moyenne ?*

*Racontez l'expérience du crève-vessie.*

*Racontez l'expérience des hémisphères de Magdebourg.*

*Prouvez que la pression de l'atmosphère s'exerce aussi de bas en haut.*

*Qui a découvert le baromètre ?*

*Comment Pascal a-t-il démontré que c'était bien la pression barométrique qui influençait le mercure dans le tube de Torricelli ?*

*Décrivez le baromètre fixe à cuvette.*

*Décrivez le baromètre fixe à cadran.*

*Décrivez le baromètre métallique.*

*Dites ce que vous savez sur les variations barométriques.*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

La pression que l'air exerce sur la terre est égale à celle qu'exercerait une couche de mercure de 76 centimètres d'épaisseur.

Insister sur les baromètres. — Faire quelques expériences démontrant l'existence de la pression atmosphérique. Monter sur un monument avec un baromètre métallique. Faire observer le baromètre chaque jour aux élèves.

Baromètres de Gay-Lussac et de Fortin. Importance du baromètre comme instrument de météorologie.

(1) A. Gérardin, *Chimie des Écoles normales primaires*, Delagrave, éditeur.

## CHAPITRE II

### LA CHALEUR ATMOSPHÉRIQUE

#### I

#### Le thermomètre.

**Dilatation des corps par la chaleur.** — Le thermomètre est un instrument qui sert à déterminer la température des corps ; il est fondé sur ce principe que *tout les corps se dilatent quand on les chauffe.*

Pour démontrer que tous les corps se dilatent par la chaleur on peut faire les expériences suivantes :

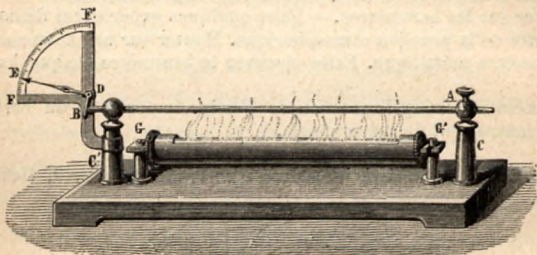


Fig. 102. — Le pyromètre à levier.

1° On prend une tige de fer AB (fig. 102) que l'on fixe à son extrémité A sur une petite borne C ; cette tige de fer glisse facilement dans la tête arrondie d'une autre borne C' et vient s'appuyer sur un levier BD auquel est attachée l'aiguille DE. Lorsqu'on chauffe la tige de fer au moyen de



la flamme qui sort d'une gouttière GG' pleine d'alcool, on la voit s'allonger, presser sur le levier et pousser l'aiguille.

La dilatation est indiquée par la marche de l'aiguille sur le cadran gradué FF'. On peut remplacer la tige de fer par une tige d'un autre métal. Cet instrument a été appelé *pyromètre à levier* par les physiciens, il permet d'apprécier facilement les variations de longueur qu'éprouve une tige métallique lorsqu'on fait varier sa température.

Un autre instrument, l'*anneau de S'Gravesande*, permet de constater également l'accroissement de volume des corps solides qu'on chauffe. Il se compose d'une petite potence à laquelle on suspend une boule de cuivre S (fig. 103) qui

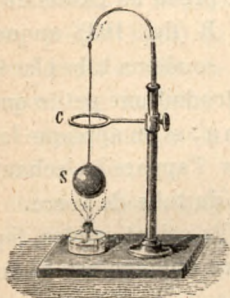


Fig. 103. — Anneau de S'Gravesande.



Fig. 104. — Les liquides se dilatent par la chaleur.

peut passer lorsqu'elle est froide au travers de l'anneau C. Si on chauffe la boule, elle se dilate et ne traverse plus l'anneau parce que son volume a augmenté. Ces deux expériences démontrent bien que les corps solides s'accroissent dans toutes leurs dimensions lorsqu'on les soumet à une élévation de température. Il convient d'ajouter que si on enlève la source de chaleur, ils reprennent leurs dimensions primitives.

2° Les corps liquides que l'on chauffe se conduisent comme les corps solides. Pour le prouver prenons un ballon de verre B muni d'un long col en forme de tube et remplissons ce ballon avec de l'eau rougie jusqu'à un trait marqué sur une petite carte (fig. 104). En plongeant l'appareil dans de l'eau chaude, nous ne tarderons pas à voir le niveau du liquide s'élever dans le tube et dépasser beaucoup la petite feuille de papier. La dilatation sera d'autant plus grande que la température sera plus élevée.

3° Une expérience à peu près semblable démontre que

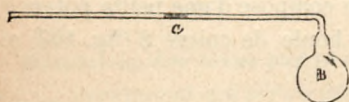


Fig. 105. — Les gaz se dilatent par la chaleur.

les gaz se dilatent fortement par la chaleur. On prend un ballon de verre B (fig. 105) auquel est soudé un tube placé hori-

zontalement. Dans ce tube on introduit une petite quantité de mercure qui vient se placer en *a* ; si on applique la main sur le ballon, l'air contenu dans l'appareil s'échauffe et pousse le mercure jusqu'au bout du tube de verre.

En résumé, tous les corps, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, se dilatent, c'est-à-dire augmentent de volume lorsqu'on les chauffe.

**Description du thermomètre; sa graduation.** — Le thermomètre se compose d'un *tube capillaire bien calibré* et renflé à sa partie inférieure en forme de boule ou d'olive. Il renferme du mercure. Le métal liquide monte ou descend dans la tige de l'instrument suivant les variations de la température. Si le thermomètre est exposé au froid, le mercure baisse et rentre dans le réservoir inférieur, si on trempe l'instrument dans l'eau chaude, il monte au contraire rapidement.

Lorsque, après avoir trempé le thermomètre dans deux

liquides différents, ou après l'avoir placé dans deux pièces séparées d'un appartement, on voit le mercure s'arrêter au même niveau, on dit que les liquides ont la même température, ou qu'il fait également chaud dans les deux pièces.

Les thermomètres sont tantôt libres comme celui de la figure 106, tantôt fixés sur une planchette comme ceux que vous avez vus à la devanture des opticiens ; dans tous les cas ils portent une graduation qui est toujours la même.

Pour graduer un thermomètre il faut d'abord déterminer la position sur sa tige de deux points fixes qu'on nomme le point 0 et le point 100. Le zéro indique la température de la *glace fondante*, et le centième degré indique la température de l'*eau bouillante*.

On a choisi ces deux températures comme points de départ de la graduation des thermomètres parce qu'elles sont faciles à obtenir et qu'elles sont identiques dans tous les pays, pourvu qu'on opère à la pression de 760 millimètres, c'est-à-dire pourvu que le baromètre marque 760 pendant que s'effectue la graduation.

On commence par placer l'appareil dans un entonnoir rempli de glace pilée (fig. 107) et au bout d'un certain temps, lorsque la glace est entrée en pleine fusion et que le mercure ne descend plus dans le tube capillaire, on fait un petit trait sur la tige. On a obtenu le point 0. On porte ensuite le thermomètre dans

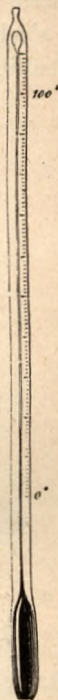


Fig. 106. — Thermomètre centigrade.

un ballon de verre placé sur un fourneau à gaz, comme le montre la figure 108, afin de déterminer le centième degré. Le ballon à moitié rempli d'eau est muni d'un long col : son bouchon, percé de deux trous, livre passage au thermomètre et porte aussi un tube recourbé par lequel la vapeur s'échappe à mesure qu'elle se forme. Quand l'eau est en ébullition et que le mercure ne monte plus dans le tube

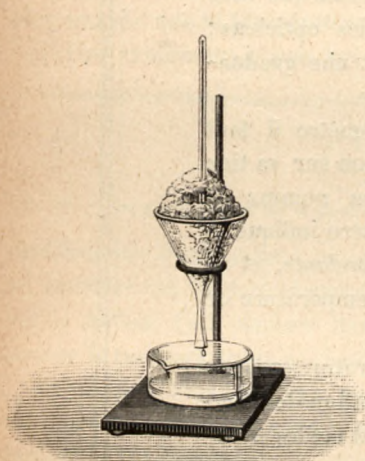


Fig. 107. — Détermination du degré 0 d'un thermomètre.



Fig. 108. — Détermination du degré 100 d'un thermomètre.

capillaire, on fait un second trait sur la tige indiquant le centième degré.

Il ne reste plus qu'à diviser en cent parties égales l'espace compris entre 0 et 100, puis à continuer ces graduations au-dessus de 100 et au-dessous de 0 pour avoir un thermomètre prêt à être employé.

Lorsqu'on lit les indications d'un thermomètre, on a l'habitude de faire précéder du signe + les chiffres qui



marquent des degrés *au-dessus* de zéro et du signe — ceux qui marquent des degrés *au-dessous* de zéro.

Ainsi on dit : La journée du 10 juillet a été chaude, le thermomètre est monté à l'ombre jusqu'à  $+25^{\circ}$ ; et inversement : La journée du 24 décembre a été froide, le thermomètre est descendu à  $-14^{\circ}$ .

Le thermomètre que nous venons de décrire et dont nous avons donné la graduation est le plus employé en France, on le nomme *thermomètre centigrade*. Pour qu'il coûte moins cher, on remplace souvent le mercure qu'il contient par de l'alcool coloré en rouge. Dans ce cas il peut encore servir pour déterminer les températures d'appartement et même des températures très basses, parce que l'alcool ne gèle pas, mais on ne peut plus le plonger sans danger dans de l'eau bouillante. L'alcool en effet entrerait en ébullition et briserait l'instrument.

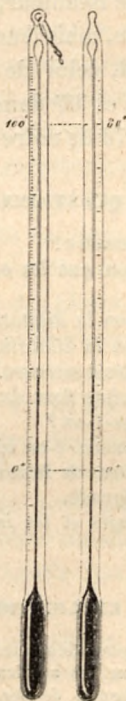


Fig. 109. — Thermomètre de Réaumur.

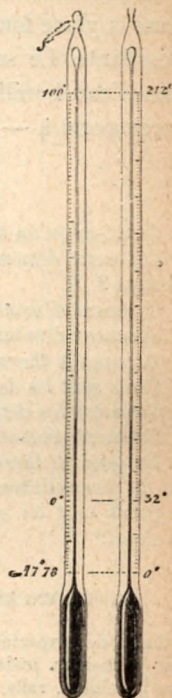


Fig. 110. — Thermomètre de Fahrenheit.

En Suisse on n'emploie pas le thermomètre centigrade,

il en est de même en Allemagne et en Angleterre. Dans ces pays on fait usage du thermomètre de *Réaumur* et du thermomètre de *Fahrenheit*, qui sont construits absolument comme le *centigrade*, mais dont les graduations sont différentes (fig. 109 et 110).

Le premier, celui de Réaumur, marque 0° comme le nôtre dans la glace fondante, mais il ne marque que 80° dans l'eau bouillante. Le second, celui de Fahrenheit, marque 212° dans l'eau bouillante et 32° dans la glace fondante, son 0° correspond à — 17°,78 de notre thermomètre.

### QUESTIONNAIRE.

*Qu'est-ce qu'un thermomètre ?*

*Comment démontre-t-on que les corps solides se dilatent par la chaleur ?*

*Comment démontre-t-on la dilatation des corps liquides ?*

*Comment démontre-t-on la dilatation des gaz ?*

*Décrivez le thermomètre à mercure.*

*Quels sont les deux points fixes du thermomètre ?*

*Comment les détermine-t-on ?*

*Comment écrit-on et énonce-t-on les indications du thermomètre ?*

*En quoi les thermomètres de Réaumur et de Fahrenheit diffèrent-ils du thermomètre centigrade.*

*Quels sont les avantages et les inconvénients des thermomètres à alcool ?*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Faire des expériences pour démontrer que tous les corps se dilatent par la chaleur. Insister sur les applications des dilatations. Balanciers des pendules, rails de chemin de fer, zinc des toitures, etc. Mettre quelques thermomètres entre les mains des élèves. — Observation de ces instruments. — Conversion par le calcul des degrés Réaumur et Fahrenheit en degrés centigrades. — Construction des thermomètres. — Thermomètre de Bréguet et thermomètre à air, le premier fondé sur la dilatation des solides, le second sur la dilatation des gaz.

### Observations thermométriques.

De tous les phénomènes météorologiques, les plus importants à étudier sont les changements de température, car ils sont la cause de tous les mouvements qui se produisent à la surface des mers et des continents. C'est la plus ou moins grande quantité de chaleur reçue dans une région qui influence la récolte ; c'est la répartition de la température qui règle la distribution géographique des animaux, des plantes et des races humaines, elle aussi qui règle le régime des vents et des pluies.

Pour faire des observations thermométriques dans un lieu, il faut placer le thermomètre autant que possible au milieu d'un terrain découvert à 2 mètres environ au-dessus d'un sol gazonné, à l'abri du soleil et de la pluie, sous une sorte de petite guérite dont les parois sont des volets mobiles et dont le double toit ne s'échauffe pas trop aux rayons du soleil de midi.

**Températures moyennes.** — Avec un thermomètre bien placé on peut établir la *température moyenne* de la journée pour une localité, par des observations faites d'heure en heure, puis la température moyenne du mois et celle de l'année en se servant des moyennes journalières pour le mois et des moyennes mensuelles pour l'année. Plus simplement, la température moyenne de la



Fig. 111. — Thermomètre de Six.

journée peut être obtenue avec le thermomètre à *maxima* et à *minima* de Six (fig. 111). Dans la colonne de droite de cet appareil est un petit cylindre d'émail  $\alpha$ , qui s'arrête à l'endroit où le niveau  $a$  du mercure est le plus monté dans la journée, indiquant la température la plus élevée du jour, soit  $20^{\circ}$ ; dans la colonne de gauche un autre cylindre d'émail  $\beta$  donne la plus basse température, soit  $10^{\circ}$ . On additionne les deux chiffres  $20^{\circ} + 10^{\circ} = 30^{\circ}$ , on divise par 2 et on obtient  $15^{\circ}$ , température moyenne du jour.

En général c'est au lever du soleil que se produit la plus basse température; la plus haute est observée vers 1 heure après midi en hiver et 2 heures en été. Il faut remarquer que les saisons météorologiques ne coïncident pas avec les saisons astronomiques; ainsi l'été des astronomes dure du 21 juin au 22 septembre, tandis que les jours de plus grande chaleur se produisent en juin, juillet et août, de même les jours de plus grand froid sont en décembre, janvier et février. A la suite d'observations séculaires on a pu dresser un tableau des températures moyennes mensuelles pour Paris; le voici :

Janvier .....	+ 1°8	Juillet.....	+ 18°1
Février .....	+ 3°2	Août .....	+ 17°6
Mars .....	+ 5°9	Septembre.....	+ 14°4
Avril .....	+ 9°4	Octobre.....	+ 10°2
Mai .....	+ 12°9	Novembre.....	+ 5°7
Juin.....	+ 16°2	Décembre.....	+ 3°1

Pour avoir la température moyenne annuelle de Paris il suffira de diviser par 12 la somme de ces nombres, on obtiendra  $+ 9^{\circ},9$ . Pour la moyenne de la température des quatre saisons on aura :



Été .....	+ 16°3	Hiver .....	+ 2°7
Automne.....	+ 10°1	Printemps.....	+ 9°4

Dans une même contrée, l'altitude exerce une grande influence sur le thermomètre ; ainsi la température moyenne s'abaisse d'environ 1° quand l'altitude augmente de 180 mètres. Dans leur ascension célèbre du 16 juillet 1850, MM. Barral et Bixio ont observé une température de — 40° à 7,009 mètres. Sur le flanc des montagnes on peut constater à mesure que l'on s'élève un changement lent et progressif dans la température depuis le doux climat de la plaine jusqu'à celui des neiges éternelles.

**Distribution des températures à la surface du globe.**

— A l'équateur la température moyenne de l'année est très élevée ; aux pôles elle est très basse. De Humboldt a eu l'idée de réunir par un trait sur la sphère terrestre tous les points ayant la même température moyenne annuelle. La ligne qui les joint se nomme *isotherme* (fig. 112).

Ici nous pouvons faire une observation intéressante : des moyennes semblables peuvent être produites par des nombres qui s'en écartent plus ou moins.

Ainsi, la température moyenne est à peu près la même à Péking qu'à Toulouse, et pourtant les températures extrêmes ne sont pas comparables ; on a observé :

A Péking...	{	Janvier..	— 4°1		A Toulouse.	{	Janvier..	+ 4°1
		Août..	+ 29 5				Août....	+ 21 5

Ce fait a donné l'idée d'ajouter sur les cartes deux autres lignes ; l'une *isothère*, qui réunit tous les points ayant la

même température d'été, et l'autre *isochimène*, réunissant



tous les points qui ont la même température d'hiver.

La carte d'Europe de la figure 112 vous donne une idée de ce travail des météorologistes.

On s'accorde à distinguer trois variétés de climats : les *climats constants*, dont la différence de température entre l'été et l'hiver est très petite et ne dépasse pas 6 à 7 degrés ; les *climats moyens*, pour lesquels la différence atteint 15 degrés, et les *climats extrêmes* ou excessifs, pour lesquels la différence des moyennes d'été et d'hiver atteint et même dépasse 20 degrés.

Les îles Canaries possèdent un climat constant : l'hiver y est de  $+ 18^{\circ}$  et l'été de  $+ 23^{\circ},8$  (différence  $5^{\circ},8$ ).

Paris possède un climat moyen : l'hiver y est de  $+ 2^{\circ},7$  et l'été de  $+ 16^{\circ},3$  (différence  $14^{\circ},6$ ).

Le climat de Moscou est un climat extrême : la moyenne d'hiver y étant de  $- 9^{\circ},1$  et celle de l'été de  $+ 18^{\circ},4$  (différence  $27^{\circ},5$ ).

**Températures les plus hautes observées à Paris.** — Les observations thermométriques faites à l'Observatoire de Paris remontent à l'année 1666, mais les instruments employés à cette époque étaient si imparfaits qu'on ne peut accorder à ces observations autant de crédit qu'à celles qui ont été faites de nos jours ; du reste, beaucoup de lacunes existent.

Voici, d'après l'*Annuaire de l'Observatoire de Montsouris*, le relevé des plus hautes températures observées à Paris de 1699 à 1882.

Comme on le verra dans le premier tableau les températures exceptionnellement élevées au siècle dernier se sont produites en 1720, 1763, 1765, 1773, 1782 et 1793.



1705....	+ 34°3	1750....	+ 35°0	1769....	+ 36°9
1706....	+ 36 2	1751....	+ 36 9	1770....	+ 35 0
1707....	+ 34 3	1753....	+ 35 6	1771....	+ 35 0
1718....	+ 35 0	1754....	+ 35 0	1772....	+ 36 8
1719....	+ 36 8	1755....	+ 34 7	1773....	+ 39 4
1720....	+ 40 0	1756....	+ 35 6	1777....	+ 36 1
1724....	+ 34 6	1757....	+ 37 7	1778....	+ 36 2
1727....	+ 34 6	1758....	+ 34 3	1779....	+ 34 4
1731....	+ 36 9	1760....	+ 37 7	1780....	+ 35 0
1736....	+ 37 0	1762....	+ 35 6	1781....	+ 34 4
1738....	+ 36 9	1763....	+ 39 0	1782....	+ 38 7
1742....	+ 36 2	1764....	+ 37 5	1783....	+ 36 3
1747....	+ 34 4	1765....	+ 40 0	1790....	+ 34 6
1748....	+ 36 9	1766....	+ 37 8	1791....	+ 34 1
1749....	+ 36 9	1768....	+ 35 3	1793....	+ 38 4

A partir de 1800, c'est dans les années 1824, 1826, 1842, 1857, 1873, 1874, 1876 et 1881 que le thermomètre a marqué les plus hautes températures, mais jamais il n'a atteint + 39° ni + 40° comme dans le siècle dernier.

Voici la liste des jours les plus chauds de notre siècle :

1800, le 18 août...	+ 35°5	1846, le 5 juillet..	+ 35°9
1802, le 8 — ...	+ 36 4	1847, le 17 — ..	+ 34 5
1803, le 31 juillet..	+ 36 7	1852, le 16 — ..	+ 34 5
1806, le 11 — ..	+ 35 6	1857, le 4 août...	+ 36 2
1808, le 15 — ..	+ 36 2	1858, le 3 juin....	+ 35 3
1818, le 24 — ..	+ 34 5	1859, le 13 juillet..	+ 34 5
1824, le 14 — ..	+ 35 2	1863, le 9 août...	+ 35 9
1825, le 19 — ..	+ 36 3	1868, le 22 juillet..	+ 34 0
1826, le 1 août...	+ 36 2	1872, le 22 — ..	+ 34 4
1832, le 13 — ...	+ 35 0	1873, le 8 août...	+ 37 2
1835, le 28 juillet..	+ 34 0	1874, le 9 juillet..	+ 38 4
1836, le 1 — ..	+ 34 3	1876, le 17 août...	+ 35 8
1838, le 13 — ..	+ 34 3	1876, le 13 — ...	+ 36 0
1842, le 18 août...	+ 36 6	1881, le 19 juillet..	+ 37 2
1843, le 5 juillet..	+ 34 3		

**Températures les plus basses observées à Paris.** — Il est intéressant d'examiner aussi quelles ont été les plus



basses températures supportées à Paris depuis que les météorologistes ont commencé leurs observations.

Le plus grand froid signalé pendant le xviii<sup>e</sup> siècle est celui de l'hiver de 1794-1795, dans lequel le thermomètre est descendu à — 23°,5.

Un autre hiver très rigoureux fut celui de 1788-89 pendant lequel la température descendit jusqu'à — 21°,5. Malheureusement le tableau des observations du siècle dernier ne commence qu'à l'année 1770, et se trouve être par conséquent très incomplet.

1770-71, le 12 février... — 13° 5	1789-90, le 4 janvier .. — 15° 1
1775-76, le 29 janvier... — 19 1	1791-92, le 19 février... — 14 0
1783-84, le 30 décembre. — 19 1	1794-95, le 25 janvier... — 23 5
1785-86, le 4 janvier... — 13 0	1796-97, le 11 décembre. — 13 3
1788-89, le 31 décembre. — 21 5	1798-99, le 26 décembre. — 17 6

Le tableau suivant, qui indique les plus grands froids du xix<sup>e</sup> siècle, est complet, il montre que les hivers les plus rigoureux se sont produits en 1871-72 et en 1879-80. Pendant ce dernier hiver le thermomètre est descendu plus bas encore qu'au siècle dernier, il a marqué près de — 24° le 10 décembre.

1799-1800, le 30 janvier. — 13° 1	1840-41, le 17 décembre. — 13° 2
1801-02, le 16 janvier... — 15 5	1846-47, le 19 — — 14 7
1802-03, le 13 février... — 15 4	1853-54, le 30 — — 14 0
1819-20, le 11 janvier... — 14 3	1854-55, le 21 janvier... — 13 3
1820-21, le 31 décembre. — 13 0	1859-60, le 20 décembre. — 16 2
1822-23, le 14 janvier... — 14 6	1871-72, le 9 — — 21 3
1828-29, le 24 — ... — 17 0	1874-75, le 1 <sup>er</sup> janvier... — 13 2
1829-30, le 17 — ... — 17 2	1879-80, le 10 décembre. — 23 9
1837-38, le 20 — ... — 19 0	1880-81, le 16 janvier... — 13 3

M. Gaston Tissandier a recueilli de curieux détails historiques sur les grands froids qui ont sévi depuis le sixième

siècle jusqu'à nos jours (1); je crois vous intéresser en vous faisant connaître le résultat de ses recherches.

La *Chronique de Saint-Denis*, dit cet aimable et savant vulgarisateur, nous apprend que les hivers de 544 et 547 furent d'une excessive rigueur dans les Gaules, au point que les oiseaux gelés se laissaient prendre à la main.

« Li oïsel furent si destroit de faim et de froidure que on les prenait sus la noif aus mains sanz nul engin. » La même chronique signale encore les hivers de 593, de 763, de 859, de 874, qui furent très froids et accompagnés du triste cortège de la famine et des épidémies. Le tiers de la population de la France périt, dit-on, à la suite de fléaux causés par le froid. La neige était d'une abondance telle, que les forêts devenues inaccessibles ne pouvaient plus fournir de bois.

En 1068, en Angleterre, la gelée amena une effroyable famine. Les hommes furent contraints de manger du chien, du cheval et même de la chair humaine, celle des victimes qu'abattait pêle-mêle le double fléau de la faim et d'un froid mortel. De 1076 à 1077, les gelées se prolongèrent pendant quatre mois en France et toutes les récoltes furent perdues. En 1124, on vit des anguilles quitter les étangs gelés du Brabant et se réfugier dans des granges, où le froid vint encore les saisir et les faire périr.

Des froids intolérables marquent les hivers de 1133, 1210, 1234, 1316, et 1408. Pendant ce dernier, à la fin de janvier 1408, le *Petit-Pont* construit à Paris fut renversé par les glaçons lors de la débâcle de la Seine, ainsi que les maisons établies dessus.

Le 31 du même mois, le *Grand-Pont*, dit aujourd'hui *Pont-au-Change*, éprouva une secousse si forte que qua-

(1) *La Nature*. — G. Masson éditeur, 1880, t. 1<sup>er</sup>.

torze boutiques de changeurs, qui y étaient construites, furent ruinées (*Registres du Parlement*). Le même jour, le Pont-Neuf, quoique bâti en pierres, céda à la violence des eaux et entraîna avec lui les maisons qui s'y trouvaient.

Pendant l'hiver de 1420, les loups affamés firent irruption jusque dans les faubourgs de la capitale. Les pauvres gens, en proie à toutes les souffrances d'une faim dévorante, cherchaient des aliments dans les tas d'ordures.

L'hiver de 1608, longtemps appelé le *grand hiver*, frappa de mort un grand nombre de passants dans les rues. Le vin se gela dans un calice à l'église Saint-André des Arcs. En 1637 tous les fleuves de l'Europe furent pris par la gelée, depuis la Fionie, où Charles X, roi de Suède, fit passer sa cavalerie à pied sec sur le petit Belt transformé en une plaine de glace, jusqu'en Italie, où les voitures purent traverser le Tibre de la même façon.

En 1683, la Tamise tout entière fut gelée à Londres et une foire put s'y organiser pendant près d'un mois. En 1776 la glace de la Seine s'étendait jusqu'à 8 kilomètres en mer à son embouchure.

Pendant l'hiver de 1788-1789 il y eut à Paris plus de deux mois de gelées sans interruption. Louis XVI fit allumer de grands feux dans les carrefours pour que les pauvres gens pussent s'y réchauffer. Ceux-ci, dans leur reconnaissance, construisirent avec de la neige, à la barrière des Sergents, une immense effigie du roi. La neige dans les rues de Paris atteignit une hauteur de 64 centimètres. Le vin gelait dans toutes les caves, et la glace se forma dans les puits les plus profonds. Les rues de Rome et celles de Constantinople furent couvertes de neige pendant plusieurs semaines.

Les hivers rigoureux sont généralement de longue durée; en 1783-1784 il y a eu 69 jours consécutifs de gelée; en

1788-1789, 50 jours ; en 1794-1795, on en a compté 42. Depuis le commencement de ce siècle il est bien rare que le froid ait duré plus de 30 jours.

C'est au milieu des mers boréales que l'homme a constaté les plus basses températures du globe. Parry a vu le thermomètre à alcool marquer  $-40^{\circ}$  dans l'île de Melville, près du Spitzberg. D'autres observateurs ont constaté  $-58^{\circ}$  au fort Entreprise dans l'Amérique du Nord ;  $-51^{\circ}$  à Nijni-Laguilsk, dans les monts Ourals ;  $-54^{\circ}$  à Nijni-Kolymsk ;  $-55^{\circ}$  à Calès en Norvège ;  $-57^{\circ}$ , le 17 janvier 1834, au fort Reliance ; enfin  $-58^{\circ}$ , en 1829, à Iakoutsk en Sibérie. Les plus hautes températures ont été observées dans les régions équatoriales.

#### QUESTIONNAIRE.

*Quelles sont les précautions que l'on doit prendre pour faire les observations thermométriques ?*

*Qu'entend-on par température moyenne du jour, du mois, de l'année ?*

*Qu'est-ce que le thermomètre de Six ?*

*A quel moment observe-t-on la plus basse température du jour ?*

*A quel moment de la journée observe-t-on la plus haute température ?*

*Donner la température moyenne des quatre saisons à Paris.*

*Comment démontre-t-on que la température varie avec l'altitude du lieu ?*

*Qu'est-ce que la ligne des isothermes ?*

*Qu'est-ce que la ligne des isothères ?*

*Qu'est-ce que la ligne des isochimènes ?*

*Qu'entend-on par climats constants, moyens et extrêmes ?*

*Quelles sont les plus hautes températures observées à Paris ?*

*Quelles sont les plus basses températures observées à Paris ?*

*Dites ce que vous savez sur les grands hivers de notre région.*

*Citez quelques températures des régions boréales.*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Influence du soleil sur les récoltes, zones végétales ; les montrer sur une carte ; palmier, olivier, vigne, etc. — Dire comment on obtient les plus hautes et les plus basses températures dans l'industrie ; fusion du platine, mélanges réfrigérants. — Récits et lectures sur les grands hivers, les froids polaires, les hautes températures de l'Afrique, etc.



## Effets de la chaleur sur l'atmosphère. — Les vents.

**L'air chaud s'élève.** — Nous avons dit dans une précédente leçon que l'air échauffé se dilatait; ce fait a une grande importance, car il explique l'origine des vents. En effet, *lorsque l'air se dilate, il devient plus léger et s'élève; l'air froid vient prendre sa place, alors un courant s'établit plus ou moins rapide : c'est ce courant qu'on appelle le vent.*

Pour démontrer que l'air chaud s'élève on peut faire l'expérience suivante : on place sous un petit ballon de papier (fig. 113) une poignée d'étoupe que l'on enflamme; à mesure que l'air contenu dans le ballon s'échauffe, on voit le ballon s'élever de plus en plus et s'arrêter seulement lorsqu'il est refroidi.



Fig. 113. — L'air chaud s'élève.

Ce sont les frères Montgolfier, fabricants de papier à Annonay (1780), qui les premiers ont fait cette expérience; ils ont aussi construit sur ce principe d'énormes ballons pouvant enlever des animaux, et même des voyageurs; ces ballons ont été appelés *montgolfières*.

Dans une chambre chauffée, on peut constater que l'air

chaud se trouve entraîné vers le haut de la pièce, tandis que l'air froid occupe le niveau du sol; il suffit d'examiner deux thermomètres, l'un suspendu au plafond et l'autre posé à terre, pour s'en convaincre; il y a quelquefois une différence de plusieurs degrés entre les deux instruments.

Si on ouvre la porte de la chambre, un double courant d'air s'établit; un vent froid pénètre dans la pièce par le bas de la porte et un vent chaud s'en échappe par le haut. Franklin, pour démontrer l'existence de ce double courant d'air, plaçait une bougie au niveau du sol, la bougie soufflée par le vent froid dirigeait sa flamme vers l'intérieur de la chambre; il en tenait une autre au haut de la porte; la flamme de cette seconde bougie se dirigeait en sens inverse soufflée vers l'extérieur par l'air chaud. Cette expérience est si facile à faire que vous pourrez la réaliser vous-mêmes.

Tout ceci démontre que la production des vents est intimement liée aux variations de température.

De même que dans la chambre dont nous venons de parler, il y a à la surface du globe des courants d'air froid venant remplacer l'air chaud qui s'est élevé.

Les météorologistes étudient avec le plus grand soin la *vitesse* et la *direction* des vents; nous allons entrer dans quelques détails sur ce sujet, qui, comme vous allez vous en convaincre, n'est pas dénué d'intérêt pratique.

**Direction des vents.** — Pour connaître la direction des vents, on se sert de la *girouette*; c'est une grande flèche métallique qui peut tourner très facilement sur elle-même; la girouette est portée par une tige verticale, un paratonnerre par exemple, elle doit être bien équilibrée et aussi élevée que possible pour ne pas être influencée par les édifices voisins.

Dans nos campagnes françaises on place sur le cloche un coq en métal creux qui tourne à tous les vents; sur les navires un simple petit drapeau placé en haut du grand mât sert de girouette.

En général, la girouette est accompagnée d'une *rose des vents* ou au moins de quatre tiges fixes indiquant les quatre *points cardinaux*.

Quand on veut marquer la direction du vent, on fait usage dans les observatoires météorologiques de seize désignations, indiquant la région *d'où vient* le vent; c'est-à-dire le point de l'horizon vers lequel est tournée la pointe de la flèche de la girouette :

N-N-E	ou 1	Nord-Nord-Est.	S-S-W	ou 9	Sud-Sud-Ouest.
N-E	2	Nord-Est.	S-W	10	Sud-Ouest.
E-N-E	3	Est-Nord-Est.	W-S-W	11	Ouest-Sud-Ouest.
E	4	Est.	W	12	Ouest.
E-S-E	5	Est-Sud-Est.	W-N-W	13	Ouest-Nord-Ouest.
S-E	6	Sud-Est.	N-W	14	Nord-Ouest.
S-S-E	7	Sud-Sud-Est.	N-N-W	15	Nord-Nord-Ouest.
S	8	Sud.	N	16	Nord.

**Vitesse des vents.** — L'instrument qui sert à déterminer la vitesse des vents est l'*anémomètre* à moulinet de Robinson, auquel est adapté un compteur.

Cet appareil se compose d'un axe vertical *cc*, dont l'extrémité supérieure porte quatre tiges horizontales *bbb*, rectangulaires entre elles et terminées chacune par une demi-sphère creuse *aaaa* en métal, légère et soudée de telle manière que la partie concave de l'une regarde la partie convexe de la suivante (fig. 114).

Les tiges du moulinet sont attachées à l'axe *cc* qui tourne avec elles, cet axe porte une vis sans fin *v* engrenée sur une roue dentée *d*.

On comprend facilement le jeu de l'instrument : sous l'influence du vent, le moulinet prend un mouvement de rotation autour de son axe et entraîne la roue dentée dont les tours sont marqués sur un cadran.

La figure 115 montre un anémomètre établi sur le pic de Säntis dans le canton d'Appenzel (Suisse), à 2467 mètres

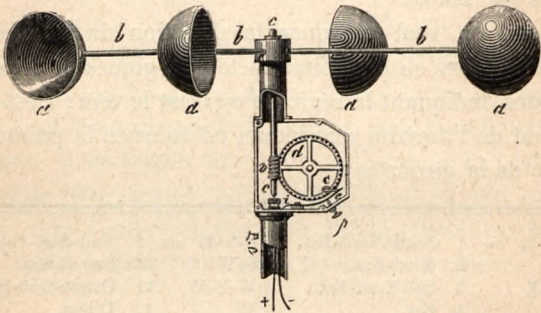


Fig. 114. — L'anémomètre.

d'altitude. A l'intérieur de la guérite se trouve un appareil qui enregistre automatiquement la vitesse du vent et ses variations.

Lorsqu'on possède un anémomètre, on peut indiquer en mètres par seconde la vitesse du vent, mais à défaut de cet instrument on se contente d'en estimer la force et de la noter en chiffres, depuis 0, calme, jusqu'à 6, ouragan.

- |               |                                                                                        |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 0 = Calme...  | La fumée s'élève verticalement ou à peu près ; les feuilles des arbres sont immobiles. |
| 1 = Faible... | Sensible aux mains ou à la figure, fait remuer un drapeau, agite les petites feuilles. |
| 2 = Modéré..  | Fait flotter un drapeau, agite les feuilles et les petites branches des arbres.        |
| 3 = Frais.... | Agite les grosses branches des arbres.                                                 |
| 4 = Fort....  | Agite les plus grosses branches et les troncs de petit diamètre.                       |





Fig. 115. — Anémomètre du pic de Säntis (Appenzel-Suisse).

- 5 = Violent.. Secoue tous les arbres, brise les branches et les troncs de petite dimension.  
 6 = Ouragan. Renverse les cheminées, enlève les toits des maisons, déracine les arbres.

Cette notation correspond à peu près aux valeurs suivantes comme *vitesse* des vents :

Vent 0	de	0 <sup>m</sup> ,	à	0 <sup>m</sup> ,50	par seconde.
— 1	—	0	,50	à	4 mètres
— 2	—	4		à	7
— 3	—	7		à	11
— 4	—	11		à	17
— 5	—	17		à	28
— 6	—	20		à	un chiffre beaucoup plus considérable.

Le vent des hautes régions est souvent différent du vent qui dirige les girouettes, aussi a-t-on l'habitude d'en noter en même temps la vitesse et la direction ; pour le faire il suffit d'examiner les nuages qui traversent plus ou moins rapidement le ciel : on regarde d'où ils viennent et avec quelle vitesse ils passent.

**Vents constants.** — Le soleil, en chauffant fortement les régions équatoriales, produit les *vents alizés*. L'air de l'équateur s'élève et un courant d'air froid arrive des pôles pour le remplacer ; si la terre était immobile, les vents alizés auraient la direction N.-S. pour l'hémisphère nord et S.-N. pour l'hémisphère sud, mais comme la terre tourne de l'ouest vers l'est, les courants d'air sont déviés, l'alizé de l'hémisphère boréal prend une direction N.-E. et celui de l'hémisphère austral une direction S.-E.

Dans les environs de l'équateur, les deux alizés venus des pays tempérés se neutralisent, aussi les marins appellent-ils cette sorte de ceinture qui fait le tour de la terre la *zone des calmes*.

L'air échauffé de l'équateur ne s'élève pas indéfiniment,

à mesure qu'il arrive dans les plus hautes régions de l'atmosphère il se refroidit et se déverse vers les pôles, formant des courants supérieurs aux alizés, qu'on nomme *contre-alizés*. Les contre-alizés sont d'abord très élevés, mais peu à peu ils se rapprochent de la surface de la terre et deviennent sensibles; ils soufflent précisément en sens contraire des alizés et rendent de grands services à la navigation. Les Anglais ont donné le nom de *vents de commerce* aux vents constants dont nous venons de parler, c'est-à-dire aux alizés et aux contre-alizés.

**Vents périodiques.** — Les principaux vents périodiques sont les *brises* et les *moussons*. Les brises s'observent sur toutes les côtes; pendant le jour, la terre s'échauffant plus rapidement que la mer sous l'influence des rayons du soleil, l'air du continent s'élève et l'air de l'Océan vient le remplacer, il se produit une *brise de mer*. Pendant la nuit, au contraire, la mer se refroidissant moins vite que le continent, un courant d'air se forme de la terre vers l'Océan, c'est la *brise de terre*. Les pêcheurs savent se servir de ces brises pour rentrer au port et pour en sortir.

Les moussons (1) se produisent de la même façon que les brises; ce sont des vents de saison remarquables surtout dans les Indes; ils soufflent six mois dans un sens, et six mois dans l'autre. La *mousson de printemps* commence au mois d'avril, au moment où le continent devient plus chaud que la mer, aussi est-ce d'abord un vent qui vient du large; mais, en octobre, survient la *mousson d'automne* qui souffle en sens inverse, c'est-à-dire du continent vers la mer, et qui dure tant que la température moyenne du sol décroît plus vite que celle de l'Océan. On sait que sur la mer des Indes

(1) D'un mot arabe qui signifie *saison*.

la mousson du printemps vient du S.-W. et celle d'automne du N.-E. Sur les côtes du Brésil il y a une mousson du printemps qui vient du N.-E. et une mousson d'automne

	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Octo.	Nov.
Nord	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐			☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐
NNE	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐			☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐
NE	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐		☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐
ENE	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐		☐☐☐☐ ☐☐☐☐		☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐
Est	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐			☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐
ESE				☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐		☐☐☐☐ ☐☐☐☐			☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐
SE			☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐
SSE					☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐
Sud					☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐
SSO					☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐
SO				☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐
OSO						☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐
Ouest					☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐
ONO					☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐
NO	☐☐☐☐ ☐☐☐☐					☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐
NNO	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐			☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐			☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐
Calmes					☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐	☐☐☐☐ ☐☐☐☐

Fig. 116. — Tableau de la direction des vents dans la mer des Indes.

qui vient du S.-W. Dans la France méridionale, le soleil échauffant fortement en été les plaines basses de la Crau, de la Camargue et des bouches du Rhône, produit un appel



d'air vers ces régions. Un vent violent descend de l'Auvergne et du Cantal pour remplacer l'air chaud qui s'élève : c'est le *mistral* si connu de nos Provençaux.

Il sort de l'intérieur de l'Afrique des vents extraordinaires qui tous sont chauds et secs, on les nomme *harmattan* sur les côtes de Guinée, *simum* ou *simoun* en Arabie, *chamsin* en Égypte et *sirocco* en Syrie et en Italie.

L'harmattan souffle en décembre, janvier et février ; il est toujours chargé de fine poussière, sa température s'élève jusqu'à + 40 degrés, il dessèche tout sur son passage. Le simoun règne sur toute l'étendue du désert du Sahara, il ensable les caravanes, et sa température dépasse souvent + 45°. Réfugié dans une cabane au sud du désert du Sahara, le voyageur Mongo-Park ne put tenir ses mains contre les fentes par où pénétrait l'air embrasé. Quelquefois les côtes de la Sicile, de l'Espagne et de l'Italie se couvrent de sable transporté par le simoun au-dessus de l'Atlas et de la Méditerranée.

En Égypte, le chamsin dure 50 jours, et c'est ce qu'indique le mot dans la langue du pays. Il commence 25 jours avant l'équinoxe de printemps et finit 25 jours après. On éprouve des vents analogues jusque dans les steppes de la Russie méridionale (Saigey). Outre les vents constants et les vents périodiques, on distingue encore les *vents irréguliers* causés par des dépressions atmosphériques ou *bourrasques* ; nous aurons l'occasion de revenir un peu plus loin sur ce sujet.

#### QUESTIONNAIRE.

*Expliquez l'origine des vents.*

*Comment démontre-t-on que l'air chaud s'élève ?*

*Dans quelle direction s'effectue le mouvement de l'air dans une chambre chauffée ?*

*Comment trouve-t-on la direction des vents?*

*Décrivez la girouette.*

*Qu'est-ce que la rose des vents?*

*Comment désigne-t-on les vents dans les observatoires météorologiques?*

*Comment trouve-t-on la vitesse des vents?*

*Décrivez l'anémomètre.*

*Que signifient les termes, calme, faible, modéré, frais, fort, violent et ouragan, appliqués aux vents?*

*Donnez le tableau de la vitesse des vents.*

*Qu'entend-on par vents alizés?*

*Qu'est-ce que la zone des calmes?*

*Expliquez les contre-alizés.*

*Citez les principaux vents périodiques.*

*Qu'entend-on par brises et moussons?*

*Qu'est-ce que le mistral, l'harmattan, le simoun, le chamsin et le sirocco?*

#### **EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.**

Montrer que l'air chaud s'élève; diverses températures dans une pièce chauffée. — Expérience des bougies. — Notions historiques sur les montgolfières et les ballons. — Lectures et récits de voyages en ballon. — Insister sur la lecture des indications de la girouette. — Rose des vents. — Lectures et récits sur les vents constants et les vents périodiques. — Importance des alizés, des moussons et des brises. — Vents chauds de l'Afrique.

## Œuvre de Maury.

La connaissance des vents dominants dans chaque partie de la sphère terrestre aux diverses époques de l'année est extrêmement utile aux marins pour diminuer la longueur des traversées.

C'est au météorologiste Maury que l'on doit cette magnifique application de la science qui nous occupe. J'emprunte le récit qui suit à l'admirable travail d'un savant français, M. Marié-Davy, sur les *Mouvements de l'atmosphère* (1).

En 1831, doublant le cap Horn sur le *Falmouth*, dans le grade de simple aspirant de la marine américaine, Maury fut frappé par les curieux phénomènes barométriques de ces parages et en fit l'objet d'un intéressant mémoire.

Depuis cette époque, il ne discontinua pas ses travaux, se préparant à la grande entreprise qui devait le placer aux premiers rangs des météorologistes.

Au milieu de nombreux perfectionnements maritimes qui ont signalé le dix-neuvième siècle, une question du plus haut intérêt était restée singulièrement en retard, celle des routes. Les grands navigateurs des siècles précédents semblaient avoir tracé les seules voies à suivre, sans que l'on songeât à y introduire les modifications auxquelles eût pu conduire l'étude comparative des données de l'expérience.

Mais, lorsque l'application de la vapeur aux moyens de transport eut montré les avantages des échanges rapides entre les nations et mieux fait comprendre la valeur du temps, l'attention se porta naturellement vers la discussion des meilleures routes et vers les moyens de les fixer rationnellement. Un navire à vapeur négligeant les vents, peut tracer sur la sphère la ligne la plus directe et la plus courte entre son point de départ et son point d'arrivée ; mais pour le navire à voiles soumis aux courants aériens qui constituent ses seuls moyens de progression, la ligne la plus courte en étendue devient souvent la plus longue à parcourir.

Trouver la plus grande somme possible de vents favorables sans trop s'écarter de la route la plus directe est le moyen le plus sûr de donner à la traversée son minimum de durée. Pour y parvenir il fallait nécessairement connaître, pour tous les points de l'Océan situés dans les régions à parcourir, les proportions probables de vents favorables et contraires, afin d'éviter les seconds et de rechercher les premiers. Aucune expérience individuelle ne pouvait prétendre à une telle universalité.

De temps immémorial, les observations météorologiques recueillies par un navire pendant sa traversée et consignées sur son livre de bord se trouvaient dispersées après le retour. Maury eut l'idée, aussi simple que féconde, de coordonner ces observations éparses et par ce seul fait inutiles, de leur rendre ainsi la valeur qui leur appartient dans l'ensem-

(1) Masson, éditeur.

ble, et de conclure de là à une méthode rationnelle pour réduire chaque traversée à sa durée minimum.

Une première démarche faite en 1842 par Maury auprès du gouvernement des États-Unis, eut pour effet une circulaire adressée par le commodore Crane aux capitaines américains, afin d'obtenir d'eux la communication des documents nécessaires à la construction des cartes des vents et des courants marins. Ce premier appel resta sans réponse.

Loin de se décourager, Maury se mit à réunir les journaux, en nombre malheureusement trop restreint, de la marine militaire des États-Unis; et, pour éveiller l'attention publique par un résultat capable de faire sentir toute l'importance pratique des études nouvelles, il concentra tous ses efforts sur une seule traversée, celle des États-Unis à Rio-Janeiro.

Les données qu'il put réunir lui permirent de déterminer une route singulièrement plus courte et plus avantageuse que celle suivie jusqu'alors par la masse des navigateurs.

Le navire *Wright*, capitaine Jackson, de Baltimore, fut le premier à suivre les indications de Maury. Parti le 9 février 1848 de Baltimore, ce navire coupait la ligne équatoriale au bout de 24 jours, tandis que cette traversée en exigeait 41.

Plusieurs nations maritimes envoyèrent au congrès de Bruxelles en août 1853, sur l'invitation des États-Unis, des délégués qui arrêtèrent un plan uniforme d'observations de météorologie nautique : ainsi fut assise définitivement l'œuvre de Maury.

Les observations arrivèrent en foule, un service météorologique fut organisé pour les reporter sur des tableaux statistiques.

La figure 116 montre le tableau de la direction des vents dans la mer des Indes (latitudes de 5° à 10° nord, longitudes de 110° à 115° est, Greenwich).

Ce tableau est divisé en treize bandes verticales, dont douze sont consacrées aux douze mois de l'année. la treizième aux rhumbs de vent.

Il y a seize *rhumbs* principaux et une ligne pour les *calmes*.

Sans parler du mode de notation et de l'unité d'observation employés dans ce tableau, il est évident pour tout le monde que dans la mer des Indes la direction des vents varie avec les saisons : le vent du N.-E. y domine d'octobre en avril; de mai en septembre le vent le plus fréquent est au contraire celui de S.-O.

Maury avait ainsi partagé la surface des océans en carrés de 5° de côté et construit des tableaux pour chacun de ces carrés.

La première étude faite par Maury avait eu pour objet la route des États-Unis à l'Équateur, route d'autant plus importante qu'elle était commune à tous les navires se rendant des États-Unis dans l'hémisphère austral, que leur destination définitive fût le Pacifique, la mer des Indes ou l'Atlantique. De 41 jours, cette traversée avait été ramenée, comme nous l'avons dit plus haut, à 24, elle fut ensuite faite en 20 jours puis en 18. C'est un gain de 50 pour 100.

La traversée des États-Unis en Californie exigeait en moyenne plus de 180 jours; à partir du moment où Maury en fit l'objet de ses études, elle fut ramenée d'abord à 135 jours, puis ce résultat lui-même se perfec-



tionna si bien à son tour qu'aujourd'hui nombre de clippers sont arrivés à un chiffre de 100 jours, et même l'un d'eux, le *Flying-Fish*, venant de New-York, a mouillé en rade de San-Francisco le quatre-vingt-dix-neuvième jour.

Mais l'exemple le plus remarquable est fourni par la traversée d'Australie. D'Angleterre à Sydney, un navire guidé par les anciennes instructions ne mettait, naguère encore, pas moins de 125 jours. C'était la moyenne ordinaire des traversées. Le retour était d'une durée à peu près égale, en sorte que le voyage total était d'environ 250 jours.

Lorsque Maury passa en Angleterre, à l'occasion du congrès de Bruxelles, il promit aux marins et aux négociants anglais, pour prix de leur concours à son entreprise, de diminuer au moins d'un mois la traversée d'Australie et d'apporter une réduction encore plus considérable à la traversée de retour : ç'eût été tout simplement supprimer le quart de la distance qui sépare l'Angleterre de sa riche colonie.

Un peu plus tard, les notions sur cette route s'étant complétées, Maury signala hautement aux marins l'immense avantage qu'il y avait à faire du voyage d'Australie une véritable circumnavigation du globe, c'est-à-dire à doubler le cap de Bonne-Espérance en venant d'Europe, pour opérer ensuite son retour par le cap Horn.

L'ensemble de ces deux traversées, ce tour du monde disait-il, s'effectuait en 130 jours, et même moins, au lieu des 250 nécessaires auparavant.

La prédiction de Maury a été accomplie et même dépassée. L'économie a été encore de 50 pour 100.

Évaluons en argent cette économie de temps.

Le prix du fret pour la traversée d'Australie est d'environ 1 franc par tonneau (1000 kilogr.) et par jour. Admettons que le tonnage moyen des navires engagés sur cette ligne soit seulement de 500 tonneaux (il est en réalité de 700) et ne faisons entrer en ligne de compte qu'une réduction de 30 jours de transport afin de rester au-dessous de la réalité.

Il résultera de là que chaque navire aura réalisé dans son trajet une économie nette de 15,000 francs. Si nous estimons maintenant avec Maury à 1,800, sans distinction de pavillon, le nombre des navires se rendant annuellement des ports de l'Atlantique nord en Australie nous aurons à la fin de l'année pour ce commerce un bénéfice évident de 25 millions de francs.

Pour le seul commerce anglais dans les mers de l'Inde, l'économie annuelle serait de 8 à 10 millions, d'après l'évaluation du Dr Buist, dans un rapport lu à l'Association britannique.

Cette économie pour l'ensemble des marines et des diverses traversées dépasse 100 millions par année moyenne.

## CHAPITRE III

### L'EAU

---

#### I

#### Propriétés physiques et chimiques de l'eau, son rôle dans la nature.

**Divers états de l'eau.** — L'eau se trouve dans la nature sous trois états, tantôt à l'état de vapeur comme dans les *nuages*, tantôt à l'état liquide comme dans les *fleuves* et les *mers*, tantôt à l'état solide comme dans les *glaciers* polaires et au sommet des hautes montagnes où elle reste sous forme de neige. Sous ces trois états elle joue un très grand rôle à la surface du globe.

La glace fond à 0° du thermomètre centigrade, elle passe alors à l'état liquide, ensuite elle se transforme en vapeur à 100°, comme nous l'avons vu en parlant de la graduation du thermomètre. Le passage de l'eau solide à l'état liquide se nomme *fusion*, le passage de l'eau liquide à l'état de vapeur se nomme *vaporisation*.

L'eau, qui se vaporise rapidement à 100°, se transforme aussi en vapeur à des températures inférieures ; les linges mouillés se dessèchent à l'air, une soucoupe remplie d'eau se vide peu à peu si on l'expose au soleil ou dans un courant d'air ; la transformation lente de l'eau en vapeur se nomme *évaporation*.

**Rôle de l'eau en géologie.** — L'eau est l'agent principal

de tous les phénomènes géologiques ; se précipite-t-elle en torrent, elle arrache les rochers, elle les roule, les brise et les émiette ; si au contraire sa vitesse se modère, les corps entraînés se déposent et constituent des *sédiments*.

L'action mécanique de l'eau se réduit donc à deux faits fondamentaux : des phénomènes d'érosion quand elle est animée de grandes vitesses ; des phénomènes de dépôt, quand sa vitesse diminue ou devient nulle. En passant à la surface et dans les profondeurs du sol l'eau se charge de diverses substances qu'elle dissout, ce sont des sels qui lui communiquent des propriétés particulières, ou des gaz qui la font également rechercher pour les usages de la médecine, on la désigne alors sous le nom d'*eau minérale*. Certaines eaux s'échauffent en atteignant de grandes profondeurs et reviennent au niveau du sol avec une température quelquefois très élevée, on les nomme *eaux thermales*.

Parmi les eaux employées en médecine on distingue : 1° les eaux gazeuses (eau de Seltz, de Pougues), qui mousent quand on les agite ; 2° les eaux alcalines (eau de Vichy), qui ont une saveur nauséuse ; 3° les eaux sulfureuses (eau d'Enghien), qui ont une odeur rappelant celle des œufs pourris ; 4° les eaux ferrugineuses (eaux de Spa, de Passy, d'Orrezza), qui ont un goût d'encre ; 5° les eaux salines (Sedlitz, Püllna), qui ont une saveur salée.

Nous aurons l'occasion de revenir avec de nombreux détails sur le rôle géologique de l'eau dans la troisième partie de ce livre et nous verrons alors que les sels renfermés en dissolution dans l'eau se déposent pour former des couches géologiques très importantes : telle est l'origine du *sel gemme* et des *calcaires travertins*.

**Rôle de l'eau dans l'économie domestique.** — L'eau est

un aliment indispensable pour tous les êtres organisés. Les maraîchers savent que pour la culture des légumes, ils doivent répandre chaque année trois mètres cubes d'eau sur chaque mètre carré de terrain cultivé. (La pluie fournit annuellement environ 0<sup>m</sup>,60 sur ces trois mètres.)

L'abondance de l'eau assure le bien-être de l'homme, de la famille, de la cité, du pays. La consommation s'élève à mesure que le bien-être augmente et que les villes deviennent plus populeuses. Actuellement la consommation journalière d'eau est de 200 litres par habitant à Paris ; de 150 litres dans les villes comptant plus de 25,000 habitants ; de 100 litres dans les villes au-dessous de 25,000 habitants jusqu'à 5,000 habitants et de 50 litres dans les communes comptant moins de 5,000 habitants. Il est nécessaire que dans toutes les agglomérations plus ou moins nombreuses un service de distribution d'eau soit établi. L'eau n'y est en quantité suffisante que lorsqu'elle est en excès ; les habitants ne doivent pas être obligés d'en restreindre la consommation et d'en user avec parcimonie, mais au contraire il faut qu'ils puissent la prodiguer et même la gaspiller.

La circulation de l'eau dans les villes peut se comparer à la circulation du sang dans les animaux. L'eau d'alimentation est le réseau artériel qui va porter la force, la santé, la vie dans tous les points où elle parvient. Les égouts constituent la circulation veineuse. Ils enlèvent les matériaux devenus inutiles et les éloignent des endroits où leur présence serait une cause d'infection.

Mais, de même que chez l'homme et les animaux supérieurs le sang veineux n'est pas mêlé au sang artériel et se revivifie au contact de l'air dans le poumon, de même les eaux souillées des égouts ne peuvent être mêlées sans danger aux eaux pures des rivières.



On appelle *eaux potables* les eaux qui conviennent à l'alimentation de l'homme; elles dissolvent bien le savon, cuisent les légumes sans les durcir et n'incrustent pas les vases dans lesquels on les fait bouillir. Elles sont transparentes à la lumière et présentent une couleur bleue caractéristique; les eaux médiocres sont au contraire vertes.

Quand l'eau est chargée de corps en suspension, tels que le sable, l'argile ou toute autre matière, on la filtre, c'est-à-dire qu'on la fait passer à travers un corps poreux capable de se laisser traverser par l'eau et d'arrêter les corps étrangers. Quand elle renferme des corps en dissolution on peut l'en débarrasser par la distillation; on obtient au moyen de l'alambic l'*eau distillée* des pharmaciens et des chimistes, c'est de l'eau parfaitement pure (1).

**Composition de l'eau.** —

L'eau est un composé de deux gaz; elle est formée d'*hydrogène* et d'*oxygène*. Nous avons eu l'occasion de parler du gaz oxygène à propos de la composition de l'air, nous avons dit que c'était un corps comburant, c'est-à-dire ayant la propriété d'entretenir la combustion; l'hydrogène a des propriétés différentes, il éteint les corps qui brûlent, mais il



Fig. 117. — L'Hydrogène est un gaz combustible.

(1) A. Gérardin, *Chimie*. Delagrave édit.

s'enflamme lui-même en dégageant beaucoup de chaleur (fig. 417).

Le gaz hydrogène est très léger, plus léger encore que

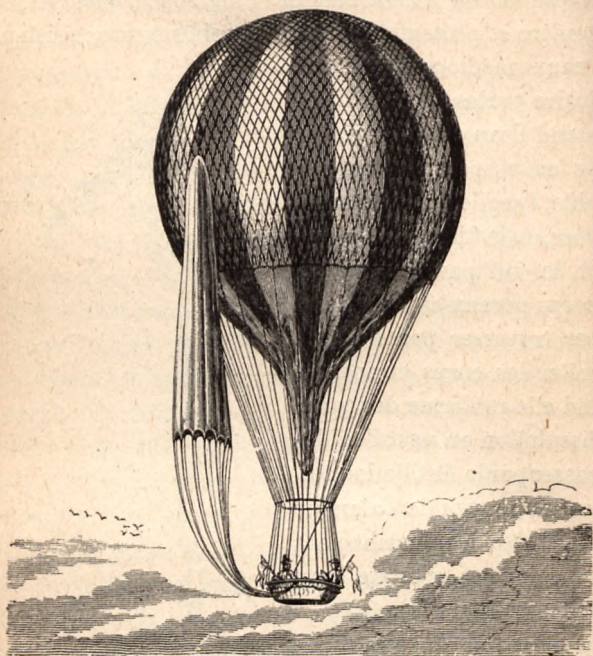


Fig. 418. — L'Hydrogène est un gaz très léger.

l'air chaud, aussi est-il employé pour gonfler les ballons (fig. 418).

Les chimistes décomposent l'eau au moyen de la pile électrique. La figure 419 représente l'appareil pendant son fonctionnement. En P se trouve la pile qui produit l'électricité, le courant électrique passe dans les fils *a* et *b*. Le verre C renferme l'eau qui doit être décomposée; les fils

sont recouverts chacun par une petite éprouvette A et B. Au bout d'un certain temps, on voit l'éprouvette A se remplir de gaz en volume double de celui qui se dégage dans l'éprouvette B.

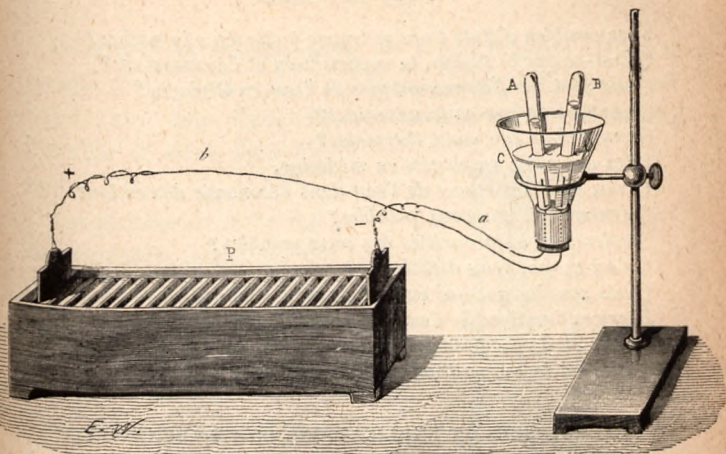


Fig. 119. — Appareil pour décomposer l'eau.

Le gaz A est de l'hydrogène, le gaz B est de l'oxygène.

Cette expérience démontre bien que l'eau est formée de deux volumes d'hydrogène et d'un volume d'oxygène.

L'appareil que nous venons de décrire est connu sous le nom de *voltamètre*.

Si on recueille les deux gaz contenus dans les éprouvettes du voltamètre et si, après les avoir mélangés, on les combine au moyen de l'étincelle électrique, on refait de l'eau. M. Dumas en 1842 a établi de nombreuses expériences pour trouver la composition de l'eau en poids, il a montré que 100 grammes d'eau renfermaient 11<sup>gr</sup>,12 d'hydrogène et 88<sup>gr</sup>,88 d'oxygène. Je ne veux pas insister sur les

expériences de ce célèbre chimiste qui vous seront expliquées plus tard dans le cours de chimie, retenez-en pour- tant les résultats.

#### QUESTIONNAIRE.

*Sous combien d'états l'eau se trouve-t-elle dans la nature?*

*Qu'est-ce que la fusion, la vaporisation et l'évaporation?*

*Quels sont les effets mécaniques de l'eau en Géologie?*

*Qu'entend-on par eaux minérales?*

*Qu'entend-on par eaux thermales?*

*Citez des eaux employées en médecine.*

*Parlez de l'importance de l'eau dans l'économie domestique.*

*Qu'entend-on par eaux potables?*

*Quelles sont les propriétés des eaux potables?*

*Qu'est-ce que l'eau distillée?*

*Quels sont les gaz qui entrent dans la composition de l'eau?*

*Décrivez l'analyse de l'eau par le voltamètre.*

*Quelle est la composition de l'eau en volume?*

*Quelle est la composition de l'eau en poids?*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Vaporisation de l'eau, sa congélation au moyen d'un mélange réfrigé- rant. L'eau renferme des gaz en dissolution, respiration des animaux munis de branchies, etc. — Montrer quelques eaux minérales. — Insister sur le rôle de l'eau dans l'économie domestique. — Distillation de l'eau, son analyse par le voltamètre, montrer de l'eau distillée.



### Les météores aqueux.

**Humidité de l'atmosphère.** — L'eau exposée à l'air se dissipe d'elle-même plus ou moins lentement, elle se répand alors dans l'atmosphère sous forme d'une vapeur invisible et rend l'air *humide*.

Les physiiciens et les météorologistes mesurent le degré d'humidité de l'air, au moyen d'instruments qu'ils nomment *hygromètres*.

Les hygromètres les plus simples sont ceux que vous avez vus chez les papetiers et chez les opticiens; ils représentent un moine dont le capuchon s'abaisse quand l'air est humide et se relève quand il est sec. Le mouvement du capuchon est obtenu à l'aide d'une corde-

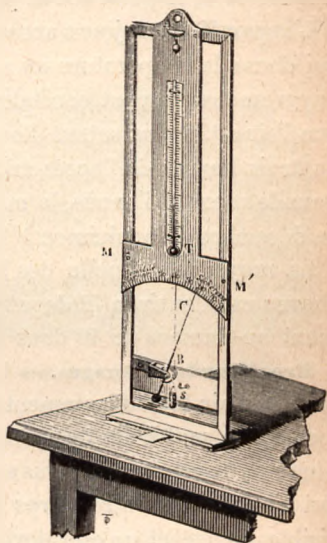


Fig. 120. — Hygromètre de Saussure.

lette en boyau (corde à violon); cette cordelette se raccourcit quand elle se dessèche et s'allonge à l'humidité, dans le premier cas elle tire sur le capuchon et le relève; dans le second, elle le laisse tomber sur la tête du moine.

Les cheveux s'allongent aussi dans l'air humide et se contractent dans l'air sec. H.-B. de Saussure a construit

un hygromètre à cheveu, dont les indications sont plus précises que celles de l'appareil précédent (fig. 120). Le cheveu est fixé en A au moyen d'une petite pince, il vient s'enrouler sur une poulie B et porte un poids léger  $s$  qui sert à le tendre. Les mouvements de contraction et d'allongement du cheveu sont suivis par la poulie sur laquelle est attachée l'aiguille C. Le cadre porte en MM' une graduation qui va de 0 à 100. Le point 0 marque la plus grande sécheresse et le point 100 la plus grande humidité (1).

L'appareil est toujours accompagné d'un thermomètre T, qui donne la température au moment de l'expérience. Avec l'hygromètre on peut constater que c'est au lever du soleil que l'air est le plus saturé d'humidité et que c'est vers deux ou trois heures de l'après-midi qu'il est le moins saturé. Dans le cours de l'année, le maximum d'humidité s'observe en décembre et le minimum à la fin du mois de juillet.

La moyenne annuelle des indications de l'hygromètre à cheveu est d'environ 72 degrés; il ne descend que très rarement au-dessous de 40 dans nos climats.

**Brouillards et nuages.** — Lorsque la vapeur d'eau invisible de l'air est suffisamment refroidie, elle se condense et forme une multitude de gouttelettes qui ôtent à l'atmosphère sa transparence. Vous savez tous que la vapeur d'eau qui s'exhale de notre corps par la respiration, n'est pas visible en été et qu'elle devient visible en hiver, si bien que l'haleine ressemble à une fumée blanche rapidement dissipée; de même, un abaissement de température amène la condensation de l'humidité atmosphérique et la rend visible. Les amas de vapeur condensée portent les noms de

(1) C'est par erreur que dans la figure le mot *sécheresse* est écrit au-dessus des chiffres les plus forts, il devrait se trouver au-dessus des degrés les plus faibles.

*brouillards* quand ils restent au voisinage du sol, et de *nuages* quand ils occupent des régions plus ou moins élevées de l'atmosphère. Les brouillards sont quelquefois si opaques qu'ils gênent la circulation dans les grandes villes et causent de graves sinistres en mer.

Ils sont fréquents dans le voisinage de la mer, des fleuves et des lacs ; les Iles Britanniques se trouvent souvent couvertes d'épais brouillards ; il en est de même du Nord de la France et des autres pays de l'Europe septentrionale. C'est le matin des jours de printemps ou d'automne que les



Fig. 121. — Nimbus.

brouillards sont le plus abondants dans les vallées et sur le flanc des montagnes.

Les nuages ont été classés d'après leurs formes en trois groupes, les *nimbus*, les *cumulus* et les *cirrus*.

Les *nimbus* rasant la surface du sol, ils sont lourds et noirs et annoncent l'orage (fig. 121). On peut les traverser pendant les ascensions de montagnes, et beaucoup de voyageurs, sur les sommets alpestres, ont pu jouir du spectacle grandiose d'un orage éclatant sous leurs pieds pendant qu'ils se trouvaient au milieu d'une atmosphère sereine.

Les *cumulus* sont de gros nuages ressemblant à des mon-

tagnes couvertes de neige, leurs contours sont arrondis et leurs couleurs quelquefois très vives (fig. 122). Ils glissent lentement dans l'air à une hauteur qui ne dépasse pas 3,000 mètres et se produisent surtout au printemps et à l'automne. Ils n'amènent pas le mauvais temps. Quelquefois les cumulus se disposent en bandes horizontales dans lesquelles le soleil produit de magnifiques jeux de lumière :

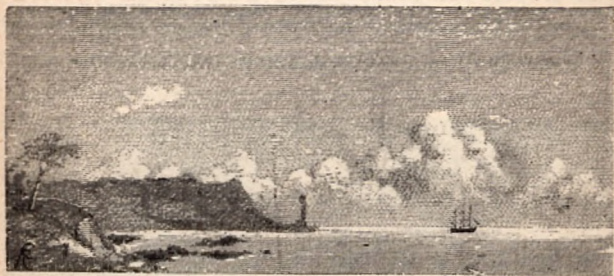


Fig. 122. — Cumulus.

ces bandes ont été nommées *stratus* ; les paysans disent que les *stratus* présagent le vent.

Les *cirrus* sont les nuages les plus élevés, ils apparaissent comme des filaments blancs ou des flocons légers au milieu du ciel bleu. Les aéronautes ont traversé ces nuages composés de fines aiguilles de glace. Leur présence n'est pas rare dans les pays chauds et pendant les belles journées d'été de nos climats (fig. 123). Ils ne fondent pas sous l'influence des rayons solaires, parce qu'ils flottent dans l'air à 9 ou 10 kilomètres de hauteur, c'est-à-dire au-dessus de la région des neiges éternelles, dans des couches atmosphériques où l'eau passe facilement à l'état solide.

**Rosée.** — L'humidité de l'air se condense souvent le matin et forme des gouttelettes d'eau qui couvrent les



plantes et les objets placés à la surface du sol : ces gouttelettes ont reçu le nom de *rosée*.

Le phénomène de condensation se produit parce que, sous l'influence du rayonnement nocturne, les corps placés à terre perdent très vite leur chaleur ; comme ils se refroidissent, ils amènent le passage de la vapeur atmosphérique à l'état liquide. Vous savez tous que pendant l'hiver, les

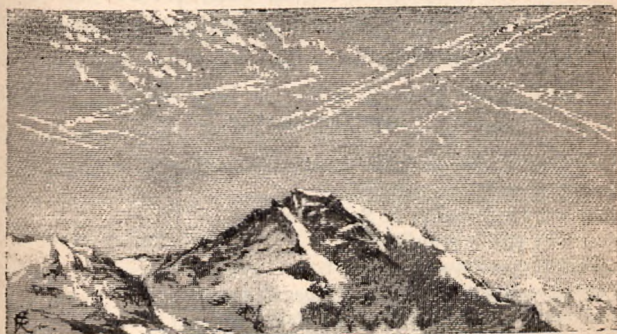


Fig. 123. — Cirrus.

vitres des fenêtres se couvrent de buée et finissent même par laisser couler des gouttes d'eau dans l'intérieur des appartements. Ces vitres, refroidies par l'air extérieur, condensent l'humidité comme les plantes pendant le phénomène de la rosée.

Pour empêcher les objets placés à la surface du sol de rayonner et par conséquent de perdre leur chaleur, il suffit de les couvrir de paille ou de les mettre à l'abri derrière un mur : dans ce cas il n'y a pas de rosée.

Lorsque les nuits sont nuageuses et que le ciel est couvert, la rosée ne se produit pas, il en est de même lorsque le vent souffle fortement ; au contraire, les nuits

claires et les vents faibles favorisent le dépôt de rosée.

Quelquefois le refroidissement des objets placés à découvert sur le sol est si intense que la rosée se gèle, il y a formation de petits cristaux de glace qui couvrent la terre d'un tapis éclatant de blancheur, c'est la *gelée blanche* si redoutée des jardiniers et des maraîchers. Le *givre* ou *frimas* plus épais que la gelée blanche est produit par le gel des brouillards de l'hiver, il brise les branches d'arbres et fait rompre les fils télégraphiques quand il atteint des proportions trop considérables.

### QUESTIONNAIRE.

*Qu'entend-on par humidité atmosphérique ?*

*Qu'est-ce qu'un hygromètre ?*

*Décrivez l'hygromètre de Saussure.*

*Qu'est-ce que le brouillard ?*

*Qu'est-ce que les nuages ?*

*Quelles sont les principales formes de nuages ?*

*Qu'entend-on par nimbus, cumulus, stratus et cirrus ?*

*Qu'est-ce que la rosée ?*

*Qu'est-ce que la gelée blanche ?*

*Qu'est-ce que le givre ou frimas ?*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Démontrer la présence de l'humidité dans l'air avec la chaux vive qui s'éteint en peu de jours, ou avec quelque autre substance hygroscopique. Influence de l'humidité sur les tambours et les instruments à cordes. — Montrer des hygromètres. — Observation des nuages. — Insister sur le rayonnement nocturne et sur la formation de la rosée. — Hygromètres à condensation de Daniell, de Regnault et d'Alluard.

### III

#### Les météores aqueux (suite).

**La pluie.** — Si la température des régions nuageuses s'abaisse, les nuées se résolvent en *pluie*. La pluie est formée par des gouttes d'eau qui, condensées dans les nuages, arrivent jusqu'à terre.

On donne le nom de *bruine* à une pluie extrêmement fine sortant d'un brouillard voisin de terre et tout à fait semblable à celle que l'on reçoit dans les montagnes lorsqu'un nuage est peu éloigné.

Une *averse* est au contraire une pluie très abondante généralement subite et de courte durée.

Dans les observatoires météorologiques on mesure la quantité d'eau qui tombe chaque jour, chaque mois et chaque année à la surface du sol.

L'instrument dont on se sert pour cette étude est le *pluviomètre*.

Le plus simple de tous les pluviomètres se compose d'une bouteille B sur laquelle est ajusté un entonnoir A (fig. 124). L'eau qui tombe dans l'entonnoir se rend dans la bouteille et peut être pesée tous les jours à midi ou après chaque pluie.

Comme on connaît la surface représentée par la partie supérieure de l'entonnoir, on arrive facilement à calculer l'épaisseur d'eau que la pluie aurait produite sur le sol considéré comme imperméable.

Le pluviomètre doit être placé dans un lieu bien découvert, loin des murs ou bâtiments élevés, sans être néanmoins trop exposé au vent, et à une hauteur d'environ 1<sup>m</sup>,50 au-

dessus du sol. Quand on l'établit dans d'autres conditions, on recueille souvent une quantité d'eau différente. Il est expressément recommandé dans les *Instructions météorologiques* du ministère de l'instruction publique de ne jamais établir le pluviomètre sur un toit.

En hiver, lorsque c'est de la neige qui tombe au lieu de

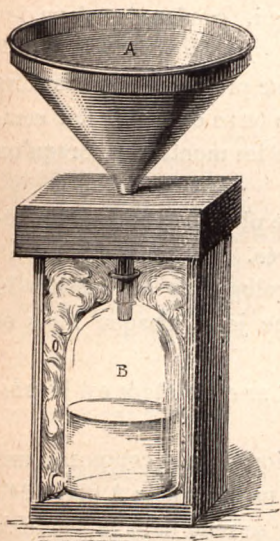


Fig. 124. — Pluviomètre ordinaire.

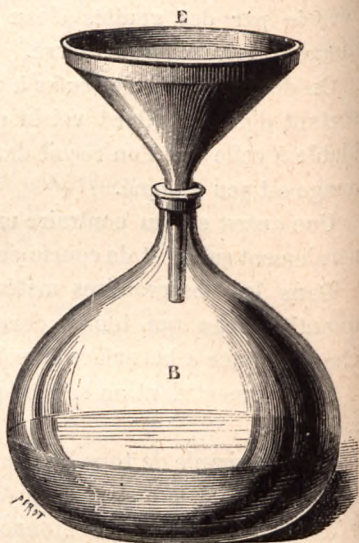


Fig. 125. — Pluviomètre totaliseur.

pluie, le pluviomètre est encore employé, mais on a soin de placer l'appareil dans une boîte où se trouvent deux petites veilleuses pour faire fondre la neige aussitôt après sa chute, éviter qu'elle soit entraînée par le vent et empêcher le pluviomètre de se fendre par la gelée.

En été, pour éviter l'évaporation de l'eau dans le pluviomètre, on place la bouteille B dans une caisse de bois rem-



plie de ouate et l'on ferme cette caisse avec un couvercle qui sert de support à l'entonnoir.

Comme contrôle des observations journalières, la bouteille du pluviomètre est vidée chaque jour dans un totaliseur (fig. 125); à la fin du mois on pèse l'eau du totaliseur, et le total mensuel doit être égal à la somme des totaux journaliers.

D'autres pluviomètres ont été construits qui suppriment la pesée

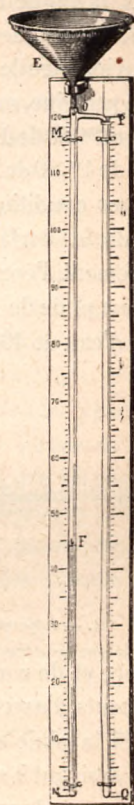
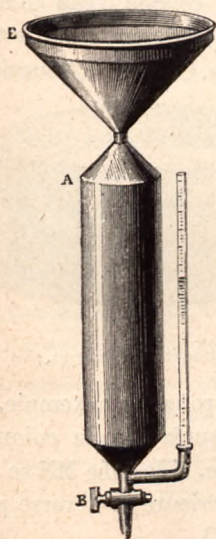


Fig. 126. — Pluviomètre de Babinet.

Fig. 127. — Pluviomètre de Symons.

de l'eau et la jaugent immédiatement en volume. Tels sont le pluviomètre à tube de Babinet (fig. 126) et le pluviomètre multiplicateur de Symons (fig. 127).

Le premier se compose d'un entonnoir E et d'un réservoir A ; le niveau de l'eau est mesuré au moyen d'un tube communiquant avec le réservoir et portant une graduation métrique. A la fin de chaque expérience on peut faire sortir l'eau par un robinet R placé au bas de l'appareil.

Le pluviomètre de Symons est plus sensible, il est fondé sur le même principe, mais son entonnoir E, dont l'ouverture supérieure a  $0^m,20$  de diamètre, est fixé à la partie supérieure d'un tube MN de  $1^m,20$  de hauteur et de  $0^m,01$  de diamètre intérieur.

Dans ces conditions, le tube a une section qui représente  $1/400^e$  de la surface de l'entonnoir, il multipliera donc régulièrement l'épaisseur de la couche d'eau tombée. S'il tombe une pluie de 1 millimètre, on aura dans le tube une hauteur d'eau de 400 millimètres. Un petit flotteur de liège F

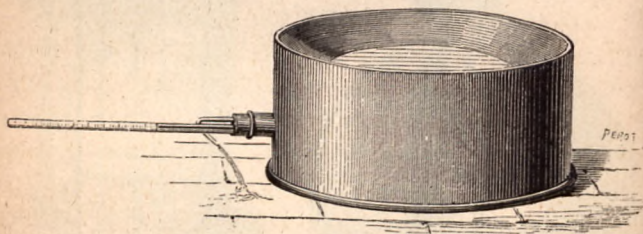


Fig. 128. — Appareil pour prendre la température des eaux pluviales.

très mince et de couleur visible, rouge par exemple, suit les mouvements d'ascension de la surface de la colonne intérieure. Si la pluie est abondante, si le tube MN se remplit, l'eau en arrivant à sa partie supérieure se déverse par l'orifice O dans un deuxième tube PQ.

L'appareil est fixé sur une planchette graduée : son entonnoir peut être placé dehors et rattaché au tube MN par l'intermédiaire d'un tuyau de caoutchouc, tandis que la planchette est fixée au dedans, sous les yeux de l'observateur,

qui voit monter l'eau pluviale, tout en se trouvant à l'abri.

Pendant les ondées on a l'habitude de prendre la température des eaux pluviales ; on dispose à cet effet un thermomètre dans un réservoir horizontal, qui reçoit l'eau ; cette eau s'échappe peu à peu au moyen d'un déversoir (fig. 128), il est facile d'en déterminer la température par une simple inspection du thermomètre ; pour éviter les pertes de chaleur on dispose l'appareil dans un coffre en bois rempli d'ouate (1).

**Répartition des pluies à la surface du globe.** — La quantité de pluie qui tombe en une contrée dépend surtout de sa distance à la mer. Il pleut beaucoup plus sur les côtes que dans l'intérieur des terres. Sur les côtes de France par exemple, la quantité de pluie est de 68 centimètres par an, c'est-à-dire que si toute l'eau tombée sur les côtes de France, restait à la surface du sol sans se dessécher et sans être absorbée par la terre elle ferait à la fin de l'année une nappe de 68 centimètres de hauteur. Cette nappe n'aurait que 56 centimètres dans l'intérieur de notre pays et 54 centimètres en Allemagne.

En général, la quantité de pluie est aussi plus grande durant les saisons chaudes que durant les saisons froides. Ainsi à Paris il tombe en moyenne :

MOIS.	PLUIE TOMBÉE.	MOIS.	PLUIE TOMBÉE.
En janvier....	38 millim.	En juillet....	59 millim.
En février....	41 —	En août.....	51 —
En mars.....	28 —	En septembre.	51 —
En avril.....	53 —	En octobre ...	37 —
En mai.....	60 —	En novembre.	47 —
En juin.....	61 —	En décembre.	38 —

(1) Gaston Tissandier. — *Nature*, 1875. Masson, édit.

Ce qui donne : pour l'hiver un total de 107 millimètres ; pour le printemps 174 millimètres ; pour l'été 161 millimètres et pour l'automne 122 millimètres ; le total de l'année étant sensiblement de 564 millimètres, comme l'ont démontré les longues séries d'observations recueillies à l'Observatoire de Paris depuis l'année 1688. — Du reste, il n'y a rien de bien fixe dans ces déductions, et le total annuel peut s'éloigner beaucoup de la moyenne que nous venons de donner : c'est ce que vous pourrez vérifier sur le tableau suivant où sont indiquées les observations faites dans l'intérieur de Paris, à l'Observatoire de Montsouris, de 1872 à 1882 (1).

La dernière ligne donne les moyennes des dix années.

*Pluies recueillies à l'Observatoire de Montsouris.*

ANNÉES MÉTÉOROLOGIQUES.	SAISON FROIDE.	SAISON CHAUDE.	TOTAL ANNUEL.
	millimètres.	millimètres.	millimètres.
1872-73	416	363	779
1873-74	160	243	403
1874-75	260	305	565
1875-76	304	271	575
1876-77	271	297	568
1877-78	214	374	588
1878-79	358	317	675
1879-80	137	257	394
1880 81	330	279	609
1881-82	155	292	447
1873-82	260	300	560

La pluie dans une même région varie avec les hauteurs. En

(1) *Annuaire de l'Observatoire de Montsouris* pour l'année 1883.



général, il tombe beaucoup plus d'eau sur les montagnes que dans les plaines circonvoisines, ainsi la quantité d'eau qui tombe à l'hospice du Saint-Bernard est précisément double de celle qui tombe à Genève. Enfin la nature des vents exerce une grande influence sur le régime des pluies.

On peut admettre pour chaque contrée des *vents pluvieux* et des *vents secs*. Les vents qui amènent la pluie sont ceux qui viennent des contrées chaudes et qui se sont chargés d'humidité en passant sur l'Océan.

De nombreuses observations ont démontré que la quantité de pluie décroît le plus souvent à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur pour se rapprocher des pôles. Ce fait n'est pas étonnant, car il est évident que l'abondance des pluies doit être d'autant plus grande que l'air renferme plus de vapeur d'eau, c'est-à-dire que la région est plus chaude.

Voici un tableau emprunté à la *Petite Physique du globe* de Saigey, qui montre cette décroissance. A la latitude 0°, c'est-à-dire sous l'équateur, il tombe annuellement 300 centimètres d'eau, et dans les régions polaires seulement 25 centimètres, la neige étant considérée comme pluie.

LATITUDE.	PLUIE ANNUELLE.	LATITUDE.	PLUIE ANNUELLE.
0°	300 centimètres.	50°	71 centimètres.
10	285 —	60	54 —
20	241 —	70	41 —
30	132 —	80	32 —
40	90 —	90	25 —

Ce tableau souffre de nombreuses exceptions : c'est ainsi que dans le désert du Sahara, dans la plus grande partie

de l'Égypte et dans la vallée qui s'étend au sud de Lima, il ne tombe presque jamais de pluie, tandis que certaines parties septentrionales de l'Europe reçoivent plus d'eau que n'en indique le tableau général que nous venons de donner.

### QUESTIONNAIRE.

*Qu'est-ce que la pluie ?*

*Qu'entend-on par bruine et averse ?*

*Qu'est-ce que le pluviomètre ?*

*Décrivez le pluviomètre ordinaire.*

*Décrivez les pluviomètres de Babinet et de Symons.*

*Dites ce que vous savez sur la répartition des pluies à la surface du globe.*

*Quelle est la moyenne pluviométrique pour les côtes et le centre de la France ?*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Condensation de la vapeur d'eau. — La fumée blanche des locomotives est un nuage qui se résout rapidement en pluie pendant l'hiver. — Montrer un pluviomètre ou en fabriquer un avec un entonnoir et une bouteille. — Insister sur la distribution des pluies à la surface du globe ; saison des pluies dans les pays chauds.

## Les météores aqueux (fin).

**Le verglas.** — Quand la température du sol se trouve être inférieure à  $0^{\circ}$ , s'il vient à tomber une pluie peu abondante, cette pluie gèle à la surface de la terre et forme une couche de glace unie que l'on nomme *verglas*. Le verglas gêne beaucoup la circulation des piétons et des voitures, il se dissipe lorsque la pluie devient plus abondante parce que l'eau réchauffe le sol et fond la glace qui le recouvre.

**La neige.** — La *neige* est produite par la réunion de petits cristaux de glace groupés en étoiles à six branches (fig. 129); elle tombe en légers flocons pendant les mois d'hiver et sur les lieux élevés, c'est elle qui couvre le sommet des montagnes et donne naissance à ces amas qu'on nomme *glaciers*.

La chute de la neige est très lente à cause de la grande surface que présentent les flocons; parfois pourtant elle se dépose en petits grains arrondis, dans ce cas on l'appelle *grésil* et sa chute est plus rapide.

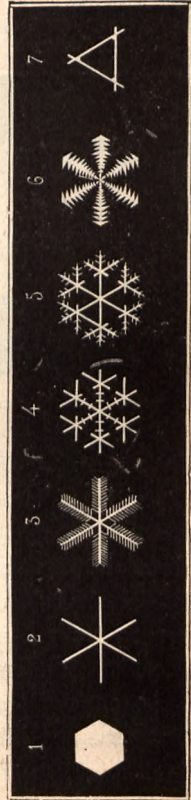


Fig. 129. — Cristaux de glace composant les flocons de neige.

Le verglas, dont nous parlions tout à l'heure, est toujours

un fléau pour les forêts parce qu'il recouvre les branches des arbres et les brise, mais la neige n'est pas redoutée des agriculteurs. Elle s'étend sur le sol comme un édredon et l'empêche de se refroidir. Sous la neige, de charmantes petites plantes fleurissent, les herbes respirent et conservent leur chaleur.

**La grêle.** — Le verglas, la neige et le grésil ne se produisent qu'en hiver ou dans les contrées septentrionales, il n'en est pas de même de la *grêle* qui tombe le plus souvent en été et dans les régions chaudes.

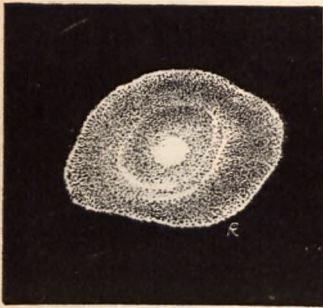


Fig. 130. — Coupe d'un grêlon.

Le phénomène de la grêle est intimement lié aux orages, il est toujours accompagné d'éclairs et de tonnerre.

Les grêlons sont des masses de glace arrondies dont le volume peut dépasser la grosseur du poing. Ils se forment à de grandes hauteurs dans l'atmosphère au sein des nuages chargés d'électricité.

Lorsqu'on coupe un grêlon en travers on voit qu'il est composé de plusieurs couches de glace transparentes (fig. 130) disposées autour d'un noyau blanc et opaque.

La grêle ruine les agriculteurs, elle fauche les blés, brise les jeunes plantes, abat les fruits et détruit en quelques minutes les plus belles récoltes. Il y a des compagnies d'assurance contre la grêle comme il y en a contre l'incendie, car ce fléau est aussi redoutable que le feu.

Heureusement la grêle n'est jamais que locale et ne pro-



duit ses ravages que sur des portions de territoire relativement petites. En juillet 1884 elle a causé de nombreuses ruines, dans le département de la Somme, où elle est tombée sur un espace mesurant trois lieues de largeur et une douzaine de lieues de longueur.

**La glace.** — Lorsque la température s'abaisse au-dessous de 0° l'eau passe à l'état solide et devient de la *glace*. Ce phénomène ne se produit pas seulement dans l'atmosphère comme nous venons de le voir en étudiant la neige, le grésil et la grêle, il se produit encore sur les lacs, les rivières et les fleuves, et même sur la mer dans les régions voisines des pôles.

L'eau qui *gèle* augmente de volume, c'est ainsi que des bombes placées dans un mélange réfrigérant après avoir été remplies d'eau font explosion au moment de la congélation du liquide. La figure 131 représente l'effet produit.

L'augmentation de volume de l'eau pendant sa congélation brise les pierres poreuses et celles qui présentent des cavités où l'eau a pu s'accumuler. De là cette locution populaire : *il gèle à pierres fendre*. Les architectes ne se servent jamais de pareilles pierres qu'ils nomment *pierres gélives*.

Puisque l'eau qui gèle augmente de volume, il est évident que sa densité diminue. Un cube de 10 centimètres de glace ne pèse plus autant qu'un cube de 10 centimètres d'eau. c'est-à-dire qu'il ne pèse plus un kilogramme.

La glace étant plus légère que l'eau flotte à la surface des fleuves (fig. 132). Les Parisiens ont souvent vu la Seine *charrier* des glaçons qui brisent les barques et donnent de formidables chocs aux piles des ponts. Quelquefois les glaçons se rassemblent, ils barrent le courant et forment une énorme muraille que l'on appelle une *em-*

*bâcle*. Dans ce cas, des ingénieurs font sauter la glace avec

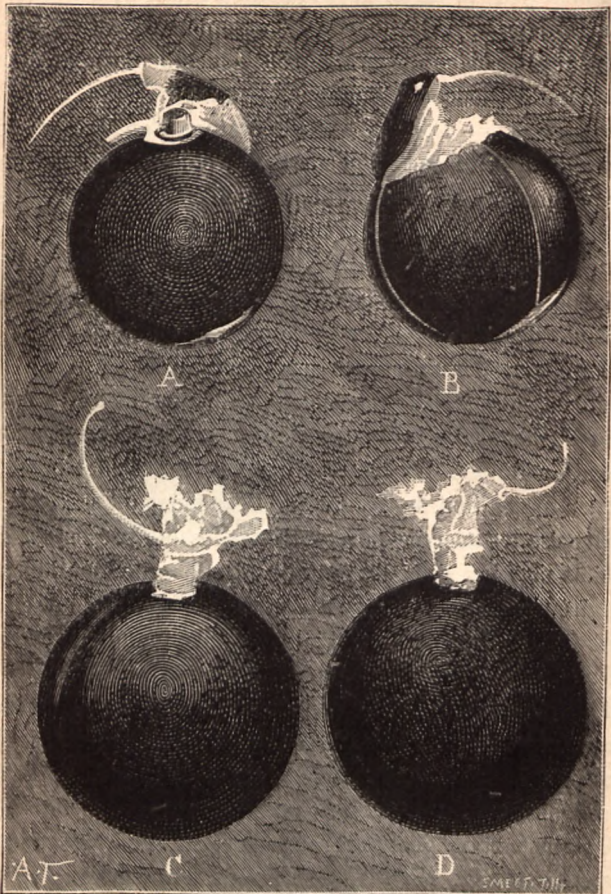


Fig. 131. — Bombe brisée par la congélation de l'eau.

la dynamite pour permettre à l'eau de reprendre son cours et éviter l'inondation que causerait la dérivation du fleuve.

Des fragments de glace pressés les uns contre les autres se soudent entre eux, ce qui rend les embâcles d'autant plus difficiles à détruire.



Fig. 132. — La glace flotte à la surface des fleuves.

L'expérience suivante montre bien la propriété qu'ont les glaçons de se ressouder lorsqu'ils ont été séparés les uns

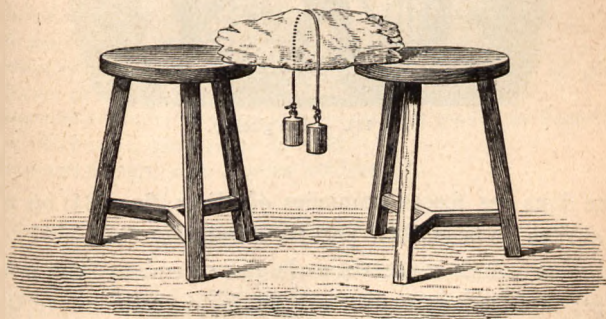


Fig. 133. — Phénomène du regel.

des autres (fig. 133). On prend un bloc de glace que l'on soutient par ses deux extrémités, et on le fait couper par



une cordelette munie de deux poids. La cordelette traverse le bloc de glace, les poids tombent à terre, et les deux morceaux de glace ressoudés restent dans leur position primitive.

Industriellement, la glace a de nombreux usages, elle sert surtout à fournir des boissons fraîches en été. On la con-



Fig. 134. — Une glacière.

serve dans des fosses nommées *glacières* (fig. 134) où elle est abritée de la chaleur par des garnitures de bois.

Si vous voulez conserver de la glace pendant l'été, enveloppez-la dans une couverture de laine, cette couverture l'empêchera de recevoir la chaleur de l'atmosphère et jouera le rôle des garnitures de bois de la glacière.

On peut faire de la glace artificielle en abaissant la température de l'eau au moyen de mélanges réfrigérants,



ou simplement par l'évaporation de liquides très volatils.

Les physiiciens ont démontré que *tout corps liquide ne peut passer à l'état gazeux sans absorber de la chaleur*. Vous savez tous qu'une goutte d'éther versée sur la main provoque une sensation de froid, c'est parce que pour se vaporiser elle emprunte de la chaleur à notre corps qu'elle touche.

L'acide sulfureux se conduit comme l'éther ; en se vaporisant il emprunte la chaleur des objets qui l'entourent. Il y a de grandes usines dans lesquelles on fabrique de la glace au moyen de l'acide sulfureux. La méthode de fabrication de la glace par les mélanges réfrigérants est celle qui est le plus souvent employée dans les familles. Un seau de bois renferme un mélange de trois parties de sulfate de soude avec deux parties d'acide chlorhydrique ; on y plonge un récipient qui contient de l'eau ; au bout de quelques minutes, cette eau est transformée en glace.

#### QUESTIONNAIRE.

*Qu'est-ce que le verglas ? Qu'est-ce que la neige ?*

*Qu'est-ce que le grésil ? Qu'est-ce que la grêle ?*

*Comment démontre-t-on que l'eau qui se transforme en glace augmente de volume ?*

*Comment démontre-t-on que la glace est plus légère que l'eau ?*

*Qu'est-ce que le phénomène du regel ?*

*Comment fabrique-t-on la glace artificielle ?*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Lectures et récits sur les pays septentrionaux. La neige en Sibérie, les traîneaux, etc. Hutte de neige des Esquimaux. La neige empêche le sol de se refroidir. Théorie des vêtements. Conservation de la glace dans une couverture de laine. Froid produit par l'évaporation, théorie des alcarazas. Lectures et récits sur les embâcles de la Saône et de la Loire dans ces dernières années.

Expérience des mélanges réfrigérants et de l'évaporation de l'éther.

## CHAPITRE IV

### PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES ET LUMINEUX.

---

#### L'électricité atmosphérique.

Il y a toujours de l'électricité dans l'atmosphère ; c'est Franklin qui a démontré le premier que la foudre était due à des décharges semblables à celles des machines électriques.

En France, le physicien Dalibard chercha, vers l'année 1752, à mettre en évidence l'électricité des nuages ; il fit élever dans un jardin de Marly une longue tige de fer fixée sur un piédestal de verre, cette tige mesurait 40 pieds de haut et se terminait en pointe. En approchant un fil de cuivre de la partie inférieure de son appareil, Dalibard en tirait de grosses étincelles lorsque passaient des nuages orageux.

A la même époque Franklin lançait un cerf-volant dans la plaine de Philadelphie pour démontrer l'existence de l'électricité dans les nuages. L'année suivante, de Romas, magistrat de la petite ville de Nérac, fit encore usage d'un cerf-volant, mais il eut soin d'ajouter un fil de cuivre à la corde de chanvre dans toute sa longueur ; l'extrémité inférieure de ce fil aboutissait à un cylindre métallique supporté par des cordons de soie. A l'approche de nuages orageux on présenta à ce cylindre un autre cylindre métallique que l'on tenait par un long tube de verre, et qui était mis en commu-

nication avec le sol. Des étincelles éclatèrent entre les deux cylindres ; au plus fort de l'orage elles prirent la forme de lames de feu, de dix pieds de long, produisant un bruit qui s'entendait à une distance considérable. Des débris de paille, qui se trouvaient sur le sol, s'élançaient vers la corde avec un crépitement continu. Cette expérience se termina par un coup de tonnerre formidable : la foudre était tombée à une petite distance. On comprend tout le danger que présentent ces expériences. Le 6 août 1753, Richmann, membre de l'académie de Saint-Petersbourg, en renouvelant des essais du même genre, s'approcha par mégarde du conducteur électrisé : la décharge l'atteignit au front et la mort fut instantanée (1).

**Éclair et tonnerre.** — Il y a deux espèces d'électricités, l'une qu'on nomme positive et qu'on indique par le signe +, l'autre qu'on nomme négative et qu'on indique par le signe —.

Pour obtenir l'électricité positive il suffit de frotter une baguette de verre avec un morceau de drap. Pour obtenir l'électricité négative on fait la même opération en remplaçant la baguette de verre par un bâton de résine.

On voit alors que les corps sont électrisés parce qu'ils soulèvent des petits morceaux de papier.

Avec le verre et la résine il est facile de charger d'électricité des petites balles de sureau. On suspend une petite balle de moelle de sureau A (fig. 135) à une potence de verre C, au moyen d'un fil de soie E, et on approche le bâton de résine D : immédiatement le sureau est attiré, il vient toucher la résine et lui prend une partie de son électricité négative.

(1) Fernet, *Traité de physique élémentaire*. G. Masson, édit.

Si au lieu de se servir de résine on emploie une baguette de verre, on charge de même le petit appareil, mais avec de l'électricité positive.

Les physiiciens démontrent par des expériences très simples, que *les électricités du même nom se repoussent* et que *les électricités de nom contraire s'attirent* ; ou en d'autres termes, que deux corps chargés d'électricité négative cherchent à s'éloigner l'un de l'autre, tandis que deux

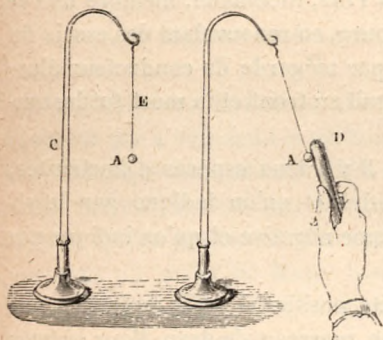


Fig. 135. — Électrisation d'une balle de sureau.

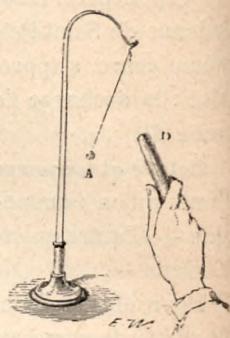


Fig. 136. — Balle de sureau repoussée.

corps chargés l'un d'électricité positive et l'autre d'électricité négative tendent à se rapprocher.

Supposons la balle de sureau A (fig. 136) chargée d'électricité négative, et approchons d'elle le bâton de résine D après l'avoir frotté avec de la laine ; les corps A et D en présence sont chargés d'électricité de même nom, ils se repoussent, on voit la petite balle fuir devant la résine ; si au contraire nous présentons au sureau négatif une baguette de verre électrisée positivement il se précipite sur elle.

Quand les corps sont fortement chargés d'électricités contraires ils combinent brusquement leurs électricités ; cette



combinaison s'effectue avec lumière et bruit produisant une *étincelle* plus ou moins forte (fig. 137).

Dans l'atmosphère, ce sont des phénomènes semblables

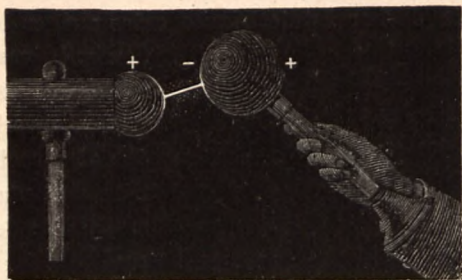


Fig. 137. — Étincelle électrique.

qui ont lieu pendant les orages ; deux nuages suffisamment rapprochés et chargés d'électricités combinent brusquement leurs électricités ; la grosse étincelle qui en résulte est l'*éclair*, et le bruit causé par les vibrations de l'air est le *tonnerre*.

Le plus souvent la *foudre* éclate entre deux nuages, mais dans certains cas, c'est entre le nuage et la terre que la décharge a lieu ; des maisons, des arbres, des animaux et des hommes peuvent être alors atteints par l'énorme étincelle élec-



Fig. 138. — Etincelle en zigzag.

trique. Je n'insiste pas sur les sinistres causés par la foudre, vous avez certainement entendu bien des récits sur ce sujet.

La lueur des éclairs est instantanée, le sillon lumineux

tracé par l'étincelle électrique des machines ou par la foudre n'est pas rectiligne, il est presque toujours en zigzag (fig. 138), tantôt simple (fig. 139), tantôt ramifié (fig. 140).

On nomme *éclairs de chaleur* des lueurs diffuses qui proviennent de décharges électriques entre nuages lointains.



Fig. 139. — Éclair simple.

Souvent ces lueurs sont produites aussi par la réverbération d'éclairs cachés derrière des nuages ou au-dessous de l'horizon.

Enfin on a désigné sous le nom de *foudre globulaire*, un phénomène qui jusqu'ici n'est que très incomplètement expliqué. Certains observateurs ont vu pendant les orages des globes lumineux rouler lentement sur le sol, traverser des chambres habitées et

disparaître en éclatant ou même en s'éteignant sans bruit. Pour beaucoup de physiciens, la foudre globulaire est une simple illusion d'optique.

Le bruit du tonnerre ne nous arrive jamais en même temps que la lumière de l'éclair, cela tient à ce que le son ne se propage pas aussi vite que la lumière. Le son fait 333 mètres par seconde, tandis que la lumière fait plus

de 75,000 lieues dans le même temps. Il est facile de comprendre que si la foudre éclate près de nous, l'éclair et le tonnerre se produiront presque au même instant, tandis que si la décharge a lieu à 1 kilomètre, il y aura déjà un intervalle de trois secondes entre la lumière et le bruit. Quand vous voudrez savoir à quelle distance la foudre éclate, vous n'aurez donc qu'à compter les secondes entre l'éclair

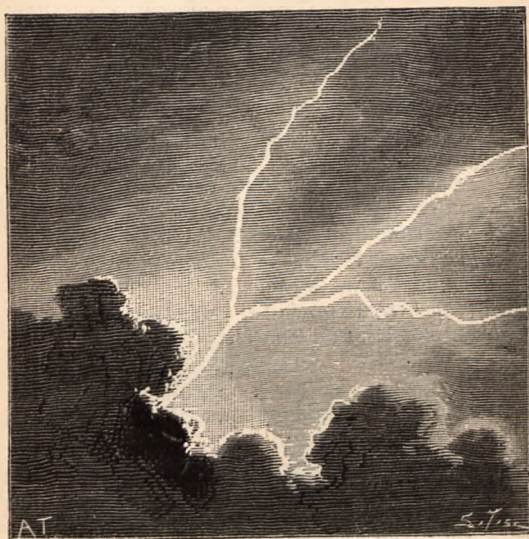


Fig. 140. — Éclair ramifié.

et le tonnerre en vous rappelant que trois secondes représentent 1 kilomètre : vous saurez en même temps quelle est la marche de l'orage, et vous pourrez dire s'il se rapproche ou s'il s'éloigne.

Le roulement du tonnerre est causé par la succession des bruits provenant d'une même décharge électrique. Les éclairs peuvent atteindre jusqu'à 12 et 15 kilomètres de

longueur, ils traversent souvent plusieurs nuages placés à la suite les uns des autres. Il y a pendant l'éclair instantané une série de détonations qui se produisent à des points inégalement éloignés de l'observateur. Chaque bruit arrive à son tour à l'oreille; de là le phénomène du roulement. Le roulement du tonnerre est encore augmenté par les échos entre nuages et à la surface de la terre.

### QUESTIONNAIRE.

*Comment a-t-on démontré l'existence de l'électricité atmosphérique? Décrivez les expériences de Franklin, de Dalibard et de Romas.*

*Dites ce que savez sur les deux espèces d'électricités.*

*Parlez des phénomènes d'attraction et de répulsion causés par les électricités positive et négative.*

*Qu'est-ce que l'étincelle électrique?*

*Qu'est-ce que l'éclair? Qu'est-ce que le tonnerre?*

*Qu'entend-on par éclairs de chaleur?*

*Pourquoi le tonnerre se produit-il après l'éclair?*

*Expliquez le roulement du tonnerre.*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Le professeur fera quelques expériences du cours de physique avec des appareils très simples. Bâtons de verre et de résine, pendule de sureau, électrophore, etc. Étincelles électriques dans l'obscurité. Insister spécialement sur les phénomènes d'attraction et de répulsion. — Corps conducteurs et isolants. — Lectures et récits sur les grands orages, les effets de la foudre. Préjugés populaires auxquels les orages ont donné naissance.



## II

### Le paratonnerre.

**L'électricité s'échappe par les pointes.** — Les corps électrisés ne conservent pas tous également bien l'électricité dont ils sont chargés; les physiciens ont observé que les corps pointus l'abandonnaient très facilement. Si on adapte une pointe à l'extrémité du conducteur d'une machine électrique, la machine laisse échapper son fluide positif et l'air placé dans le voisinage se trouvant chargé de la même électricité que la pointe recule avec assez de vitesse pour souffler une bougie (fig. 141).

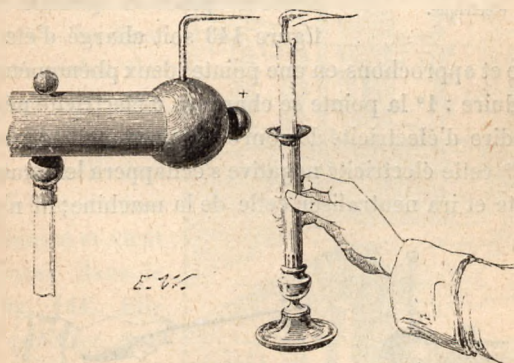


Fig. 141. — L'électricité s'échappe par les pointes.

Une autre expérience peut servir à démontrer que l'électricité s'échappe par les pointes; c'est celle du tourniquet électrique. L'appareil (fig. 142) se compose d'un petit tourniquet à tiges pointues et recourbées communiquant avec le conducteur d'une machine électrique au moyen de

la chaîne CA. Ce tourniquet mobile sur le pivot C prend un mouvement de rotation dans le sens indiqué par les flèches aussitôt qu'on le charge d'électricité; il marche à reculons parce que les pointes sont repoussées comme l'air dans l'expérience précédente.

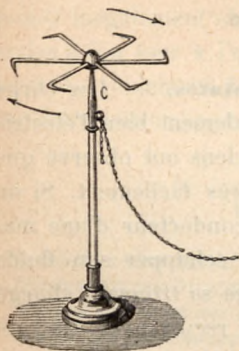


Fig. 142. — Le tourniquet électrique.

Nous pouvons dire d'une façon générale que les *pointes* sont des robinets ouverts par lesquels l'électricité s'écoule des objets électrisés.

Avec une pointe on peut éviter l'étincelle d'une machine électrique (fig. 143). Supposons que le conducteur placé à gauche de la figure 143 soit chargé d'électricité positive et approchons-en une pointe; deux phénomènes vont se produire : 1° la pointe se chargera d'électricité négative, c'est-à-dire d'électricité de nom contraire à celle du conducteur; 2° cette électricité négative s'échappera lentement par la pointe et ira neutraliser celle de la machine; il n'y aura

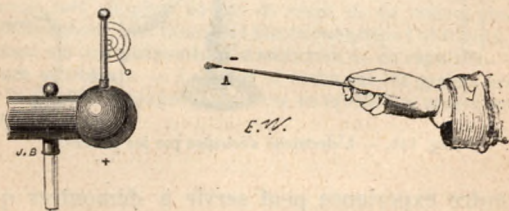


Fig. 143. — Pouvoir des pointes.

donc pas de décharge vive et par conséquent pas d'étincelle. Cette expérience, facile à faire dans les laboratoires

de physique, montre bien le pouvoir des pointes; elle va vous permettre de comprendre immédiatement le rôle d'un paratonnerre pendant l'orage.

**Théorie du paratonnerre.** — C'est à Franklin que nous devons l'invention du paratonnerre. Cet appareil sert à préserver les édifices de la foudre : c'est une tige de fer terminée à sa partie supérieure par une pointe aiguë en cuivre doré. La tige, plus ou moins élevée, se recourbe pour suivre la pente du toit, puis elle descend le long du mur du bâtiment et vient s'enfoncer dans le sol (fig. 144). Elle doit pénétrer jusqu'à une nappe d'eau souterraine et communiquer avec

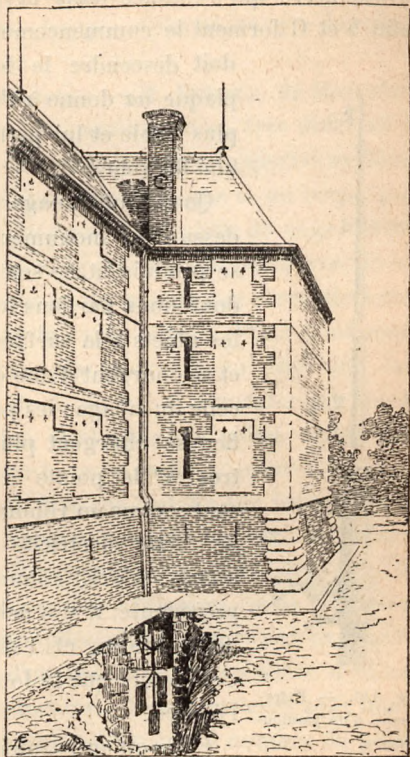


Fig. 144. — Maison munie de paratonnerres.

toutes les pièces métalliques importantes du monument. Depuis quelques années, on met aussi le paratonnerre en communication avec les gouttières qui constituent pendant les orages de très bons conducteurs avec la terre.

La figure 145 donne le détail de la partie supérieure d'un paratonnerre : *d* est la tige de cuivre, P son extrémité pointue; T est la tringle de fer; *g* représente la racine du paratonnerre qui s'enfonce dans la maçonnerie du toit; enfin *b* et C forment le commencement du conducteur qui

doit descendre le long de l'édifice. La plaque *aa* donne à l'instrument une assise plus stable et lui permet de résister à l'action du vent.

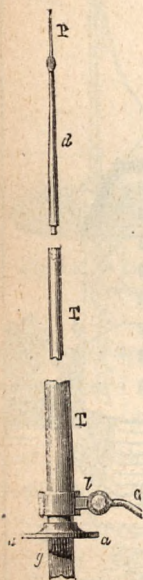


Fig. 145. — Extrémité d'un paratonnerre.

doit descendre le long de l'édifice. La plaque *aa* donne à l'instrument une assise plus stable et lui permet de résister à l'action du vent.

Quand un nuage orageux passe au-dessus du monument, deux phénomènes se produisent, ce sont les mêmes que ceux dont nous parlions tout à l'heure : 1° tous les objets à la surface du sol s'électrisent et se chargent d'une électricité contraire à celle du nuage; les parties élevées de l'édifice se chargent plus que toutes les autres; 2° la pointe du paratonnerre agissant comme un robinet ouvert laisse échapper cette électricité et la dirige vers le nuage; alors, comme dans l'expérience précédente, il y a neutralisation lente des deux fluides, et l'étincelle ne jaillit pas, c'est-à-dire que la foudre ne tombe pas sur l'édifice.

Pour qu'un paratonnerre agisse dans de bonnes conditions, il faut qu'il communique avec la terre le plus largement possible, parce que, de cette façon, il peut rassembler une plus grande quantité d'électricité de nom contraire à celle du nuage, et le neutraliser plus sûrement.

L'expérience semble démontrer qu'un paratonnerre pré-



serve tous les objets compris dans un cercle dont le diamètre est quatre fois la hauteur de sa tige.

Il ne faut pas, pendant les orages, se réfugier sous les arbres qui peuvent provoquer l'explosion de la foudre parce qu'ils sont plus chargés d'électricité que les objets placés au niveau du sol.

**Paratonnerre de Melsens.** — M. Melsens, de Bruxelles, a construit un système de paratonnerres, très différent de celui de Franklin : « Ce système de paratonnerres est fondé sur ce principe, établi par Faraday, que si un corps quelconque est placé à l'intérieur d'une sorte de cage, formée par un réseau de fils métalliques communiquant avec le sol, ce corps ne peut éprouver, de la part des corps électrisés, placés à l'extérieur de la cage, aucune action d'influence. On peut, par exemple, placer un oiseau dans une cage ordinaire, à treillage de fil de fer, et constater que les décharges d'une machine électrique, ou même celles d'une batterie, en éclatant sur la cage ne font éprouver à l'oiseau aucune commotion. M. Melsens installe sur les toits et sur tout le contour de l'édifice des conducteurs métalliques dont la section peut être beaucoup moindre que celle des conducteurs de paratonnerres ordinaires, mais qui doivent être beaucoup plus multipliés, et reliés entre eux de manière à enfermer l'édifice d'un réseau, qui n'en altère d'ailleurs nullement l'effet architectural. Ces conducteurs sont mis en communication avec le sol, par un grand nombre de points, au moyen de puits. Aux principaux points d'intersection des conducteurs, et particulièrement sur le faite de l'édifice sont placées des gerbes formées par de petites tiges de cuivre, terminées en pointes, par lesquelles se produit l'écoulement de l'électricité. Un système de ce genre a été établi sur l'hôtel de ville de Bruxelles, et un autre sur

l'une des casernes de la ville : le prix de revient a été environ la moitié de ce qu'il eût été pour des paratonnerres ordinaires, à égalité de superficie (1). »

### QUESTIONNAIRE.

*Tous les corps électrisés conservent-ils également bien leur électricité ?*

*Quelles sont les expériences qui démontrent que l'électricité s'échappe par les pointes ?*

*Parlez de l'expérience de la bougie et de celle du tourniquet électrique.*

*Quels sont les phénomènes qui se produisent lorsqu'on se place, avec une pointe à la main, à une certaine distance du conducteur d'une machine électrique ?*

*À qui est due l'invention du paratonnerre ?*

*Décrivez le paratonnerre et donnez-en la théorie.*

*Pourquoi faut-il qu'un paratonnerre communique largement avec la terre ?*

*Décrivez et expliquez le paratonnerre de Melsens.*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Le professeur fera, s'il est possible, les expériences indiquées dans cette leçon, il donnera une idée de ce que l'on entend par *l'électrisation par influence* et insistera sur les effets des nuages orageux électrisant les objets à la surface du sol. Choc en retour. — Actions de la foudre ; volatilisation des métaux, vitrification des sables, etc.

(1) Ch. Drion et Fernet, *Traité de Physique élémentaire*, Masson, édit.

### III

#### Les aurores boréales.

Un phénomène lumineux extrêmement remarquable se produit très souvent dans la région polaire arctique, c'est l'*aurore boréale*. Il est probable que ce phénomène n'est pas plus rare dans la région antarctique mais on a peu de renseignements à cet égard.

Les aurores boréales peuvent être visibles à des distances considérables du pôle, nous en avons vu à Paris, on en observe aussi à Cadix, à Rome, à Moscou et à Varsovie, elles ont une origine électrique.

Certains physiciens météorologistes pensent qu'elles sont dues à l'énorme quantité d'électricité qui est versée journellement dans l'atmosphère par l'effet de l'évaporation très rapide qui s'effectue à la surface du sol dans les régions équatoriales; cette électricité serait transportée par les vents alizés supérieurs vers les régions polaires, où elle retournerait au sol (Becquerel). D'autres savants cherchent la cause des aurores boréales dans l'électricité solaire : M. Brown, par exemple, a remarqué que ces météores lumineux ont dans leurs diverses phases une périodicité de 26 jours, c'est-à-dire qu'ils semblent se régler sur le mouvement de rotation du soleil autour de son axe, il est donc permis de supposer que c'est l'astre du jour qui les produit. Ce qui est parfaitement hors de conteste, c'est que les aurores boréales font éprouver de violentes perturbations à l'aiguille aimantée pendant toute leur durée, qu'elles dérangent les boussoles, et peuvent par conséquent être considérées comme des manifestations électriques.

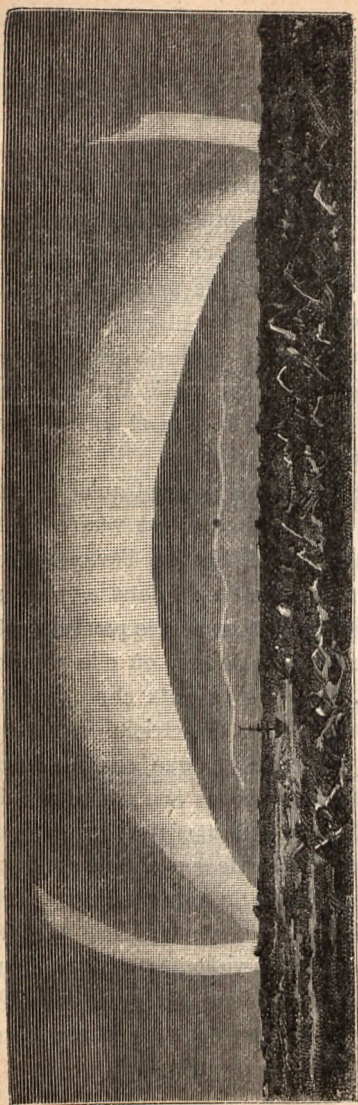


Fig. 146. — Aurore boréale observée en 1879 pendant l'expédition de la *Wéga*.

Les aurores n'affectent pas la même forme dans tous les lieux d'observation; le célèbre voyageur Nordenskiöld, pendant l'expédition de la *Wéga*, n'a vu au détroit de Behring que des aurores en arcs lumineux; ces aurores ne quittaient pour ainsi dire pas l'horizon et se produisaient toutes les nuits (fig. 146).

MM. Becquerel donnent la description suivante des aurores boréales observées à Bossekop, dans la Laponie norvégienne, à 70° de latitude, dans l'hiver de 1838 à 1839.

Le soir, entre quatre et huit heures, la brume qui règne habituellement au nord de Bossekop se colore à sa partie supérieure. Cette lueur se ré-



gularise peu à peu et forme un arc vague d'un jaune pâle tournant sa cavité vers le sol. Bientôt des stries noirâtres séparent régulièrement les parties lumineuses de l'arc. Des rayons lumineux se forment, s'allongent et se raccourcissent lentement ou instantanément, leur éclat augmentant et diminuant subitement.



Fig. 147. — Aurore boréale observée en France.

Les pieds de ces rayons offrent toujours la lumière la plus vive et forment un arc plus ou moins régulier ; leur longueur est très variée ; parfois ils se prolongent jusqu'à leur point de concours et figurent ainsi une immense console lumineuse. L'arc continue à monter vers le zénith, présentant dans sa lueur un mouvement ondulatoire. Parfois un de ses pieds ou tous les deux abandonnent l'horizon ; l'arc

ne forme plus qu'une longue bande de rayons qui se contourne et se sépare en plusieurs parties formant des courbes gracieuses dont l'ensemble constitue la *couronne boréale*. L'éclat des rayons, variant subitement d'intensité, atteint celui des étoiles de première grandeur ; ces rayons dardent avec rapidité, les courbes se forment et se déroulent comme



Fig. 148. — Aurore boréale observée dans l'Alaska (Amérique du Nord) en 1865.

les replis d'un serpent ; puis les nappes se colorent, leur base est rouge, leur milieu est vert et leur bord supérieur conserve la couleur jaune pâle. Enfin l'éclat diminue, les couleurs s'éteignent, tout s'affaiblit peu à peu ou disparaît subitement. La figure 147 montre une des formes les plus communes d'aurore boréale, et la figure 148 une forme magnifique plus rare ; le serpent lumineux

qu'elle représente dessine au ciel un admirable tableau.

Dans les contrées glacées qui avoisinent le pôle, pendant les mois noirs de l'hiver, les aurores boréales se produisent souvent, on en a compté 150 en 200 jours, elles jettent leur vif éclat dans la nuit et consolent les voyageurs de l'absence du soleil. Chez nous elles ont donné lieu autrefois à des préjugés ridicules et à des craintes absurdes, mais actuellement elles excitent surtout l'intérêt et provoquent l'admiration. Malheureusement les savants ne peuvent pas encore donner une explication complète de ces météores lumineux.

On ne peut pas confondre une aurore boréale avec un coucher ou un lever de soleil ou de lune, parce que le phénomène ne se produit qu'*au nord*, dans la direction du pôle.

#### QUESTIONNAIRE.

*D'où vient le nom de l'aurore boréale?*

*A quoi attribue-t-on ce phénomène lumineux?*

*Quelle observation fait supposer que les aurores boréales ont une origine électrique?*

*Décrivez une aurore boréale.*

#### EXPERIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Lectures et récits sur les aurores boréales, observées dans les régions polaires et dans nos climats. Hypothèses qui ont été faites pour expliquer ces phénomènes. Explication des mots, *arctique*, *zénith*, etc. Climats et saisons dans le voisinage des pôles, nuit de l'hiver. Voir la première partie du cours.

## IV

### Les étoiles filantes.

Lorsque par une belle nuit on regarde le ciel au-dessus d'un horizon bien découvert, il n'est pas rare de voir briller subitement un ou plusieurs points lumineux qui sillonnent rapidement l'espace et disparaissent. On a donné à ces météores fugitifs le nom d'*étoiles filantes* parce que les anciens croyaient que les astres pouvaient se décrocher de la voûte céleste et tomber dans le vide pour s'y éteindre.

L'opinion la plus généralement admise aujourd'hui consiste à considérer les étoiles filantes comme des astres minuscules, invisibles à cause de leurs petites dimensions ; ils proviennent probablement d'anciennes planètes refroidies puis dissociées, et circulent autour du Soleil comme les Astéroïdes placés entre Mars et Jupiter. C'est en pénétrant dans notre atmosphère que ces petits corps s'échauffent par suite du frottement et deviennent visibles. A certaines époques de l'année les étoiles filantes sont si nombreuses qu'elles font penser à une pluie de feu. Les dates du 12 au 13 novembre et du 10 août sont particulièrement remarquables à cet égard. La terre semble traverser alors une région de l'espace plus fournie que toutes les autres de ces débris errants. Deux célèbres observations entre autres ont été faites dans la nuit du 12 au 13 novembre à 32 ans d'intervalle, la première par de Humboldt à Cumana (Amérique du Sud) en 1799, la seconde en Europe par des savants français en 1832 ; à ces deux dates les étoiles filantes tombaient comme une neige brillante sur le fond noir du ciel.



Cette périodicité dans l'apparition des étoiles filantes a fait supposer qu'elles provenaient soit d'une seconde Lune dont la Terre aurait été pourvue au début de son existence et qui se serait brisée plus tard, soit de Comètes dont nous coupons les orbites.

Quoi qu'il en soit de toutes ces hypothèses, il est certain que les étoiles filantes ne traversent pas seulement notre atmosphère, mais qu'elles atteignent aussi la Terre qu'elles bombardent ainsi sans relâche. Leurs fragments sont les *aérolithes* ou *pierres tombées du ciel*.

**Les pierres qui tombent du ciel.** — Malgré les témoignages nombreux des historiens et des chroniqueurs, malgré l'opinion du vulgaire, les savants sont longtemps restés incrédules au sujet des chutes de pierres.

Le grand Lavoisier, en parlant d'une pierre tombée du ciel en 1766 à Lucé (Maine), déclara que c'était un caillou qui avait été foudroyé devant des laboureurs, et que ces hommes simples avaient été le jouet d'une illusion en croyant l'avoir vu tomber.

Ce n'est qu'en 1803 que l'Institut de France se laissa convaincre par l'évidence. Le 26 avril de cette année une pluie de pierres eut lieu en plein midi près de Laigle (Orne), et le savant Biot fut envoyé par l'Académie des sciences de Paris pour rendre compte du phénomène. Dans un terrain de deux lieues de long sur une lieue de large il vit qu'il était tombé plus de deux mille pierres dont la plus grosse pesait 17 livres. Le doute n'était plus permis. (La figure 149 représente une de ces pierres conservée au Muséum d'histoire naturelle.)

A partir de cette époque on admit généralement que des pierres et des masses de fer, étrangères à notre planète, peuvent tomber à la surface de la terre. On appela ces corps des *aérolithes* ou *météorites*. M. Stanislas Meunier a

recueilli plusieurs observations de chutes de pierres que je crois utile de vous faire connaître.

Les circonstances qui accompagnent la chute des pierres sont, dit-il, remarquablement uniformes. C'est toujours un globe de feu qui traverse rapidement l'atmosphère, éclate avec un grand fracas, et laisse tomber sur le sol un nombre plus ou moins considérable de fragments solides.

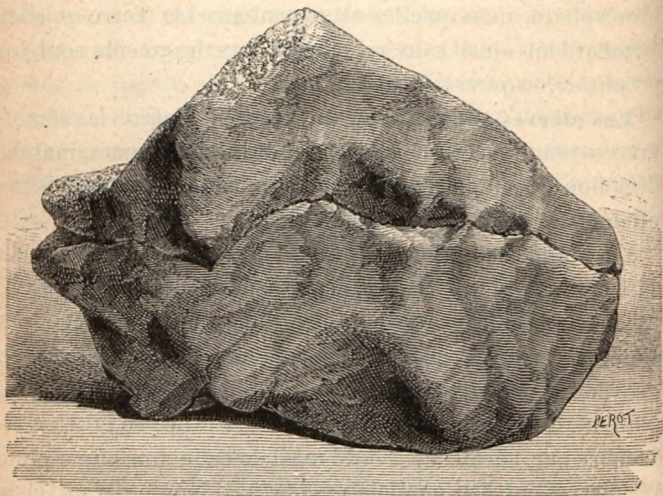


Fig. 149. — Pierre tombée à Laigle (Orne), grandeur naturelle.

Le globe de feu, dont l'arrivée constitue la première phase du phénomène, est appelé *bolide*.

Dans certains cas ce météore n'a pas été aperçu, mais on peut croire que sa présence était simplement dissimulée, soit par l'interposition d'une couche de nuages, soit par le voisinage du soleil qui en éteignait l'éclat. Dans les conditions favorables, c'est-à-dire par de belles nuits, l'éclat des globes de feu est souvent remarquable : il n'est pas rare que

la lumière de la Lune dans son plein en soit complètement effacée. La couleur des bolides est d'ailleurs variable, tantôt blanche et tantôt changeante. Leur grosseur apparente, très inégale pour tous, est parfois supérieure à celle de la Lune, et leur hauteur, qu'on a pu mesurer quelquefois, est comparable à celle qu'on attribue à la couche atmosphérique.

Les bolides suivent une trajectoire très inclinée et souvent sensiblement horizontale, avec une vitesse en disproportion absolue avec toutes celles que nous observons sur la terre. Les 30 à 60 kilomètres qu'ils parcourent à la seconde suffisent à montrer qu'ils appartiennent à la grande famille des corps planétaires. On sait que Mars franchit 24 kilomètres par seconde et Mercure 48.

Dans leur marche rapide, les bolides, comme font les locomotives, laissent derrière eux une traînée vaporeuse qui souvent persiste dans l'atmosphère pendant un temps considérable. La gravure ci-après montre, d'après un dessin exécuté avec le plus grand soin, l'aspect offert par le bolide qui précéda la chute de météorites à Quennougouck (Indes), le 27 décembre 1857, et permet d'apprécier par comparaison avec le village de Bassein figuré au-dessous, le volume du météore. Ce dessin (fig. 150) exécuté par le lieutenant Aylesbury, témoin du phénomène, a été reproduit par l'illustre de Haidinger dans son étude sur la chute de Quennougouck.

Après avoir parcouru une trajectoire plus ou moins étendue, le globe fait explosion et on le voit tout à coup se diviser en plusieurs éclats qui se précipitent dans diverses directions. Il faut souvent, à cause de la hauteur du bolide, plusieurs minutes pour que le bruit parvienne aux spectateurs; il est alors formidable et en général il se fait entendre sur une très grande étendue de pays.

La chute de Laigle, citée plus haut, fut précédée d'ex-

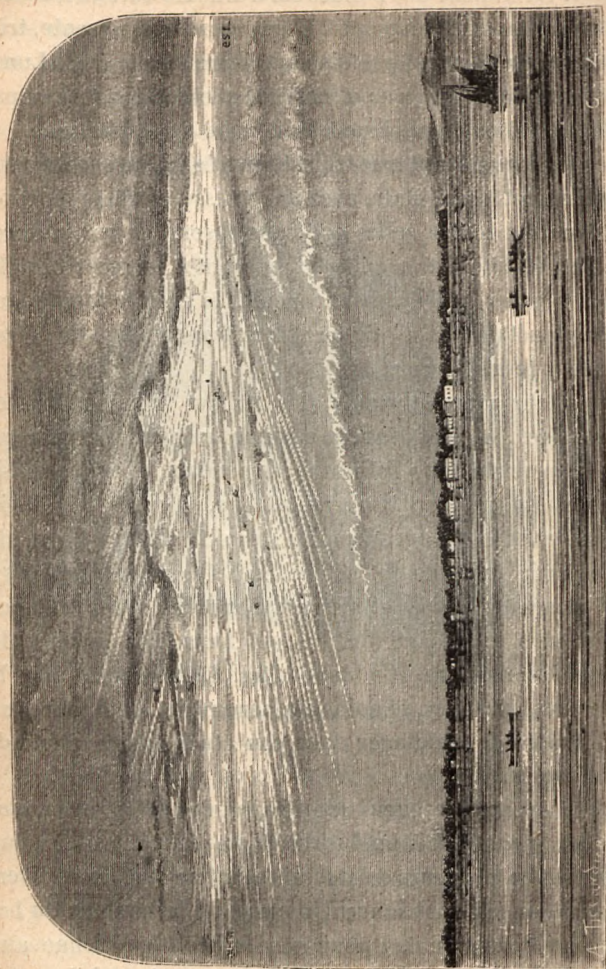


Fig. 150. — Chute d'un bolide à Queenngouk (Indes).

plosions entendues à 120 kilomètres à la ronde, et celle



d'Orgueil dans le Tarn-et-Garonne (14 mai 1864) fut perçue à plus de 360 kilomètres. D'ailleurs l'explosion est rarement simple ; souvent on entend deux ou trois détonations, et à leur suite des roulements plus ou moins forts se prolongent plus ou moins longtemps.

C'est après tout cet ensemble de phénomènes lumineux et sonores que des sifflements particuliers annoncent la chute des météorites. Les Chinois, qui connaissent ces sifflements depuis un temps immémorial, les comparent aux bruissements des ailes des oies sauvages ou encore à celui d'une étoffe qu'on déchire ; le bruit, entendu de loin, d'un obus qui traverse l'air, est également très analogue.

Au moment de leur chute les météorites sont très chaudes extérieurement, mais l'intérieur de la pierre est au contraire remarquablement froid. Le nombre des météorites d'une même chute va d'une seule pierre à plusieurs milliers. On estime qu'à Pulstuck en Pologne il est tombé plus de cent mille pierres le 30 janvier 1868.

Chaque météorite est enveloppée dans une sorte de croûte lisse qui cache la pierre rugueuse. Cette sorte d'écorce a été polie par le frottement de l'air, comme les rochers se polissent par le frottement des eaux (Stanislas Meunier). Il est alors facile de savoir si un échantillon de météorite est complet ou s'il est un éclat d'une pierre plus grosse ; dans le dernier cas la cassure de l'échantillon n'est ni usée ni polie ; dans le premier cas, au contraire, la météorite offre une surface luisante caractéristique.

La description de la chute des météorites ne serait pas complète si nous ne disions un mot de l'impression profonde qu'elle laisse dans l'esprit des spectateurs. Les animaux sont très vivement affectés avant même que l'explosion se soit fait entendre. Les chiens sont tremblants et

inquiets, les oiseaux des basses-cours s'enfuient comme s'ils étaient poursuivis; quant à l'homme, il éprouve un sursissement brusque accompagné de frissons persistants et de bourdonnements dans les oreilles, comme cela fut observé chez le nommé Carré, ouvrier eu chemin de fer, lors de la chute de Saint-Mesmin (Aube), le 30 mai 1866.

D'ailleurs, les appréhensions provoquées par ce phénomène grandiose sont très justifiées, puisque des accidents graves ont été causés par les pierres tombées du ciel.

L'an 616 de notre ère une pierre fracassa en Chine un chariot et tua dix hommes; une boule de 4 kilogrammes tua deux hommes en tombant sur un navire à la fin du xvii<sup>e</sup> siècle, et à la même époque un moine franciscain fut tué à Milan par une petite pierre.

En Amérique, des troupeaux ont été massacrés par des pluies de pierres (1837, Macao, Brésil); il nous serait facile de multiplier ces exemples (1).

#### QUESTIONNAIRE.

*Qu'entend-on par étoiles filantes?*

*Quelles sont les opinions qui ont été émises sur les étoiles filantes?*

*A quelles époques de l'année les étoiles filantes sont-elles plus nombreuses?*

*Qu'est-ce qu'un bolide?*

*Qu'entend-on par aérolithes et météorites?*

*Décrivez la chute d'un bolide.*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Les corps s'échauffent par le frottement, expériences pour le démontrer. — Lectures et récits sur la chute des pierres. — Nature des météorites, existence constante du fer dans les pierres tombées du ciel. — Travaux de MM. Daubrée et Stanislas Meunier sur les météorites. — Montrer, si c'est possible, un échantillon de ces pierres à la galerie de Géologie du Muséum d'histoire naturelle.

(1) *La Nature*, 1873, G. Masson, éditeur.

## Arcs-en-ciel et Halos.

**Décomposition de la lumière solaire.** — La lumière blanche du Soleil n'est pas simple, elle se compose de rayons colorés qu'il est facile de séparer les uns des autres au moyen d'un *prisme* de verre (fig. 151).

Pour décomposer la lumière solaire, les physiciens font d'abord l'obscurité complète dans une chambre, puis, par un trou de volet ils laissent pénétrer un mince filet de lumière qu'ils font passer à travers un prisme. En traversant le prisme, le rayon lumineux s'élargit, se dissocie, et s'étale sur une plus grande surface ; on le reçoit alors sur une feuille de papier blanc, et il donne l'image d'un ruban bariolé que l'on nomme *spectre solaire*.

Les couleurs de ce ruban sont :

*Violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé et rouge.* Bien souvent vous

avez dû voir ces couleurs iriser les pendeloques et les verroteries des lustres exposés au Soleil à la vitrine des marchands.

**L'arc-en-ciel.** — Il se produit quelquefois à la fin des orages un phénomène analogue à celui dont nous venons de parler. Les rayons du Soleil, traversant les gouttes de pluie, se décomposent en leurs couleurs élémentaires et sont réfléchis ensuite de façon à dessiner au ciel un vaste demi-cercle nommé *arc-en-ciel*.

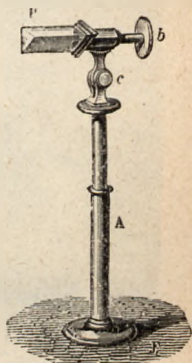


Fig. 151. — Le prisme.

L'arc-en-ciel n'est visible que pour l'observateur qui, tournant le dos au Soleil, a devant lui un nuage se résolvant en pluie. Les couleurs sont celles du spectre solaire, le violet occupant le bord intérieur de l'arc et le rouge son bord extérieur. Le matin et le soir, lorsque le Soleil ne sera pas trop élevé au-dessus de l'horizon, vous pourrez ob-

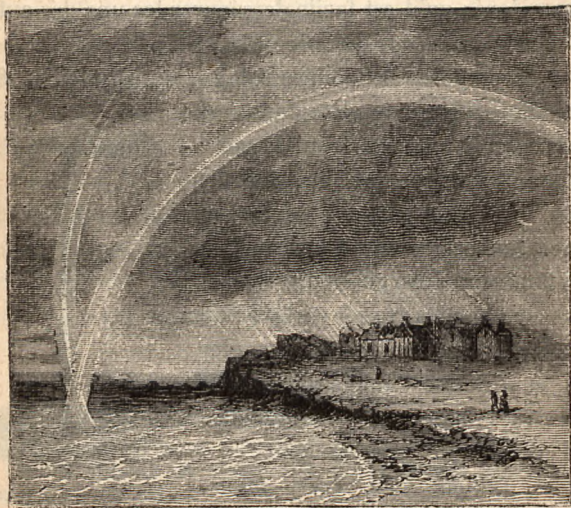


Fig. 152. — Arc-en-ciel double.

server des arcs-en-ciel en vous plaçant en face d'un jet d'eau ou d'une cascade, le dos tourné au Soleil.

En général les arcs-en-ciel sont simples, c'est-à-dire qu'ils ne se présentent que comme des demi-cercles isolés, encore même ces demi-cercles sont-ils le plus souvent très incomplets : quelquefois pourtant les arcs-en-ciel sont doubles, comme le montre la figure 152 représentant



le phénomène tel qu'il fut observé le 11 septembre 1874, à 5 h. 40 minutes du soir, au golfe des Dames en Angleterre.

**Les Halos.** — On donne le nom de *halos* à des cercles colorés qui entourent parfois le Soleil et dont cet astre occupe le centre : ils sont attribués à la décomposition de la lumière solaire à travers les *cirrus*, c'est-à-dire à travers des nuages très élevés formés d'aiguilles de glace. Le halo est presque toujours unique ; il présente toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, mais le rouge est à l'intérieur et le violet à l'extérieur du cercle, cette disposition est l'inverse de celle que l'on observe dans les arcs-en-ciel (fig. 153).

Certains météorologistes étudient avec la plus scrupuleuse attention les halos solaires qui leur permettent d'apprécier l'état d'humidité des hautes régions at-

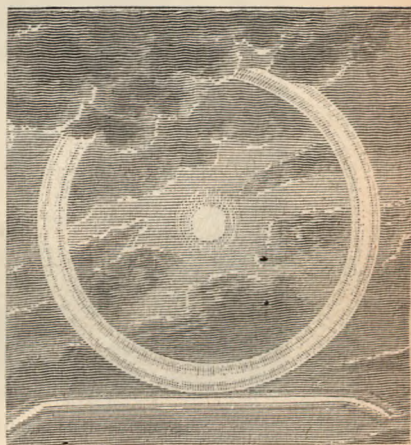


Fig. 153. — Halo solaire simple.

mosphériques. MM. A. Cheux et Decharme pensent que ces observations seront de la plus grande utilité pour la prévision du temps, car ces météores semblent annoncer très exactement la neige ou la pluie. Dans certains cas les halos sont multiples (fig. 154) et leurs cercles portent des images blanches de l'astre disposées suivant des lois connues (*parhélies* et *anthélies*). Quelquefois aussi les halos,

au lieu d'entourer le Soleil, passent par l'astre comme le montre la figure 155, et se trouvent coupés par un grand arc de cercle fort éclatant. Dans tous les cas il semble résulter des observations de ces phénomènes qu'en général la pluie est d'autant plus prochaine et plus abondante, le vent

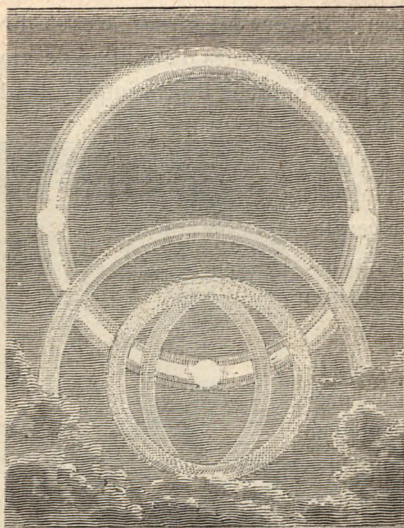


Fig. 154. — Halo multiple.

d'autant plus fort, que le météore lumineux aura été plus brillant.

Les halos ont été souvent observés autour de la Lune, mais ils ont alors des couleurs très peu nettes. Un des plus beaux qui aient été vus a été dessiné d'après nature par M. Albert Tissandier pendant son ascension à bord du ballon *le Zénith* (24 mars 1875). Une des phases du phénomène est reproduite dans la figure 156.

**Les couronnes.** — Outre ces halos on voit très souvent autour du Soleil ou de la Lune des *couronnes* irisées dont les couleurs sont disposées comme celles de l'arc-en-ciel : ces couronnes proviennent du passage des rayons lumineux

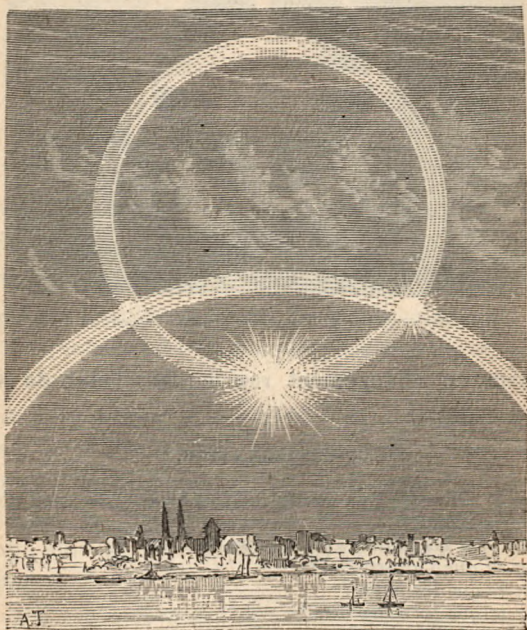


Fig. 153. — Halo solaire (Bordeaux, 1878).

à travers des nuages formés de gouttelettes sphériques toutes d'égale grosseur. On peut facilement reproduire le phénomène en regardant une bougie à travers une lame transparente saupoudrée de poudre de lycopode. Il est évident que les couronnes indiquent la présence d'eau con-



densée dans les hautes régions de l'atmosphère et pro-



Fig. 156. — Halo lunaire vu par M. Tissandier pendant l'ascension du *Zénith* (1875).

nostiquent un changement rapide dans l'état du temps.

### QUESTIONNAIRE.

*Comment démontre-t-on que la lumière blanche du soleil n'est pas une lumière simple?*

*Quelles sont les couleurs du spectre solaire?*

*Qu'est-ce que l'arc-en-ciel?*

*Qu'est-ce que les halos?*

*Qu'est-ce que les couronnes?*

*A quoi sont-elles dues?*

*Parlez de l'importance de ces météores lumineux au point de vue de la prévision du temps.*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Décomposition et recombinaison de la lumière blanche. — Disque de Newton (voir les traités de Physique). Parler de la réfraction et faire quelques expériences avec des lentilles et des prismes. Pièce de monnaie dans une cuvette, bâton plongé dans l'eau, etc. — Quelques mots sur le mirage. — Lectures et récits sur les arcs-en-ciel, les halos, les couronnes et le mirage.



# CHAPITRE V

## PRÉVISION DU TEMPS

---

### I

#### Les observatoires météorologiques.

L'observatoire météorologique de Paris est situé sur la rive gauche de la Seine dans un jardin public qu'on nomme le parc de Montsouris ; il a été fondé par l'éminent Ch. Sainte-Claire Deville, qui en fut le premier directeur (1869).

Cet observatoire est très complet ; ses travaux se divisent en trois sections principales :

1° La *météorologie proprement dite*, s'étendant au magnétisme et à l'électricité, qui comprend : l'observation directe des instruments et la discussion des résultats obtenus soit au point de vue de la météorologie, soit au point de vue de ses applications à l'agriculture et à l'hygiène.

2° L'*étude chimique de l'air et des eaux météoriques* recueillies à l'observatoire.

3° L'*étude microscopique des poussières organiques* tenues en suspension dans l'air et dans les eaux météoriques.

Outre l'observatoire de Montsouris et les stations météorologiques des grandes villes, nous possédons en France deux observatoires météorologiques très importants ; l'un est construit en Auvergne sur le puy de Dôme (fig. 157), et l'autre dans les Pyrénées sur le pic du Midi (fig. 158).

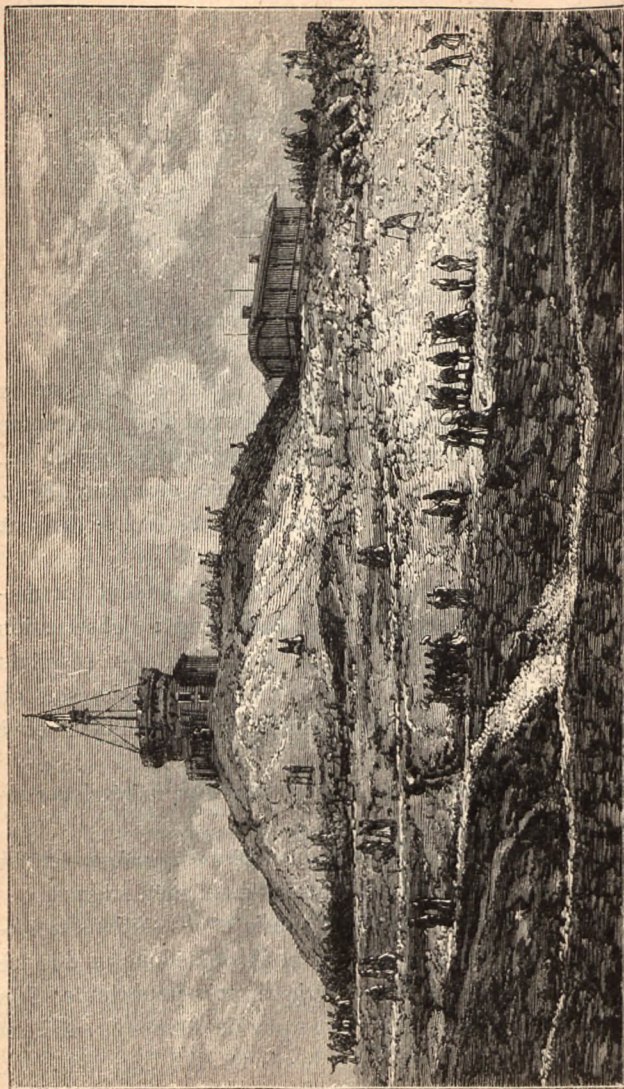


Fig. 157. — Observatoire du puy de Dôme (Auvergne), le jour de l'inauguration.

L'observatoire du puy de Dôme se trouve à 1,465 mètres au-dessus du niveau de la mer ; il a été fondé il y a une dizaine d'années par M. Alluard. L'observatoire du pic du Midi, plus nouveau encore, a été fondé par le général de Nansouty ; il se trouve à une altitude de près de 3,000 mètres et presque continuellement dans la neige.

Ces deux stations élevées font des observations simultanées avec leurs annexes de la plaine. Le puy de Dôme communique avec Rabanasse (Clermont-Ferrand), et le pic du Midi avec Bagnères de Bigorre.

Les principaux instruments observés dans les stations météorologiques sont :

1° Les *thermomètres à l'ombre* avec l'abri du double toit ; il y en a quatre, le thermomètre *simple*, le thermomètre *mouillé*, le thermomètre à *maximum* et le thermomètre à *minimum*.

2° Les *thermomètres au soleil* semblables aux précédents, mais placés de façon à recevoir directement les rayons du soleil.

3° Le *thermométrographe*, inscrivant lui-même les températures.

4° L'*anémomètre enregistreur*, indiquant et inscrivant les différentes vitesses du vent.

5° La *girouette* (direction du vent).

6° Les *hygromètres* (humidité de l'air).

7° Les *évaporomètres*, évaluant la rapidité d'évaporation de l'eau.

8° L'*atmographe*, indiquant la perte de poids que subit le sol en évaporant son humidité dans l'air.

9° Le *pluviomètre enregistreur*.

10° Le *baromètre simple* et le *baromètre enregistreur*.

Nous pouvons citer encore : les *actinomètres*, sortes de



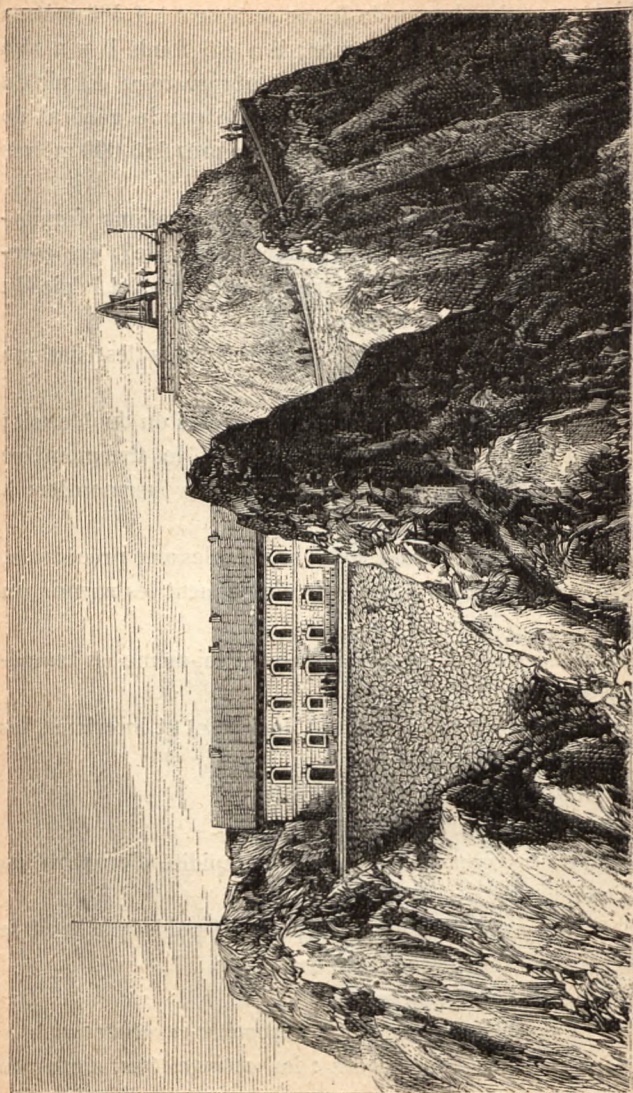


Fig. 158. — Observatoire du pic du Midi (Pyrenées), à près de 3000 mètres d'altitude.



thermomètres qui mesurent l'énergie des radiations solaires; les instruments très délicats qui constatent les oscillations de l'aiguille des boussoles et ceux qui indiquent la quantité d'électricité contenue dans l'air.

Beaucoup de physiciens possèdent les instruments les plus nécessaires aux observations météorologiques et dressent des bulletins locaux très intéressants. Parmi eux nous devons citer M. Hervé Mangon, qui a construit un excellent observatoire météorologique à Sainte-Marie du Mont (Manche). Cet observatoire (fig. 160) peut être regardé comme une des plus belles et des plus complètes installations dues à l'initiative privée. D'autres savants font des ascensions aérostatiques dans un but scientifique; tels sont les infatigables frères Tissandier qui vulgarisent aussi la science météorologique dans des revues très estimées.

M. Georges Sire a imaginé

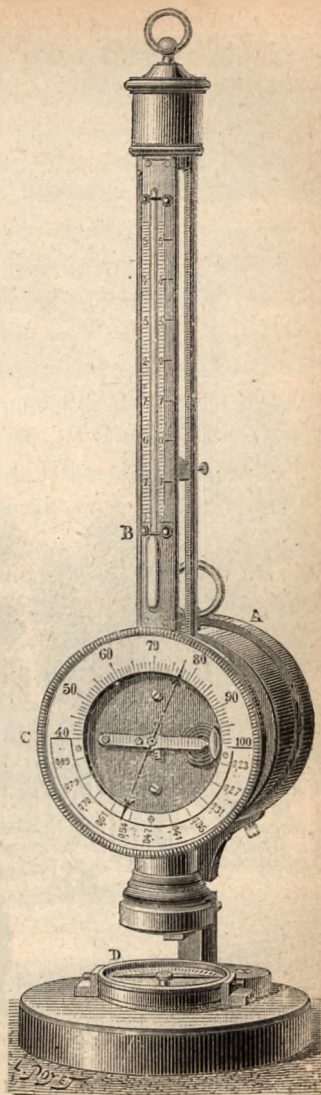


Fig. 159. — Poste de M. G. Sire.

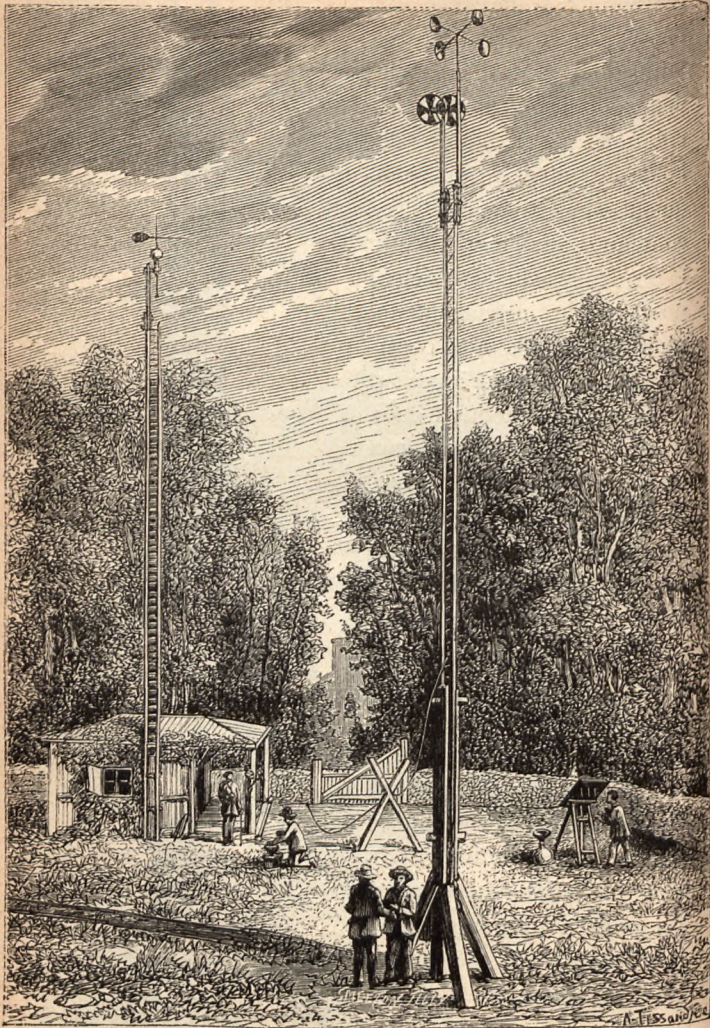


Fig. 160. — Observatoire de M. Hervé-Mangon, à Sainte-Marie du Mont (Manche).

une *station météorologique portative* destinée à faciliter les observations dans les excursions au sommet des montagnes. C'est à l'absence d'un instrument simple qu'il faut attribuer, en effet, la lacune qui existe dans le récit de la plupart des excursions alpestres et autres au sujet des phénomènes météorologiques observés.

L'instrument proposé par M. G. Sire est composé de façon à pouvoir déterminer exactement, en tous lieux, d'une manière commode et prompte, les trois données météorologiques les plus importantes de l'air, savoir : sa *pression*, sa *température* et son degré d'*humidité*. C'est le groupement d'un baromètre A, d'un thermomètre B, d'un hygromètre C et d'une boussole D (fig. 159). La boussole peut fournir une indication très approchée de la direction du vent, si l'on attache un ruban léger à l'anneau qui termine l'appareil à sa partie supérieure.

Il est évident que l'instrument de M. G. Sire, très utile pour les touristes et les aéronautes, a toutes les qualités voulues pour une petite station météorologique d'école ou d'amateur ; c'est pour cela que j'ai voulu vous le décrire.

#### QUESTIONNAIRE.

*Quels sont les principaux observatoires météorologiques de France ?*

*Quelles observations fait-on dans ces établissements ?*

*Quels sont les principaux instruments dont se servent les météorologistes ?*

*Décrivez une station portative météorologique.*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Observatoires du puy de Dôme et du pic du Midi (voir *La Nature*. G. Masson, édit.). Description des instruments cités dans cette leçon.  
— Visite à une station météorologique pour montrer aux élèves les principaux instruments à observation directe et à enregistrement.



### Le bureau central météorologique de France (1).

Un décret du 14 mai 1878 a créé pour la France un *bureau central météorologique*. Ce service comprend « l'étude des mouvements de l'atmosphère, les avertissements météorologiques aux ports et à l'agriculture, l'organisation des observatoires météorologiques et des commissions régionales ou départementales, la publication de leurs travaux et l'ensemble des recherches de météorologie ou de climatologie. » C'est au Bureau central que sont réunis tous les documents météorologiques adressés au ministère de l'instruction publique. En Amérique une administration semblable existe sous le nom de *Signal service*.

Les observatoires ou stations météorologiques qui recueillent les documents sont de quatre types différents :

1° Les *observatoires régionaux*, pourvus de météorologistes directeurs centralisant les observations faites dans la région; ces observatoires placés dans les grands centres scientifiques ont une installation très complète et des appareils enregistreurs; ils effectuent des travaux d'observation prolongée comme l'observatoire de Paris.

2° Les stations de *premier* et de *deuxième ordre* font des observations quotidiennes et diffèrent par le nombre et la perfection de leurs instruments.

Dans les premières les observations sont trihoraires; on note les indications des instruments à 6 et 9 heures du matin, midi, 3, 6, 9 heures du soir et minuit. Dans les

(1) *Instructions météorologiques du ministère de l'instruction publique* (Gauthier-Villars, édit.).



secondes à 6 heures du matin, 1 et 9 heures du soir.

3° Les stations de *troisième ordre* possèdent au moins des thermomètres à *maxima* et à *minima* et un pluviomètre. Elles sont chargées comme les précédentes de noter la direction et la force du vent, l'état du ciel, les orages et tous les phénomènes accidentels dont l'observation ne demande aucun instrument spécial. Les instruments y sont examinés à 8 heures du matin et à 8 heures du soir.

4° Les stations de *quatrième ordre* sont spécialement chargées de l'étude de la pluie et des orages, ou de ces derniers seulement quand elles ne possèdent pas de pluviomètre. Leur nombre doit être aussi grand que possible, car c'est de ce nombre surtout que dépend la valeur des renseignements qu'elles sont appelées à fournir.

#### Service des avertissements météorologiques.

— Les observations reçues par le Bureau central permettent d'établir la situation météorologique de l'Europe et d'en déduire des probabilités sur le

temps qui doit suivre. Deux dépêches sont expédiées chaque jour aux ports, à midi et à 5 heures du soir, pour leur

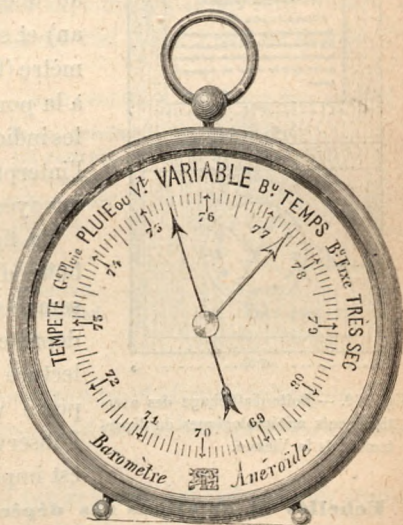


Fig. 161. — Baromètre des stations rurales abonnées aux dépêches du bureau central météorologique.

faire connaître la direction du vent, l'état de la mer sur nos côtes, et les avertir des gros temps qui peuvent les menacer.

A midi, une autre dépêche est adressée dans un grand nombre de communes. Cette dépêche donne les renseignements qui sont plus particulièrement utiles aux agriculteurs, c'est-à-dire l'état du ciel et la pluie.

Les communes qui veulent recevoir les avis en prévision du temps doivent s'abonner au télégraphe (40 francs par an) et se pourvoir d'un baromètre (fig. 161) que l'on place à la portée du public, afin que les indications puissent aider à l'interprétation des dépêches envoyées par le Bureau central.

La figure 162 représente la boîte d'affichage des avertissements météorologiques du département de la Vienne. (La lecture de la dépêche qu'il porte vous montre combien l'observation du baromètre est importante.)



Fig. 162. — Boîte d'affichage des avertissements météorologiques du département de la Vienne.

### Échelles et notations des dépêches météorologiques.

— Nous avons dit que les stations météorologiques étaient reliées télégraphiquement avec le Bureau central, et qu'elles lui envoyaient une ou plusieurs feuilles d'observations par jour; je crois vous être utile en vous faisant connaître les échelles et notations adoptées pour la transmission par des

observations météorologiques qui toutes sont chiffrées.

Voici d'abord un tableau qui permet d'exprimer au moyen de deux chiffres la direction du vent.

Direction du vent (A).

02 == N-N-E	18 == S-S-W
04 == N-E	20 == S-W
06 == E-N-E	22 == W-S-W
08 == E	24 == W
10 == E-S-E	26 == W-N-W
12 == S-E	28 == N-W
14 == S-S-E	30 == N-N-W
16 == S	32 == N

Les tableaux suivants expriment par un seul chiffre la force du vent (B), l'état du ciel (C) et l'état de la mer (D).

Force du vent (B).

Etat du ciel (C).

Etat de la mer (D).

0. Calme.	0. Beau, serein.	0. Calme.
1. Presque calme.	1. 1/4 couvert.	1. Très belle.
2. Très faible, légère brise.	2. 1/2 couvert.	2. Belle.
3. Faible, petite brise.	3. 3/4 couvert.	3. Peu agitée.
4. Modéré, jolie brise.	4. Couvert.	4. Agitée.
5. Assez fort, bonne brise.	5. Pluie.	5. Houleuse.
6. Fort, bon frais.	6. Neige.	6. Très houleuse.
7. Très fort, grand frais	7. Brumeux.	7. Grosse.
8. Violent, coup de vent	8. Brouillard.	8. Très grosse.
9. Tempête.	9. Orage.	9. Furieuse.

Les indications barométriques et thermométriques étant elles-mêmes des chiffres n'ont donné lieu qu'à des abréviations.

Voici un exemple de télégramme envoyé par une station maritime au Bureau central météorologique de Paris :

(1)                      (2)                      (3)  
 65412                      64102\*                      09695

Nous avons à lire trois groupes de cinq chiffres.

*Premier groupe : 65412.*

Baromètre au niveau de la mer.....	654 = 765 <sup>mm</sup> ,4 (1)
Direction du vent.....	12 = S-E

*Deuxième groupe : 64102.*

Force du vent.....	6 = Fort.
État du ciel.....	4 = Couvert.
Température.....	102 = 10°2

*Troisième groupe : 09695.*

Thermomètre mouillé.....	096 = 9°6
Phénomène observé (s'il y a lieu).....	9 = Orage.
État de la mer.....	5 = Houleuse.

Pour les stations de l'intérieur, c'est-à-dire pour celles qui ne sont pas au bord de la mer, le cinquième chiffre du troisième groupe (état de la mer) est toujours un 0; le quatrième chiffre de ce groupe est aussi un 0 quand il ne s'est produit dans la localité aucun des phénomènes marqués de 5 à 9 au tableau C (pluie, neige, brume, brouillard, orage).

**QUESTIONNAIRE.**

*Qu'est-ce que le Bureau central météorologique?*

*Comment divise-t-on les stations météorologiques?*

*Parlez du service des avertissements météorologiques maritimes et agricoles.*

**EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.**

Fonctionnement du Bureau central météorologique. Importance du télégraphe en météorologie. Construction des cartes météorologiques journalières. Montrer aux élèves la carte de la veille (on peut la trouver dans le journal *le Temps*) et lire le texte qui l'accompagne.

(1) Le chiffre 7 a été supprimé comme inutile, parce qu'il se trouve dans toutes les observations au niveau de la mer.



### III

#### Bourrasques ou dépressions.

L'application rationnelle de la météorologie à la prévision du temps est de date toute récente ; elle ne pouvait du reste devenir réellement pratique avant l'invention du télégraphe électrique et l'établissement d'un réseau télégraphique international. A la suite de la violente tempête du 14 novembre 1854 qui amena dans les eaux de la mer Noire la perte du vaisseau français le *Henri IV*, Le Verrier ouvrit, auprès des astronomes et des météorologistes, une enquête de laquelle il résulta que la tourmente avait traversé l'Europe du N-W au S-E, et que si, à cette époque, un télégraphe électrique eût existé entre Vienne et la Crimée, nos armées et nos flottes, averties à temps de l'arrivée de l'ouragan, auraient pu prendre des mesures en conséquence (1).

Les tempêtes sont toujours occasionnées par des *tourbillons* d'air ou *cyclones* qui partent d'un point de l'Atlantique entre l'équateur et les tropiques, et se dirigent tantôt vers notre hémisphère, tantôt vers l'hémisphère sud.

On a comparé ces tourbillons à des toupies tournant sur elles-mêmes (rotation), et progressant en même temps dans une direction quelconque (translation).

Le mouvement de *rotation* du tourbillon d'air s'effectue en sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre pour notre hémisphère, et dans le sens des aiguilles d'une montre pour l'hémisphère sud (fig. 163) ; son mouvement

(1) *La Nature*. G. Masson, édit.

de *translation* a lieu de l'ouest à l'est avec une vitesse moyenne de 15 à 20 kilomètres à l'heure.

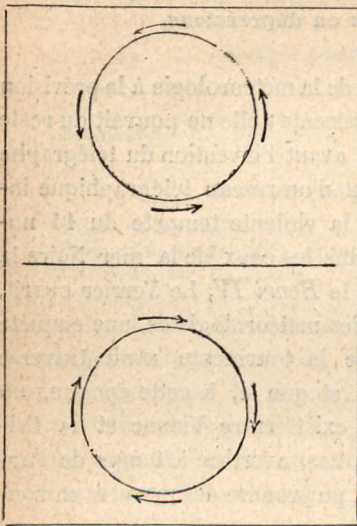


Fig. 163. — Sens de rotation des cyclones au-dessus et au-dessous de l'équateur.

Le centre du tourbillon est caractérisé par une baisse du baromètre quelquefois très considérable ; la position du centre de *dépression* est donc très facile à déterminer, parce que c'est dans ce point que la pression atmosphérique est la plus basse. Le vent se précipite vers le centre avec plus ou moins de violence dans le sens indiqué par les petites flèches de la figure 164, c'est-à-dire *en spirale*.

En mer, les navires manœuvrent pour éviter les cyclones, ils en découvrent la présence par l'examen du baromètre et la direction du vent.

Pour déterminer l'existence et la marche d'un tourbillon sur le continent, il suffit de centraliser par le télégraphe les observations météorologiques faites en différents pays, de les reporter sur une carte d'Europe, puis de réunir par des lignes courbes tous les points où la pression barométrique est la même ; cette première opération permet de découvrir facilement le centre des basses pressions. Comme le centre des basses pressions se déplace d'un jour à l'autre, on peut déduire avec une grande probabilité la

route qu'il suivra d'après celle qu'il a déjà suivie, et prévoir ainsi avec assez de certitude la marche du phénomène.

La carte du temps du 14 octobre 1881 au matin (fig. 165) vous aidera à comprendre ce que je viens de vous dire. Elle vous montre un centre de dépression en Écosse, où le

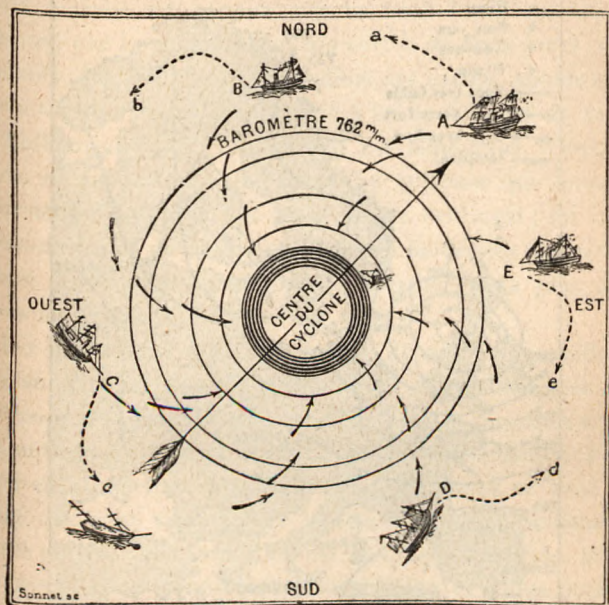


Fig. 164. — Direction du vent vers le centre d'un cyclone et manœuvres que doivent faire les navires pour l'éviter.

baromètre marque 730<sup>mm</sup>, tandis qu'à Paris il marque 755<sup>mm</sup>, et 765<sup>mm</sup> à Bayonne et Tunis.

Le 14 octobre 1881 en effet, une violente tempête éclatait sur l'Angleterre; dès le 10 octobre le tourbillon existait sur l'Atlantique, le 13 à midi il formait une importante dépression au vingt-cinquième degré à l'ouest de Green-

wich ; le 13 au soir il abordait l'Écosse ; le 14 au matin son centre était sur Aberdeen, et le 15 au soir sur Stockholm. Le nombre des arbres arrachés par cette tempête dépassa quarante mille, et beaucoup d'édifices furent très

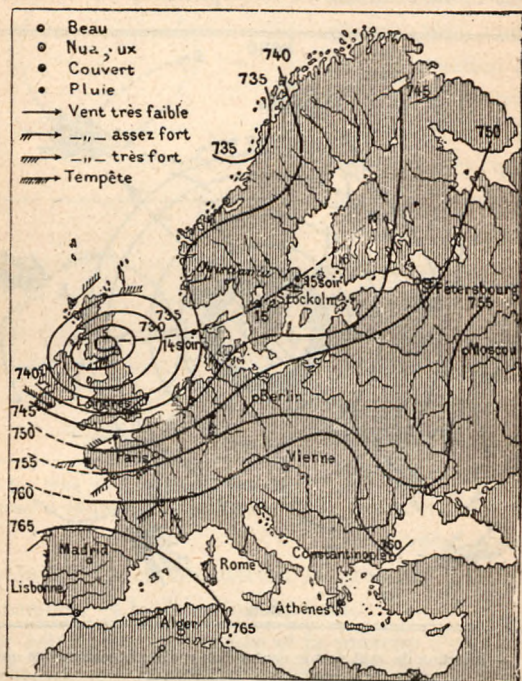


Fig. 165. — Carte du temps du 14 octobre 1881 au matin.

endommagés tant en Angleterre qu'en Écosse et dans les Pays-Bas.

La ligne de traits dans la carte indique le sens de translation du cyclone, les flèches plus ou moins barbelées montrent la direction et l'intensité du vent.



Les dépressions qui nous viennent de l'Océan abordent l'Europe à des hauteurs différentes depuis les côtes du Portugal jusqu'au nord de l'Écosse, mais le plus souvent par l'Irlande.

La marche de leur centre peut varier du N-E au S-E : cette marche est connue, comme nous le disions tout à l'heure, par la comparaison des cartes de deux jours consécutifs. On peut donc, en étudiant ces cartes, annoncer à *coup sûr* l'arrivée d'une tempête à tel ou tel port de mer.

Malheureusement l'Atlantique est dépourvue d'îles, et nous ne connaissons en France les cyclones que lorsque leur action s'est déjà fait sentir sur le continent ; les contrées centrales de l'Europe sont plus favorisées que nous, parce qu'elles profitent de nos avertissements plus que nous ne profitons des leurs (fig. 166).

Les Américains nous signalent le départ des tourbillons qui se dirigent vers l'Europe, mais cet avertissement est fait pour une distance trop considérable ; la direction vraie du météore n'est que très imparfaitement déterminée : c'est pour cela que chez nous la prévision du temps ne peut se faire que pour vingt-quatre heures à peine. Actuellement notre poste le plus important est Valentia en Irlande, mais la prévision du temps sera plus certaine et à plus longue échéance lorsque Madère, les Açores, les îles Féroé et l'Islande seront reliées télégraphiquement avec nous.

*Prévoir longtemps d'avance la direction du vent pour chaque localité, voilà le principal problème à résoudre.* Or nous savons que les vents s'élèvent à l'approche des dépressions et qu'ils se dirigent vers leurs centres suivant des lois connues ; si donc nous pouvions *déterminer* quatre jours d'avance *la position des centres*, nous pourrions prévoir également la direction des vents et l'état de l'atmosphère.

Pour rendre cette vérité plus évidente, cherchons à comprendre comment pourrait se faire la prévision du temps pour Paris par exemple.

Une longue observation a montré quelle est l'influence de chaque direction du vent sur le climat de Paris. On

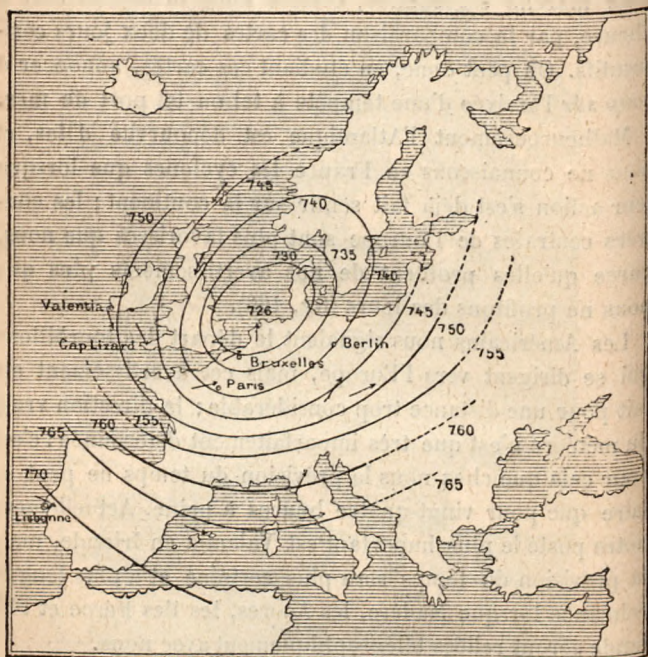


Fig. 166. — Tempête du 9 décembre 1874.

sait, par exemple, que les vents du sud-ouest, de l'ouest et du nord-ouest, qui viennent de l'Océan, amènent généralement des nuages et souvent de la pluie; tandis que les vents du nord-est et de l'est, venant du continent, sont le plus souvent accompagnés de beau temps; de plus, les pre-

miers produisent toujours, au moins en hiver, une notable élévation de la température, les seconds un froid plus vif. Si donc il était toujours possible de connaître à l'avance l'existence et la trajectoire des dépressions ou des fortes pressions capables de faire changer la direction du vent à Paris, on serait, par cela même, en mesure de prévoir les changements de temps.

Il est souvent possible à un observateur isolé de pressentir, quelques heures à l'avance, les modifications atmosphériques qui doivent se produire. De temps immémorial les bergers et les marins d'Europe ont regardé le ciel au soleil couchant (à l'ouest) pour savoir le temps probable du lendemain ; ils avaient raison puisque c'est du couchant que nous viennent les bourrasques. La prévision individuelle ne peut être basée sur aucune règle certaine ; son degré de probabilité reposera en grande partie sur la sagacité de l'observateur, sur les relations qu'il aura su démêler entre l'aspect du ciel, la direction du vent, les variations du thermomètre et du baromètre à chaque moment de la journée. S'il ne possède ni thermomètre ni baromètre, l'examen attentif du ciel, du vent et des eaux, lui suffit. Hippocrate, par exemple, avait remarqué que les rivières se troublaient par les vents d'ouest et s'éclaircissaient par les vents d'est ; pour cet antique médecin, les rivières troubles prédisaient la pluie ; en réalité elles indiquent assez souvent une baisse du baromètre.

Quant à ces prévisions lointaines, que de prétendus astrologues croient pouvoir déduire du mouvement des astres, il convient de les considérer comme de ridicules et dangereuses chimères. Il en est de même de l'influence que trop de personnes attribuent à la lune sur les changements de temps et le succès d'un grand nombre d'opéra-

tions agricoles : cette influence n'existe pas (Em. Bouant). Nous avons eu l'occasion d'insister sur ce sujet dans une de nos premières leçons (voir page 69).

### QUESTIONNAIRE.

*Qu'entend-on par les mots cyclones, bourrasques et dépressions ? Parlez des mouvements de rotation et de translation des bourrasques.*

*Dans quelle direction le vent se dirige-t-il vers le centre des bourrasques ?*

*Comment construit-on la carte du temps ?*

*Suivez sur la figure 165 la marche de la tempête du 14 octobre 1881.*

*Pourquoi la France peut-elle difficilement prévoir le temps plus de 24 heures à l'avance ?*

*Montrez comment la connaissance des centres de dépression permet de prédire le temps probable.*

*Influence des vents sur l'état atmosphérique de Paris.*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Description des bourrasques. Lectures dans le livre de M. Marié-Davy, *Les mouvements de l'atmosphère*. Insister sur la prévision du temps par l'examen des centres de dépression. Lecture des cartes du temps. Détruire les préjugés répandus par les almanachs astrologiques.



## IV

### Cyclones, ouragans, tempêtes.

Les tempêtes de nos pays sont dues, comme nous venons de le voir, à l'action des grandes bourrasques qui passent sur le nord de l'Europe. Le vent se précipite vers le centre de la dépression avec des vitesses variables quelquefois supérieures à 100 kilomètres à l'heure, il décrit une véritable spirale; si cette spirale est large, la tempête est très étendue et peu redoutable; si la spirale est resserrée, le mouvement giratoire du vent devient très marqué; alors la tempête prend le nom de *cyclone*, de *typhon*, d'*ouragan* ou de *tornado*, selon les pays.

Dans les régions équatoriales, aux Antilles, à la Nouvelle-Calédonie, dans l'océan Indien, dans la mer de Chine, ces phénomènes atteignent une terrible intensité.

Le capitaine de frégate Bridet se trouvait en mission à Mozambique à bord de la goélette l'*Eglé*, lorsqu'il fut assailli par un ouragan. Voici le récit qu'il en donne :

« Le 1<sup>er</sup> avril 1858, dans la nuit, le vent prit par rafales du S-E au S-S-E, accompagnées d'une pluie diluvienne. La mer, un peu grosse, était néanmoins arrêtée par la terre et ne fatiguait pas trop le navire mouillé sur deux ancres. A 6 heures du matin, le baromètre marquait 758<sup>mm</sup>.

« Vers midi, le baromètre continuant à baisser et le vent à augmenter sans changer de direction, nous vîmes bien que nous allions avoir affaire à un ouragan des tropiques, et nous primes nos précautions en conséquence.

« Deux autres ancres furent mouillées et filées avec les deux premières, qui se trouvèrent alors avec cinquante

brasses de chaîne, et les deux dernières avec vingt-cinq. Un trois-mâts portugais, à peu de distance de la goélette, ne nous permettait pas d'en filer davantage, mais nous étions par cinq brasses de fond avec nos quatre ancres, nous pouvions résister.

« La mâture fut réduite aux deux seuls bas mâts, et à deux heures de l'après-midi, nous n'avions plus qu'à attendre les effets du vent qui soufflait toujours du S-E avec la plus grande violence. Le baromètre marquait 755.

« Toute la journée le vent augmenta, et le baromètre baissa : à six heures du soir, il était à 748. La mer devenait très grosse malgré l'abri de la terre, et la goélette tanguait de manière à faire croire à chaque instant à la rupture des chaînes. Le plus grand nombre des bateaux arabes, à l'ancre près de nous, chassaient sur leurs faibles amarres, quelques-uns déjà étaient à la côte ; la nuit se faisait et le vent soufflait en augmentant encore.

« Vers neuf heures du soir, la pluie redouble d'intensité, le vent de fureur.

« A onze heures, le baromètre marque 742. A onze heures quarante-cinq minutes, un calme subit succède aux rafales au moment où elles semblaient augmenter de violence. La tempête s'est apaisée d'une façon si brusque, que nous passons sans transition des craintes les plus vives à la sécurité la plus complète. Le temps s'embellit, la pluie cesse.

« Autour de nous flottent les débris appartenant aux nombreux bateaux arabes qui sont déjà naufragés. Des cris se font entendre. et ce sont les Français qu'on implore. A quelque distance nous apercevons une masse noirâtre qui va à la dérive, et le temps est assez clair pour que nous distinguions quelques matelots cramponnés à ce débris flot-

tant : c'est une goélette portugaise qui a chaviré et sur la quille de laquelle ils se maintiennent à grand'peine. Malheureusement nous n'avions sur les porte-manteaux qu'une embarcation trop faible pour affronter la mer encore très grosse. Les cris s'éloignent et se perdent bientôt au milieu du bruit de la mer qui roule sur le rivage.

« Pendant que le temps semblait revenir au beau et que le calme le plus complet permettait de tenir sur le pont une bougie allumée, le baromètre se maintenait à 740 et nous indiquait que nous passions par le centre de l'ouragan, qui, suspendu pour un moment, allait reprendre avec fureur.

« A une heure, en effet, les premières rafales du N-W tombaient à bord comme un coup de foudre et faisaient pirouetter la goélette qui allait subir un nouvel assaut. Cette fois, le vent et la mer nous poussent sur l'île de Mozambique, à peu de distance de laquelle nous sommes mouillés. La mer venant du fond de la baie est tellement grosse qu'à chaque instant *l'Eglé* disparaît tout entière.

« Mais le danger le plus terrible vient d'une pagaie arabe qui s'était arrêtée à quelques brasses de nous : la direction tout à fait opposée du vent fait qu'elle est droite sur notre avant, et nous ne tardons pas à nous apercevoir qu'elle ne peut résister aux efforts de la tempête. Une heure se passe pleine d'anxiété fiévreuse ; la pluie a recommencé avec la saute de vent et la mer devient monstrueuse. La pagaie se rapproche et dans une rafale affreuse, vient tomber en travers sous notre beaupré. *L'Eglé*, soulevée par la mer, enfonce son avant dans le flanc du bateau ; des craquements se font entendre, les mâts et les vergues tombent à bord, et dans cette lutte entre deux faibles navires, il est à craindre qu'il y ait deux victimes.

« Enfin la pagaie cède, et ses deux tronçons nous quit-

tent, chargés encore de malheureux Arabes qui vont à la mort sans un geste, sans un cri, sombres et résignés, eux d'ordinaire si bruyants à la moindre manœuvre... Nous en avons sauvé quatorze avec les cordes que nous leur avons lancées ; les autres se noyaient à quelques brasses, sans qu'il nous fût possible de les arracher à la mort. A peine ces infortunés ont-ils disparu que nous songeons à nous-mêmes. La goélette ne fait pas d'eau, mais deux chaînes ont été cassées, les ancres chassent, nous sommes poussés à la côte par les coups de mer qui nous couvrent de bout en bout.

« Cependant, le baromètre remonte et nous indique que l'ouragan, s'il n'a pas diminué de violence, touche du moins à son terme ; il est trois heures du matin, et dans quelques heures nous pouvons être sauvés : cet espoir s'évanouit bientôt, un coup de talon nous annonce que nous sommes à la côte. Le gouvernail est démonté, la roue vole en éclats, nous sentons à chaque coup de mer le pont nous manquer sous les pieds, les mâts vibrent comme des joncs, nous menaçant à chaque instant de leur chute... L'avant de la goélette flotte encore, l'arrière seul frappe le fond. Elle pourrait se briser, mieux vaut l'échouer complètement. Les chaînes sont prises par l'avant, une voile nous fait abatre, le navire monte sur la plage et se couche sur un lit de sable. Nous sommes sauvés.

« Le spectacle qui s'offre à nous aux premières heures du jour est navrant. De tous les navires mouillés dans la baie, trois seuls ont résisté. Tous les bateaux arabes sont à la côte ; plus de deux cents hommes ont péri.

« L'ouragan a été terrible à terre : les plantations ont été ravagées, des arbres séculaires arrachés, les cocotiers brisés. Partout la dévastation et la ruine. »





Fig. 167. — Trombe observée à Norwich en Angleterre.

Les cyclones de l'Atlantique Nord ne sont pas moins redoutables que ceux de la mer des Indes, et les Antilles sont de temps à autre visitées par ces terribles météores. Le mois d'octobre 1780 a été particulièrement signalé par deux ouragans désastreux. Le premier détruisit Savanna-la-Mary sur la côte ouest de la Jamaïque. L'escadre de l'amiral Rodney s'y trouvait au mouillage, quatre de ses vaisseaux périrent et trois autres furent gravement endommagés. Quelques vaisseaux échappés à ce premier désastre se dirigeaient à grand'peine vers un port de refuge quand ils furent enveloppés par la seconde tempête et tellement maltraités que l'un d'eux sombra. Cette seconde tempête étendit ses ravages sur des points très éloignés les uns des autres ; les Barbades et les îles Leeward furent atteintes en même temps. Elle surprit au sud de la Martinique un convoi de cinquante bâtimens français escortés de deux frégates et portant cinq mille hommes de troupe ; sept seulement de ces navires parvinrent à se sauver.

Neuf mille personnes périrent à la Martinique, mille dans la seule ville de Saint-Pierre où pas une maison ne resta debout : la mer s'étant élevée de 23 pieds au moment du ras de marée, cent cinquante habitations furent englouties presque en même temps. A Saint-Eustache, vingt-sept navires vinrent se briser sur les rochers. Six mille personnes périrent à Sainte-Lucie, où les plus solides édifices furent détruits. La mer s'éleva à une telle hauteur qu'elle démolit le fort et qu'elle lança un navire jusqu'à l'hôpital maritime, qui fut écrasé sous son poids. « Il est impossible de décrire l'épouvantable spectacle présenté par les Barbades, » écrit G. Rodney dans son rapport officiel.

**Les trombes.** — Lorsque l'air, animé d'un mouvement rapide, se meut dans une direction donnée, rarement la



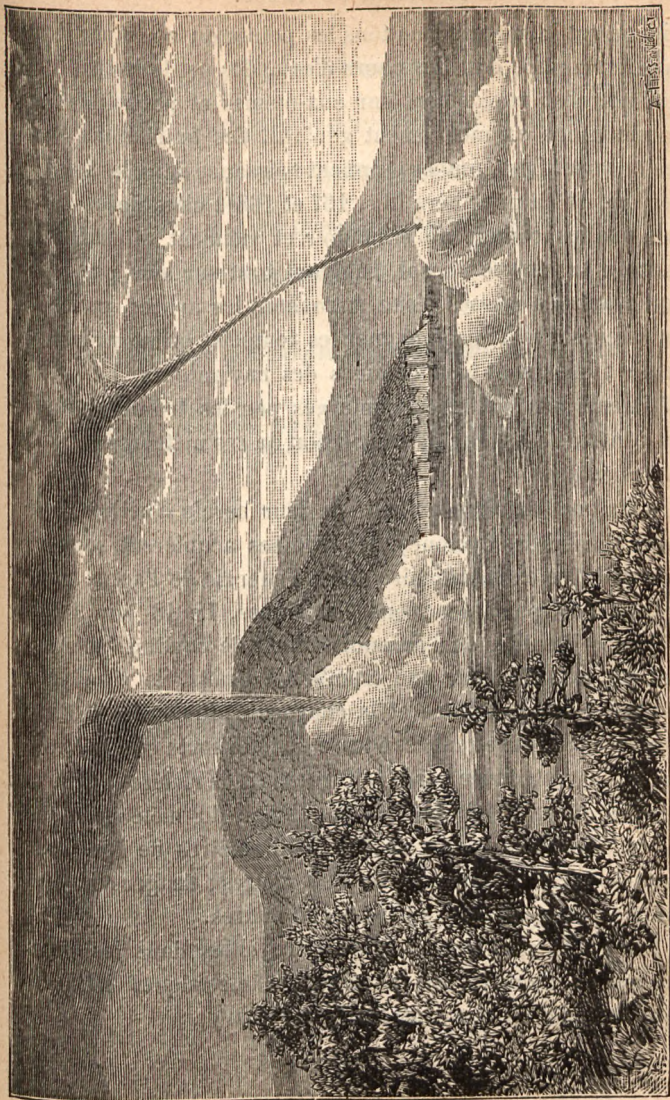


Fig. 168. — Trombes formées en mer en vue de Toulon, le 28 février 1881.

vitesse est la même dans tous les points du courant ; il en résulte, comme dans les cours d'eau, des petits tourbillons qui tournent rapidement sur eux-mêmes et participent en même temps au mouvement général. Ces tourbillons sont les *trombes*. Les trombes prennent naissance dans les hautes régions de l'atmosphère (fig. 167 et 168) ; elles descendent des nuages comme un entonnoir et viennent atteindre la mer ou la surface du sol, balayant tout sur leur passage, soulevant des masses d'eau, arrachant les arbres, etc. Les trombes peuvent accompagner les tempêtes ou se produire seules ; elles sont bien connues des navigateurs. De petits bâtiments peuvent être submergés par les trombes, mais en général la lenteur de translation de ces météores permet de les éviter.

« Malgré l'extrême exigüité de leur cercle d'action comparé à celui des cyclones, les trombes acquièrent souvent une violence extraordinaire due à l'énergie de l'appel central produit par les actions électriques. Le 18 juin 1863, plusieurs localités de l'arrondissement de Loudun (Vienne) ont été ravagées par une trombe. A Ceaux, le clocher a été renversé, la toiture et la charpente de l'église ont été enlevées et sont retombées à terre de telle sorte que la charpente s'est retrouvée sur la toiture ; entre la rivière et Ceaux, portion du pays très boisée, le passage du météore a été marqué par une trouée de 4 à 5 kilomètres de longueur sur une largeur moyenne de 200 mètres ; de gros noyers ont été enlevés et transportés à 100 mètres.

Les effets sont encore plus effroyables dans les pays chauds où l'activité des phénomènes électriques est plus grande que dans nos contrées (Marié-Davy).



**QUESTIONNAIRE.**

*A quel phénomène météorologique sont dues les tempêtes de nos pays ?*

*Qu'entend-on par cyclone, typhon, ouragan et tornades.*

*Décrivez un ouragan ?*

*Quels sont les signes qui permettent de prévoir l'arrivée prochaine d'un ouragan ?*

*Qu'entend-on par le mot trombe ?*

**EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.**

Lectures et récits sur les ouragans, les trombes et les typhons. Résumer les leçons qui ont été faites sur la prévision du temps et sur l'importance du baromètre comme instrument avertisseur.

# TROISIÈME PARTIE

## GÉOLOGIE

---

### CHAPITRE PREMIER

#### L'ÉCORCE TERRESTRE ET SES MOUVEMENTS.

---

##### I

#### **Formation de l'écorce terrestre.**

**Notions générales.** — La terre a la forme d'une sphère légèrement aplatie à ses deux pôles ; tout semble démontrer qu'elle était, pendant les premières périodes de son existence, à l'état fluide et pâteux et que les matériaux qui la composaient possédaient une température très élevée.

Après de longs siècles, l'énorme masse de matière fondue, perdant tous les jours par rayonnement une certaine quantité de sa chaleur dans l'espace, s'est trouvée assez refroidie pour produire une mince pellicule solide à sa surface.

Sur cette pellicule, les eaux, qui étaient alors suspendues à l'état de vapeur dans l'atmosphère, ont commencé à se condenser pour former les premières pluies, les premiers fleuves et les premiers océans.

L'épaisseur de l'enveloppe solide constituant *la croûte terrestre*, n'est pas la centième partie du rayon de la terre; sur un globe d'un mètre de rayon l'enveloppe n'aurait qu'un centimètre d'épaisseur, sur le globe de la figure 169 qui

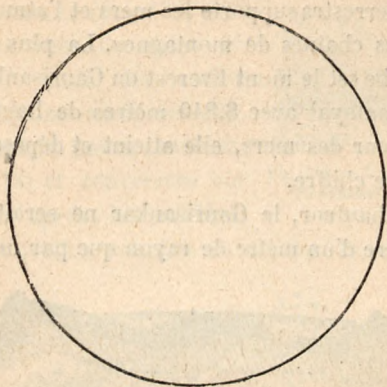


Fig. 169.

a  $0^m,025$  de rayon elle serait représentée par le trait qui limite le cercle.

Une écorce aussi mince a pu être soulevée en certains points et abaissée dans d'autres par des oscillations lentes



Fig. 170. — La première écorce terrestre.

du fluide intérieur ou par des contractions dues à son refroidissement. D'abord à peu près horizontale (fig. 170), elle a subi des dénivellations considérables, elle s'est brisée et ridée, comme le montre la figure 171 qui représente la disposition actuelle des terrains; les mouvements de l'écorce

terrestre, probablement plus violents aux premiers âges géologiques, se font encore sentir de nos jours.

La surface de la terre dépasse 50,000 millions d'hectares, et son volume atteint 1,082,841 millions de kilomètres cubes.

La croûte terrestre supporte les mers et l'atmosphère, ses rides sont les chaînes de montagnes. La plus haute montagne du globe est le mont Everest ou Gaurisankar de l'Asie centrale (Himalaya) avec 8,840 mètres de hauteur ; quant à la profondeur des mers, elle atteint et dépasse peut-être quelquefois ce chiffre.

Malgré sa hauteur, le Gaurisankar ne serait représenté sur une sphère d'un mètre de rayon que par une éminence

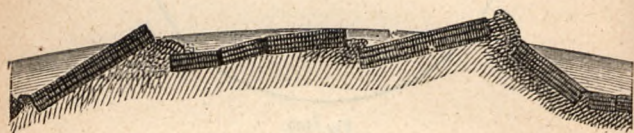


Fig. 171. — L'écorce terrestre brisée et ridée.

de 1 millimètre et demi, c'est-à-dire par une petite bosse tout à fait négligeable.

Les mers couvrent près des trois quarts de la surface de notre planète ; leurs eaux s'évaporent sous l'influence des rayons du soleil et produisent des nuages qui retombent en pluie et entretiennent les fleuves. La circulation de l'eau joue un grand rôle dans la formation des terrains ; c'est l'eau qui transporte les matériaux des vallées au fond des mers et qui tous les jours modifie le contour des continents en démolissant les falaises et en construisant des deltas.

**Les roches.** — Les parties constitutives de l'écorce terrestre ont été nommées *roches* par les géologues. On distingue deux sortes de roches : celles qui proviennent de la



solidification de matières en fusion, qu'on nomme *roches ignées* ou *éruptives*, et celles qui ont été déposées par les eaux, qu'on nomme *roches sédimentaires* ou *stratifiées*.

Les roches sédimentaires ont dû primitivement se déposer en lits horizontaux (fig. 172) et se recouvrir les unes les autres régulièrement; mais les roches éruptives les ont soulevées (fig. 173) quelquefois même contournées (fig. 174) et renversées sur elles-mêmes. Après les soulèvements, de nouvelles couches ou *strates* se sont déposées



Fig. 172. — Sédiments disposés en couches horizontales.



Fig. 173. — Sédiments soulevés par des roches éruptives.

horizontalement, et le terrain présente souvent la disposition de la figure 175.

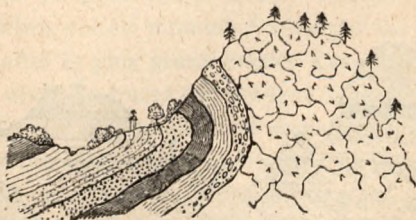


Fig. 174. — Sédiments contournés par des roches éruptives.

Dans la chaîne du Jura (fig. 176) les couches du sol sont ondulées et forment des vallées de soulèvement. Souvent

les dépôts stratifiés sont rongés par les eaux et creusés

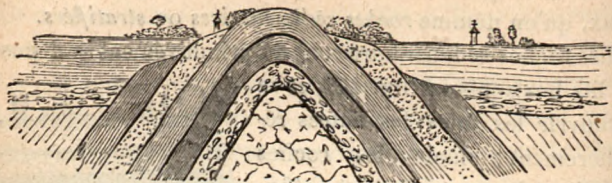


Fig. 175. — Roches sédimentaires déposées après un soulèvement.

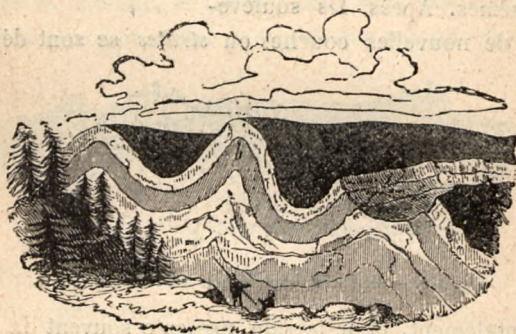


Fig. 176. — Disposition des terrains dans la chaîne du Jura.



Fig. 177. — Terrains stratifiés rongés par les eaux.

comme le montre la figure 177; il y a alors formation d'une

vallée d'érosion. D'autres fois ces dépôts sont traversés par



Fig. 178. — Roche éruptive traversant un terrain de sédiment.

des roches éruptives (fig. 178) ou injectés par des filons métallifères (fig. 179).

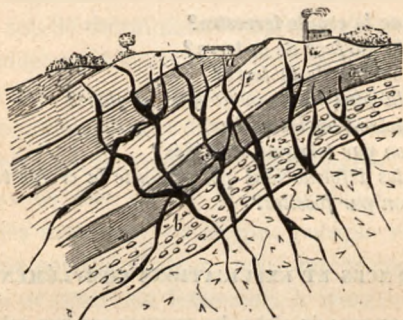


Fig. 179. — Filons métallifères dans des roches stratifiées.

**Les fossiles.** — Si on fouille avec soin les roches sédimentaires, on y rencontre des débris d'animaux et de végétaux ; ces débris ont été nommés *fossiles* par les géologues ; leur étude offre le plus grand intérêt. Les êtres dont nous retrouvons ainsi les traces ont presque tous disparu de la surface du globe qu'ils habitaient autrefois ; leurs espèces sont éteintes, anéanties et complètement perdues.

Pour expliquer la disparition des espèces animales et végétales, les géologues ont d'abord pensé que de grands cataclysmes avaient bouleversé l'écorce terrestre, soulevant les montagnes, déchirant les vallées et déplaçant les océans ; mais, de nos jours, les géologues professent des théories

plus rationnelles ; ils pensent que les causes qui ont amené la formation des terrains existent et fonctionnent encore, et ils expliquent tous les phénomènes géologiques anciens en examinant les phénomènes géologiques actuels. Ce sont ces phénomènes que nous allons étudier dans les leçons qui suivent.

#### QUESTIONNAIRE.

*Qu'est-ce que la croûte terrestre?*

*Quelle est la surface de la terre?*

*Quel est le volume de la terre?*

*Quelle est la plus haute montagne du globe?*

*Comment divise-t-on les roches?*

*Qu'entend-on par terrains stratifiés?*

*Expliquez les déformations que présente la croûte terrestre.*

*Qu'entend-on par fossiles?*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Grandes montagnes du globe, les montrer sur une sphère terrestre. Grandes profondeurs des océans, exploration des profondeurs de l'océan par les missions scientifiques du *Challenger* et du *Porcupine*. Expéditions françaises de M. Alph. Milne-Edwards sur le *Travailleur* et le *Talisman* (voir *la Nature*). Diverses formes de stratifications, insister sur la formation des vallées par soulèvement ou par érosion.



## II

### Mouvements de l'écorce terrestre.

Lorsqu'on creuse un trou de sonde dans l'écorce terrestre, on peut constater que, quelle que soit la région dans laquelle on opère, la température s'élève à mesure que la profondeur augmente. A Paris, à 28 mètres environ de la surface du sol, le thermomètre marque en toutes saisons 11° centigrades; au delà de 28 mètres, la température augmente d'environ 1° pour 30 mètres. A 3 kilomètres de profondeur le sol atteint déjà la température de l'eau bouillante, et à 90 kilomètres il doit marquer 3,000 degrés!

Nous pouvons dire que le noyau de notre planète est formé par des matériaux en fusion, puisque rien ne peut résister à une pareille chaleur; mais *sur ce noyau*, liquide et lourd, qui se contracte lentement, à mesure qu'il se refroidit, *la croûte terrestre s'applique exactement, et, pour suivre la contraction du noyau intérieur, elle se plisse et se ride* comme la peau d'un petit pois qui se dessèche; de là *des mouvements du sol* qui sont, les uns brusques, les autres lents et insensibles.

**Mouvements lents de l'écorce terrestre** (1). — Il paraît constaté que tout le nord de l'Europe et de l'Asie, la Sibérie, la Finlande, la Laponie, la Scandinavie, le Spitzberg, la côte occidentale du Grœnland, subissent actuellement un exhaussement de 1<sup>m</sup>,50 par siècle. Ce mouvement, qui se fait d'une manière insensible pour les habitants, est cependant la

(1) Cette leçon est en grande partie tirée de l'excellent *Cours élémentaire de géologie* de M. J. Gosselet, professeur à la Faculté de Lille (Eug. Belin, édit.).

cause d'un refroidissement général de toute la contrée. Les missions danoises du Grœnland qui étaient prospères au ix<sup>e</sup> siècle ont été enfouies sous les glaciers à la fin du xiv<sup>e</sup>. Au Spitzberg, la rade de Bell-Sund où les flottes russes allaient jeter l'ancre est maintenant occupée par un glacier, et près de là on trouve des traces d'ancienne plage à 45 mètres de hauteur.

Au sud de cette zone qui s'élève il s'en trouve une autre qui subit un mouvement inverse. Les rivages de la partie sud de la Baltique, de la mer du Nord et de la Manche paraissent s'enfoncer. Dans la Scanie plusieurs rues sont au-dessous du niveau de l'océan; le golfe de Kœnigsberg occupe l'emplacement de l'ancienne province de Vitandu. Les murailles de la citadelle de Brettenbourg construites par les Romains à l'embouchure du vieux Rhin étaient encore visibles en 1520 à 1 kilomètre en mer. Toute la côte du Cotentin est bordée de forêts submergées qui s'étendent très loin en mer. Au moyen âge le mont Saint-Michel était réuni au continent ainsi que les îles de Jersey et d'Aurigny, comme le montre une ancienne carte et comme le constatent des chartes rapportant certains privilèges que possédait l'évêque de Coutances au sujet de la planche sur laquelle il devait passer pour aller visiter Jersey. Cette île n'était alors séparée du continent que par un ruisseau.

**Mouvements brusques de l'écorce terrestre.** — Les mouvements brusques de l'écorce terrestre sont nommés *tremblements de terre*; ils s'effectuent tantôt verticalement, tantôt horizontalement.

Un des plus violents tremblements de terre qui aient eu lieu en Europe est celui qui détruisit Lisbonne le 1<sup>er</sup> novembre 1755. Le premier choc se fit à 9 heures du matin, suivi presque immédiatement de deux autres. Le palais du

roi, les couvents, tous les monuments s'écroulèrent; un quart des maisons particulières eut le même sort. La mer monta en un instant de 12 mètres, envahit une partie de la ville et se retira subitement entraînant tout sur son passage. Le feu des cuisines se communiqua aux matières combustibles que l'écroulement des maisons avait renversées; un vent violent, qui avait succédé au calme, souffla l'incendie, et, au bout de trois heures, les ruines de la ville furent réduites en cendres. Vers midi une seconde secousse détruisit ce qui restait debout, 30,000 personnes perdirent la vie.

Le port de Schibal près de Lisbonne fut submergé par une vague énorme. A Cadix la mer s'éleva de 20 mètres au dessus de son niveau ordinaire. Dans le Maroc plusieurs villes furent détruites. Ce terrible tremblement de terre se fit sentir au loin. Les lacs de Suisse et de Suède furent violemment agités sans qu'il y eût de vent; le Vésuve, alors en éruption, s'arrêta tout à coup; les eaux thermales de Tœplitz tarirent, puis revinrent chargées de rouille. Aux Antilles, la mer s'éleva instantanément de plus de 7 mètres. Le centre du mouvement paraît avoir été dans l'océan, car un vaisseau voguant à 50 lieues à l'ouest du Portugal reçut une secousse si violente qu'il fut fortement endommagé et que l'équipage crut avoir touché sur un rocher.

En Calabre, il y eut également vers la fin du xviii<sup>e</sup> siècle, des tremblements de terre moins violents que celui de Lisbonne, mais qui durèrent plus longtemps. Ils commencèrent le 5 février 1783 et durèrent jusqu'à la fin de 1786. Presque toute la contrée fut minée; toutes les villes détruites: 40,000 personnes périrent. Le prince de Scylla avait engagé ses sujets à se tenir dans leurs barques pour éviter d'être écrasés par la chute de leurs maisons. Mais la mer se souleva, couvrit la ville de Scylla, renversa les barques et en

porta quelques-unes jusque sur les flancs des Apennins. 1,500 personnes, dont le prince, furent victimes de cette inondation.

Les effets géologiques des tremblements de terre de Calabre ont été bien étudiés par plusieurs savants et surtout par le géologue français Dolomieu qui, au péril de sa vie, parcourut toute la contrée pendant qu'elle était soumise au fléau.

En maints endroits le sol se fendit (fig. 180) : tantôt les

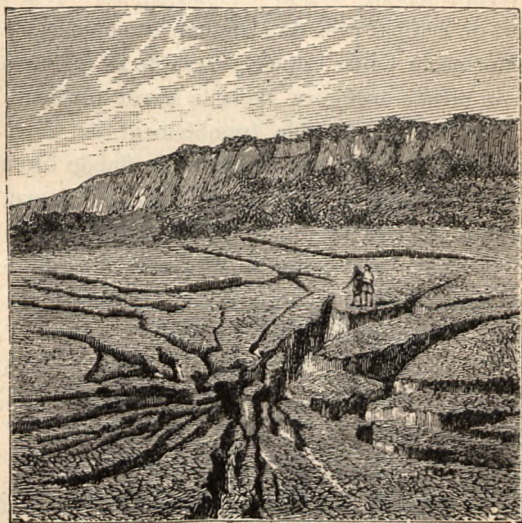


Fig. 180. — Crevasses produites par les tremblements de terre.

crevasses restèrent béantes, tantôt elles se refermèrent subitement en ensevelissant les habitations, les bestiaux et les hommes qui y étaient tombés. Souvent une des lèvres de la fente s'abaissait pendant que l'autre s'élevait (fig. 181). Ces



fentes accompagnées d'un changement de niveau d'un des côtés par rapport à l'autre constituent ce que les géologues ont nommé des *failles* (fig. 182).

Outre les fentes (fig. 183), il se produit des gouffres (fig. 184) plus ou moins circulaires et des petites cavités en forme d'entonnoir remplies

de sable venant des couches profondes du sol (fig. 185).

En 1835, la côte du Chili s'éleva subitement de 50 centimètres à 1<sup>m</sup>,50; sur une longueur de près de 2,000 kilomètres. Ce mouvement ajouta au continent 260,000 kilomètres carrés, c'est-à-dire à peu près la moitié de la superficie de la France.

A une époque très rapprochée de nous une épouvantable catastrophe a eu lieu dans l'île d'Ischia. Cette île est située à une trentaine de kilomètres à l'ouest du Vésuve; elle abonde

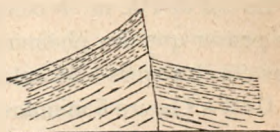


Fig. 181. — Une faille.

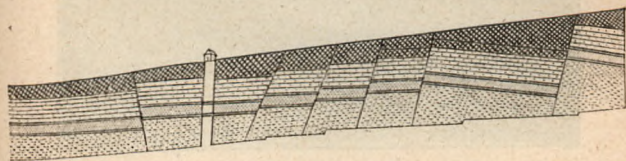


Fig. 182. — Série de failles dans des roches stratifiées.

en sources minérales qui en font une des stations thermales les plus estimées (fig. 186).

C'est une île volcanique ayant près de 25 kilomètres de contour. Trois cônes de cratères éteints se trouvent en son milieu, à une élévation de 400 mètres au-dessus du niveau de la mer; ils ont fait une dernière éruption de lave en 1306.

Ces volcans appartiennent à la chaîne des Monti-Flagrei, qui forment une ramification des Apennins.

Le sol de l'île ne se compose que de lave, ce qui permet de penser que des phénomènes volcaniques peuvent n'avoir pas été étrangers à la catastrophe en question.

C'est à 1 heure 5 minutes dans l'après-midi du 4 mars 1881



Fig. 183. — Fente produite par un tremblement de terre.

que les secousses ont commencé ; elles ont duré sept secondes.

Ces secousses ont fait tomber près de trois cents maisons dans la petite ville de Casamicciola et ont causé la mort de cent cinquante habitants engloutis dans les décombres.

La scène qui s'est passée au moment du désastre est indescriptible. Les maisons qui s'écroutaient par centaines

produisaient un fracas effrayant. Des nuages de poussière s'élevaient de toutes parts. Une foule de gens ensanglantés couraient par les rues, affolés de terreur, et les cris de centaines de blessés se mêlaient aux râles des mourants et au tocsin sinistre que faisaient entendre les cloches des églises.



Fig. 184. — Gouffre produit par un tremblement de terre.

Les secousses se sont répétées deux fois dans l'espace de trente-six heures, mais elles n'ont jamais été si violentes que la première fois. Le second jour, elles ont été aussi ressenties dans la petite ville de Lacey, située à la distance de 4 kilomètres de Casamicciola où treize maisons se sont écroulées.

Quant à Casamicciola, dans les trois rues principales au-



cune maison n'est restée debout. Cette ville comptait près de 5,000 habitants.

Le Vésuve était en éruption au moment du désastre. Des témoins oculaires assurent que, quelques moments avant le tremblement de terre, les eaux de l'île sont entrées dans une espèce d'ébullition et que les secousses ont été accompa-



Fig. 185. — Cavités circulaires produites par les tremblements de terre de Calabre.

gnées par de profonds bruits roulants et souterrains. Le lendemain de la catastrophe, d'autres secousses très violentes ont été perçues à une distance de 4 kilomètres, ce qui affirme le caractère volcanique du phénomène.

Le 28 juillet 1883 un nouveau tremblement de terre, plus formidable peut-être que le premier, est venu consommer la ruine de l'île d'Ischia en faisant plus de 3,000 victimes (1).

(1) *La Nature*, 1881 et 1883, Masson, édit.



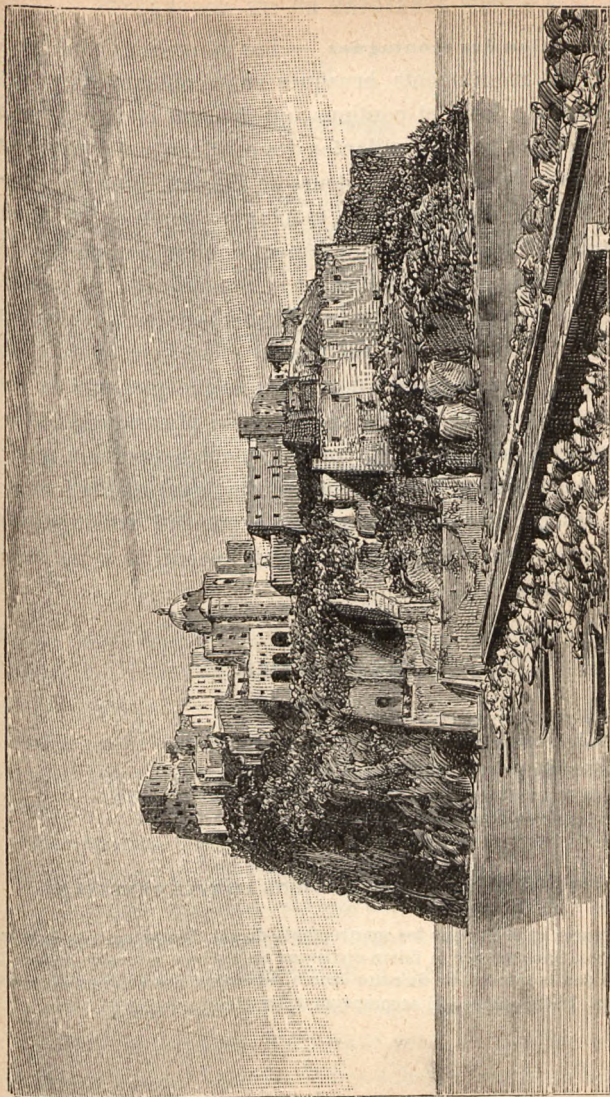


Fig. 186. — Une vue d'Ischia (d'après une photographie).

**Formation des montagnes.** — Les montagnes sont le résultat de mouvements brusques se combinant avec des mouvements lents et continus qui tendent chaque jour à exhausser les parties saillantes des continents et à enfoncer les plaines dans les profondeurs de l'Océan. Rien ne s'oppose à ce qu'une chaîne de montagnes comme les Alpes ne soit le résultat d'un mouvement continu comparable à celui qui exhausse actuellement la Scandinavie, se combinant avec une succession de tremblements de terre analogues à ceux qui en 1830 ont subitement élevé la côte du Chili de 1<sup>m</sup>,30. Rien ne prouve non plus que quelques-uns de ces mouvements n'ont pas eu une intensité plus considérable. Ce que l'on peut affirmer, contrairement à l'opinion généralement admise il y a quelques années, c'est que la formation des chaînes de montagnes n'a pas été accompagnée d'un immense cataclysme qui aurait anéanti tous les êtres vivants (Gosselet).

#### QUESTIONNAIRE.

*Expliquez les mouvements du sol.*

*Citez quelques contrées en état d'exhaussement.*

*Citez des contrées en état d'affaissement.*

*Dites ce que vous savez sur les tremblements de terre.*

*Parlez de la formation des montagnes.*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Lectures et récits sur les mouvements du sol. Tremblements de terre célèbres. Insister sur la faible épaisseur de l'écorce terrestre et sur la cause des mouvements de cette écorce. Direction des chaînes de montagnes. Phénomènes qui accompagnent les tremblements de terre.

### III

#### Les Volcans.

Les volcans sont des montagnes plus ou moins élevées présentant un orifice par lequel s'échappent des gaz, de la vapeur d'eau et des matières fondues.

Leur nombre est considérable, il y en a près de quatre cents en activité et plusieurs centaines d'autres qui semblent



Fig. 187. — La chaîne des puys en Auvergne.

éteints pour toujours. Au centre de la France, en Auvergne, la chaîne des Puys (fig. 187) est constituée par une suite de cônes volcaniques dont les cratères ont vomis une roche lourde et noire, le *basalte*; ces cônes ont depuis longtemps terminé leurs éruptions; les volcans actuels vomissent des *laves*.

**Distribution géographique des volcans.** — En général les volcans en activité sont situés à peu de distance de la mer : la grande majorité est répartie sur les rives de l'océan Pacifique, autour duquel elle forme comme un cercle de feu. Suivons sur la mappemonde, à partir du Kamtchatka, le cordon d'îles qui longent le rivage oriental de l'Asie.

Sur tout le trajet est une longue série de bouches volcaniques, ce sont les volcans du Kamtchatka, des Kouriles, du





Fig. 188. — *Le* Vésuve en éruption (novembre 1878).



Japon, des Philippines, de Bornéo, de Sumatra, de Java et autres îles de la Sonde. Cette série se continue par les volcans de la Nouvelle-Guinée, des îles Salomon, des îles Tonga, de la Nouvelle-Zélande. Sur la rive orientale du Pacifique, le circuit volcanique se complète par les nombreux volcans de la Cordillère des Andes, du Mexique, de la Sierra Nevada, de la Colombie anglaise, du territoire d'Alaska, et enfin des îles Aléoutiennes. A l'intérieur de ce cercle de feu sont les volcans des îles Sandwich, des Mariannes et des îles Galapagos (J.-H. Fabre). L'Europe a pour volcans actifs le Vésuve (1,190 mètres, fig. 188) près de Naples ; l'Etna (3,315 mètres, fig. 189) en Sicile ; le Stromboli, dans le petit archipel de Lipari, au nord de la Sicile ; l'Hécla (1,690 mètres, fig. 190) et le Skaptar Jökuhl, en Islande.

Les volcans peuvent être regardés comme des événements naturels au moyen desquels la surface de la croûte terrestre est mise en communication avec les matières fondues de l'intérieur. Leurs parties essentielles sont donc ; 1° une *cheminée par laquelle se fait l'ascension des matières, et, 2° un* amas de matériaux rejetés au milieu duquel la cheminée vient s'ouvrir, qu'on nomme le cône d'éjection.

Au repos, le volcan actif laisse échapper des *fumées* et des *vapeurs* qui le surmontent comme un panache ; en état d'éruption, il lance des cendres et des fragments de lave solide et produit une abondante fumée noire qui s'élève d'abord comme une colonne et s'étale ensuite horizontalement à plusieurs milliers de mètres de hauteur. Un grand bruit accompagne ces projections ; rappelant le roulement du tonnerre, ce bruit peut être transmis à d'énormes distances par l'intermédiaire du sol. Ainsi en 1877 l'éruption du Cotopaxi fut entendue à Quito et à Guayaquil, c'est-à-dire à 350 kilomètres du volcan.



Fig. 189. — Éruption de l'Etna le 22 mars 1883. — 1, lieu de l'éruption; — 2, Monti-Rossi; — 3, village de Nicolosi.

Les blocs rejetés par la cheminée volcanique sont souvent très volumineux ; ils sont quelquefois projetés à plusieurs kilomètres de distance ; il en est de même des cendres que les courants atmosphériques entraînent. En l'année 512, la cendre du Vésuve alla tomber jusqu'à Constantinople et à Tripoli, et l'éruption survenue en Islande, à la fin de mars 1875, fut accompagnée d'une pluie de cendres à Stockholm, c'est-à-dire à une distance de 1,900 kilomètres.

Lorsque la montagne volcanique est couverte de neige, la neige fond au moment de l'éruption et cause des inondations terribles. Ce fait se produit souvent en Islande.

**Coulées de lave.** — Le fait capital d'une éruption volcanique, c'est l'émission de la *lave*. La lave est une roche fondue qui coule pardessus les bords du cratère ou par des fentes ouvertes sur les flancs du volcan. Un lac de lave incandescente remplit parfois le cratère (fig. 191) et s'y durcit à la fin de l'éruption.

Les coulées de lave couvrent d'immenses espaces et sont parfois extrêmement abondantes. La plus grande coulée qu'on ait observée dans les temps modernes, dit M. de Lapparent, est celle qui en 1855 et 1856 s'échappa du Mauna Loa. Quelques mois après le commencement de l'éruption, elle avait, avec tous ses détours, près de 100 kilomètres de long, 4,800 mètres de largeur moyenne et, en certains points, sa hauteur atteignait 100 mètres. Néanmoins, à 16,000 mètres de son origine, on pouvait encore entrevoir la lave bouillante à travers sa croûte de scories. La coulée de 1880, sur le même volcan, avait de 60 à 80 kilomètres.

En 1783, le Skaptar Jökuhl d'Islande laissa s'épancher trois courants de lave qui, après avoir comblé les inégalités de leur lit dans la montagne, s'épanouirent dans la plaine sous la forme de lacs de lave ayant de 20 à 24 kilomètres





Fig. 190. — Éruption de l'Hécla le 24 mars 1878. — \* l'Hécla; \*\* le Tin Fjeld; \*\*\* Oster Jökuhl; \*\*\*\* Mirdahl Jökuhl.



de diamètre sur 30 mètres de profondeur. La plus grande de ces coulées avait 81 kilomètres; une autre atteignait 65 kilomètres.

On a observé à l'île Bourbon, en 1776 et 1787, des coulées d'environ 68,700,000 et 86,000,000 de mètres cubes. Le courant de lave qui, sorti du Vésuve, détruisit en 1794 le village de Torre del Greco, avait 5,700 mètres de long avec un front de 650 mètres de largeur sur 13 mètres de hauteur. Les volcans peuvent être sous-marins et déterminer la formation d'îles; l'île Santorin (fig. 193), par exemple, apparut dans la Méditerranée après de violents tremblements de terre, et, en juillet 1831, l'île Julia émergea à 30 milles au sud-ouest de la Sicile, par suite d'une éruption sous-marine; elle disparut au mois de décembre de la même année.

Certaines îles ne sont que d'anciens cratères volcaniques, les géologues ne se trompent pas sur leur origine tant leur forme est caractéristique; ils les reconnaissent aussi à la nature de leur sol (fig. 192).

Dans les régions volcaniques on rencontre des *fumerolles* et des *solfatares* qui laissent dégager des gaz plus ou moins délétères. Les fumerolles sont des crevasses percées au flanc du volcan par lesquelles s'échappent des torrents gazeux d'acide carbonique, d'acide sulfhydrique, d'acide sulfureux et d'acide chlorhydrique. Dans une grotte voisine de Pouzzoles, le gaz carbonique est si abondant qu'il forme une nappe de plusieurs centimètres de hauteur au-dessus du sol; les chiens y meurent suffoqués mais les hommes, qui à cause de leur taille plus élevée respirent un air plus pur, peuvent visiter cette grotte nommée la *Grotte du chien*. A Java, la *Vallée du poison* est célèbre; c'est un ancien cratère qui exhale sans cesse de l'acide carbonique irrespirable; tous les êtres vivants qui y pénètrent y meurent asphyxiés.

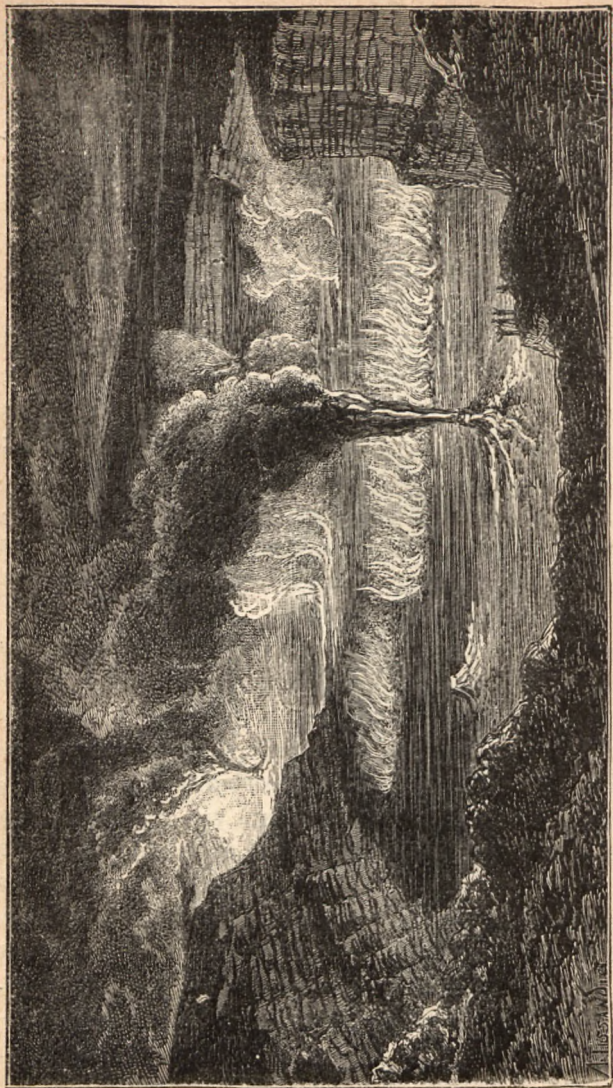


Fig. 191. — Le cratère du Kilauea, rempli de lave incandescente (îles Sandwich).

aussi est-elle jonchée de débris d'oiseaux et de bêtes fauves.

Les solfatares produisent des vapeurs sulfureuses et des



Fig. 192. — Forme caractéristique des îles volcaniques.

dépôts de soufre exploités; les plus célèbres sont celles de Pouzzoles et du Monte-Cittio à Ischia.

#### QUESTIONNAIRE.

*Qu'est-ce qu'un volcan ?*

*Parlez des volcans éteints. Quelle est leur forme ?*

*Pointez sur une mappemonde la position des volcans.*

*Quels sont les volcans d'Europe ?*

*Quels sont les produits vomis par les volcans ?*

*Parlez des volcans sous-marins et des îles volcaniques.*

*Qu'entend-on par solfatares ?*

*Qu'est-ce que la Grotte du chien ?*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Lectures et récits sur les volcans et sur les éruptions célèbres. Description des volcans éteints de l'Auvergne; insister sur les phénomènes qui accompagnent les éruptions volcaniques.



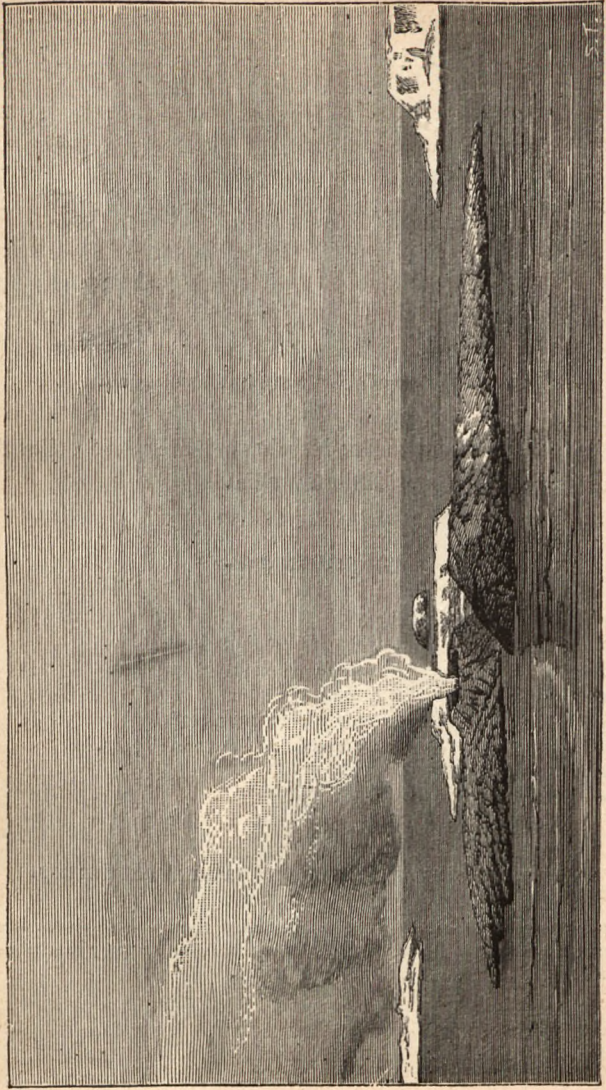


Fig. 193. — Vue de l'île de Santorin, dans la Méditerranée. (Février 1867.)



## CHAPITRE II

### LE ROLE DE L'EAU EN GÉOLOGIE

---

#### I

#### **Les mers et les courants marins.**

L'atmosphère possède des courants réguliers, il en est de même des océans : l'eau, chauffée à l'équateur se dirige vers les pôles, et l'eau froide des pôles descend vers l'équateur.

Outre ces courants causés par les différences de température, il y en a d'autres qui sont dus à la rotation de la terre. Un point de l'équateur terrestre fait 7 lieues par minute en tournant autour de l'axe de la planète ; mais l'eau, en raison de sa fluidité, obéit moins facilement que la masse solide au mouvement de rotation de la terre de l'ouest à l'est, principalement à l'équateur, là où la vitesse est la plus grande ; il en résulte que les eaux équatoriales sont un peu en retard sur le mouvement général, et donnent ainsi naissance à un courant qui se propage en sens inverse, c'est-à-dire de l'est à l'ouest.

Si les mers recouvraient tout le globe, ce *courant équatorial* ferait régulièrement le tour de la terre dans la direction est-ouest, mais il se heurte à l'Amérique dans l'Atlantique, à l'Asie dans l'océan Pacifique, de là résultent des déviations.

**Courants marins.** — Le courant équatorial de l'Atlan-

tique se dirige des côtes de la Guinée, en Afrique, vers les côtes du Brésil, dans l'Amérique méridionale. Là, il se divise en deux branches, dont l'une descend au sud et longe l'Amérique, tandis que l'autre remonte au nord en pénétrant dans le golfe du Mexique. Occupons-nous spécialement de cette dernière, la plus importante pour nous.

Ses eaux, chauffées pendant leur long parcours sous l'équateur, gagnent encore en température dans le golfe du Mexique; elles s'en échappent en formant un nouveau courant appelé le *Gulf-Stream* (fig. 194), c'est-à-dire courant du golfe. C'est un fleuve d'eau tiède au milieu de la mer. Ses rives et son lit sont les eaux les plus froides de l'océan. A son origine, le *Gulf-Stream* mesure une largeur de 14 lieues et une profondeur de 300 à 400 mètres. La rapidité de son cours est d'abord de 2 lieues par heure, mais elle diminue peu à peu, tout en conservant jusqu'à la fin une valeur assez considérable. Les deux géants des fleuves, l'Amazone et le Mississipi, ne roulent pas la millième partie de ses ondes. Ses eaux, d'une belle teinte bleue, se dessinent nettement sur le fond vert des eaux communes de l'Océan. Cet étrange fleuve qui coule dans des eaux plus froides que les siennes, se maintient néanmoins encaissé entre ses rives fluides, et, jusqu'à la hauteur des Açores, il n'y a pas de mélange entre les flots bleus et les flots verts.

Après avoir remonté les côtes de l'Amérique, le *Gulf-Stream* se divise en deux branches, dont l'une se dirige vers les Açores, longe les côtes de l'Afrique, s'infléchit alors vers l'ouest et rentre dans le golfe du Mexique, parallèlement au courant équatorial.

La seconde branche, continuant sa marche vers le nord-est, côtoie l'Irlande, l'Écosse, la Norvège et disparaît enfin sous les glaces du pôle.

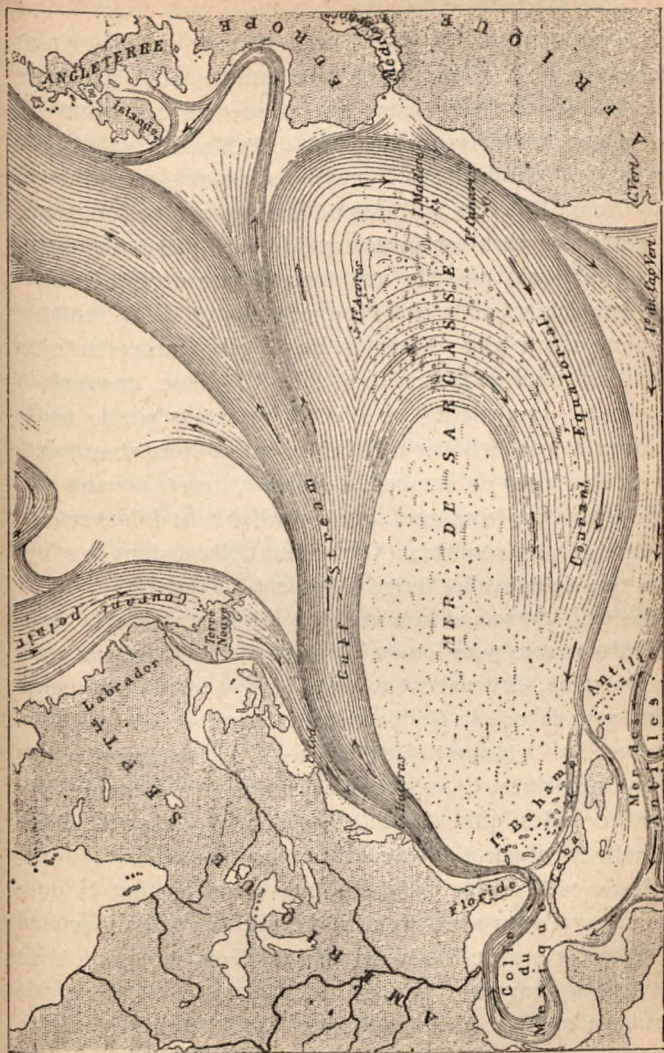


Fig. 194. — Courant équatorial et Gulf-Stream.

C'est à la chaleur des eaux de cette seconde branche que les côtes occidentales de l'Europe doivent un climat plus doux que ne le comporterait leur latitude. A défaut de ce surcroît de chaleur amené par ce merveilleux calorifère océanique, les hivers de nos côtes de la Manche, de l'Angleterre, de l'Islande, de la Norwège, seraient bien autrement rigoureux. Dans les latitudes où la température commence à descendre en hiver au-dessous du zéro thermométrique, le *Gulf-Stream* possède une température de 26°. Ce n'est pas simplement de la chaleur que le courant de l'Atlantique apporte aux régions boréales. Des troncs d'arbres balayés sur les rivages de la Floride et de la Louisiane, des graines tropicales, remontent vers le nord, entraînés par le *Gulf-Stream*, et vont échouer en Islande, au cap Nord et au Spitzberg. Des tubes de bambou, des bois sculptés, poussés aux îles Açores par le courant, ont contribué à la découverte de l'Amérique, en confirmant Christophe Colomb dans le soupçon que de nouvelles terres existaient à l'ouest.

Le *Gulf-Stream* et la branche qui s'en sépare à la hauteur des Açores pour longer l'Afrique et rentrer dans le golfe du Mexique, circonscrivent une étendue d'eau dormante plus grande que la Méditerranée et nommée *mer des Sargasses*. La botanique donne le nom de sargasses à des plantes marines, à des algues couvertes de nombreuses vésicules rondes, qui ont valu à ces mêmes plantes les dénominations vulgaires de *raisins de mer* ou *raisins des tropiques*.

Dans cette espèce de bassin, que cerne partout le courant, les algues s'amassent et se multiplient au point de former des prairies flottantes, des tapis enchevêtrés, où les navires se frayent avec peine un passage. Colomb, à son premier voyage, eut l'imagination vivement frappée de ce spectacle nouveau pour lui, et il lui fallut toute sa fermeté



d'âme pour franchir, malgré les murmures de ses compagnons démoralisés, cette mer insidieuse qui menaçait de retenir ses vaisseaux captifs dans le réseau des herbages océaniques.

Au courant d'eau chaude qui, du golfe du Mexique, remonte vers le nord, correspond un *contre-courant* d'eau froide venu des régions polaires et nommé courant de la *baie d'Hudson*.

Il débouche dans l'Atlantique par la mer de Baffin, enveloppe Terre-Neuve, et se propage en sens inverse du *Gulf-Stream*, entre celui-ci et les côtes occidentales des États-Unis, dont il refroidit le climat. Ses eaux sont froides, ternes, verdâtres et médiocrement salées.

Ainsi, du côté de l'Europe se dirigent deux sources de chaleur : le *Gulf-Stream* et l'alizé du sud-ouest ; au contraire, le littoral de l'Amérique du Nord est longé par un courant d'eau froide, le courant polaire descendu par la mer de Baffin. Pour ces deux causes, à parité de latitude, le climat de l'Amérique est plus rigoureux que le climat de l'Europe sur les rivages de l'Atlantique, ou, ce qui revient au même, pour trouver une température moyenne pareille, il faut remonter plus au nord de l'Europe et descendre plus avant dans le midi en Amérique. L'extrême Laponie est à 0°. Sous le même parallèle, on trouve en Amérique une température de 10° au-dessous de zéro dans le voisinage de l'Atlantique et de 15° au-dessous de zéro, dans l'intérieur des terres. Pour trouver cette moyenne 0°, il faut avancer d'une vingtaine de degrés plus au sud, sous le parallèle 51, c'est-à-dire presque vers Terre-Neuve, correspondant en latitude au nord de la France, où la température moyenne est de 10° environ.

Dans le Pacifique, le courant équatorial part des côtes de la Colombie, en Amérique, et se divise en deux bran-

ches, à travers les archipels de l'Océanie. La branche méridionale couronne l'Australie et va au devant des eaux froides venues du pôle sud ; la branche septentrionale se heurte à l'Asie, s'y infléchit et se dirige au nord en longeant le Japon, où elle prend le nom de *fleuve noir* à cause de la couleur indigo foncé de ses eaux. Cette branche pénètre dans la mer de Behring, où elle rencontre les glaces flottantes et les eaux froides d'un contre-courant venu des mers polaires par le détroit du même nom, puis se recourbe au contact de l'Amérique du nord et retourne se confondre avec le courant équatorial, en entourant de son circuit une étendue couverte d'algues flottantes et comparable à la mer des Sargasses.

Dans l'océan Indien, le courant équatorial est dévié au sud par les côtes de l'Afrique et forme entre celle-ci et l'île de Madagascar le courant de Mozambique. Il a, comme les précédents, sa mer des Sargasses au centre du circuit. Les contre-courants d'eau froide lui viennent des mers du pôle sud et charrient des glaces flottantes parfois jusqu'à proximité du cap de Bonne-Espérance.

Beaucoup de détroits ont des courants dus à l'inégale rapidité d'évaporation des deux mers qu'ils font communiquer entre elles. Ainsi, à surface égale, la Méditerranée perd, sous les rayons du soleil, plus d'eau que ne le fait l'océan Atlantique. Pour remplacer l'eau disparue et rétablir le niveau, il entre par le détroit de Gibraltar un courant venu de l'Atlantique. Mais cela ne suffit pas. L'évaporation, en effet, n'enlève que l'eau et laisse entièrement le sel. Si donc la Méditerranée recevait toujours de l'Océan sans perdre elle-même autre chose que l'eau pure évaporée, la salure irait toujours en augmentant, et la mer finirait par se prendre en un banc de sel. Cet excès de salure est

évitité de la manière suivante ; tandis qu'il entre par le détroit de Gibraltar de l'eau peu salée venant de l'Océan, il sort par le même détroit de l'eau très salée venant de la Méditerranée, la première en grande abondance pour rétablir le niveau des eaux, la seconde en moindre quantité pour rejeter le sel surabondant. Le détroit est ainsi parcouru par deux courants inverses et superposés, le courant de surface est formée par l'eau qui entre moins salée, et par conséquent plus légère ; le courant du fond est formé par l'eau qui sort plus salée et par suite plus lourde.

Semblables faits se répètent, mais avec plus d'intensité, au détroit de Bab-el-Mandeb. La mer Rouge, située sous un ciel ardent, subit une évaporation énorme, et de plus elle ne reçoit les eaux d'aucun fleuve. Pour rétablir le niveau et maintenir la salure à un degré constant, un fort courant d'entrée et un moindre courant de sortie franchissent le détroit, le premier à la surface, le second au fond. (J.-H. Fabre.)

#### QUESTIONNAIRE.

*Quelle est la surface de la terre ?*

*Quel est son volume ?*

*Qu'entend-on par croûte terrestre ?*

*Quelle est la plus haute montagne du globe ?*

*Parlez des profondeurs de l'Océan.*

*Comment explique-t-on la formation des courants marins ?*

*Qu'est-ce que le courant équatorial ?*

*Qu'est-ce que le Gulf-Stream, quelle est son action sur l'Europe ?*

*Qu'est-ce que la mer des Sargasses ?*

*Qu'est-ce que le courant de la baie d'Hudson ?*

*Qu'est-ce que le fleuve noir ?*

*Qu'entend-on par courants des détroits ?*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Lectures et récits sur la mer des Sargasses. La leçon doit être suivie sur une mappemonde. Insister sur l'analogie qui existe entre les courants marins et les courants aériens.

## II

### Circulation de l'eau dans la nature.

L'eau, comme nous avons eu déjà l'occasion de le dire, se trouve dans la nature sous trois états : à l'état de *vapeur* elle forme les nuages et l'humidité atmosphérique ; à l'état *liquide* elle constitue les mers, les lacs, les fleuves, etc. ; à l'état *solide* elle produit les glaciers polaires et continentaux.

Sous ses trois formes, l'eau agit continuellement sur les terres émergées : elle exerce, d'une part, une action *destructive* et, d'autre part, une action *édificatrice* ; c'est elle qui joue le principal rôle dans les changements de forme des continents.

**Action de la mer sur les continents.** — Il suffit d'avoir assisté à une tempête, d'avoir vu les vagues mugissantes grimper en écumant le long d'une falaise qu'elles semblent vouloir escalader, pour comprendre leur puissance de destruction.

Un fait arrivé aux îles Shetland en 1802 peut donner une idée de la force de la vague, surtout lorsque la marée montante est aidée par un vent violent : un bloc de granit de 8 mètres cubes fut arraché au rocher dans lequel il était enchâssé, et porté à 25 mètres de distance.

Les falaises rongées sans cesse par la base s'écroulent et leurs fragments brisés, réduits en galets et en sable, ne tardent pas être entraînés par les flots (fig. 195).

Le fort de Châtillon fut construit en 1548, par Henri II, près de Boulogne-sur-Mer ; il avait 300 mètres de largeur et se trouvait probablement à une certaine distance du



rivage ; depuis longtemps il n'en reste plus de trace, son emplacement même a disparu.

La falaise du cap Gris-Nez, entre Boulogne et Calais, recule de 25 mètres par siècle, et celle du cap de la Hève, à l'embouchure de la Seine, de 20 mètres par an.

Sur le bord d'une falaise argileuse du comté de Kent, on voit l'église aujourd'hui abandonnée de Reculver.



Fig. 195. — Action de la mer sur les falaises.

En 1781, elle était encore à 1700 mètres dans l'intérieur des terres. En 1804, le cimetière qui l'entourait s'écroula avec les maisons voisines. La falaise avait donc reculé de 1700 mètres en 23 ans. Depuis lors, l'église se serait certainement abîmée dans les flots, si les tours ne servaient de points de repère aux marins. On fit donc des travaux au pied de la falaise afin d'empêcher la mer de poursuivre ses ravages.

Un des résultats de la corrosion des falaises est de séparer du continent des îles qui y étaient réunies ou qui en étaient au moins peu distantes.

En 1335, dans le cours d'une discussion entre le seigneur

de Pons et Philippe de Valois, cent témoins affirmèrent que, du temps de leur enfance, l'île d'Oléron n'était séparée du continent que par un simple fossé que l'on pouvait franchir en s'aidant d'un bâton. Bien que ce témoignage semble contredit par des textes positifs, il montre du moins qu'à cette époque l'île était peu distante du rivage. Au dix-



Fig. 196. — Une plage au bord de l'Océan.

huitième siècle, le détroit donnait accès à des bateaux de 40 tonneaux. En 1813, sa largeur était doublée, et le *Régulus* pouvait y passer.

Lorsqu'au milieu d'une roche, il y a des parties plus solides, elles résistent tandis que tout s'écroule autour d'elles. C'est de cette manière que se sont produits les piliers de craie et les arches naturelles qui longent les falaises d'Étretat. (Gosselet.)

La mer reprend chaque année dans la Manche 1 mètre

de terrain à l'Angleterre et 1 mètre à la France, le détroit s'élargit donc de 200 mètres par siècle ; les géologues démontrent facilement qu'autrefois les deux pays n'étaient pas séparés, et que l'Angleterre tenait au continent.

Ce que la mer emporte d'un côté, elle le reporte de l'autre, elle use les pierres et les transforme en sable ou en galets qui produisent de longues plages sur les côtes (fig. 196). Le fond des mers s'exhausse peu à peu avec tous ces matériaux arrachés aux continents qui s'ajoutent à ceux qu'ont apportés les fleuves.

**Sources. Puits. Puits artésiens.** — L'eau des pluies, qui tombe sur le sol, donne naissance aux nappes souterraines lorsqu'elle peut pénétrer dans l'intérieur du terrain, ce qui n'arrive pas toujours. Les roches, en effet, sont tantôt *perméables* comme le sable, tantôt *imperméables* comme la terre glaise : l'eau qui tombe sur un sol sableux est rapidement absorbée ; tandis que celle qui tombe sur la terre glaise produit des flaques dont le dessèchement ne s'effectue que sous l'action des rayons du soleil.

L'eau, absorbée par les roches perméables, ne s'enfonce pas indéfiniment, à une profondeur variable, elle finit par rencontrer des couches imperméables, alors elle les suit dans toutes leurs sinuosités. Assez souvent la couche imperméable arrive à fleur de terre, l'eau s'échappe ; c'est une *source*. L'eau de source est toujours limpide et pure, c'est celle que l'on recherche pour l'alimentation. Pourtant certaines sources donnent des eaux chargées de substances qui les rendent impropres à cet usage, telles sont les *eaux minérales*.

Il convient de remarquer que la nature du sol exerce une grande influence sur le régime des eaux.

Dans les pays dont les terrains sont très perméables, les fleuves sont tranquilles parce qu'ils ne reçoivent leur eau que par l'intermédiaire des nappes souterraines, c'est-à-dire des sources ; leurs crues sont lentes à se produire, mais lentes aussi à disparaître. Ainsi en 1854, la Seine, à Monttereau, partant de 0<sup>m</sup>,50, mit 25 jours à atteindre 2<sup>m</sup>,20, et 35 jours pour redescendre à 1 mètre.

Dans les terrains imperméables, au contraire, les crues sont rapides, mais les fleuves entrent rapidement en décrois-

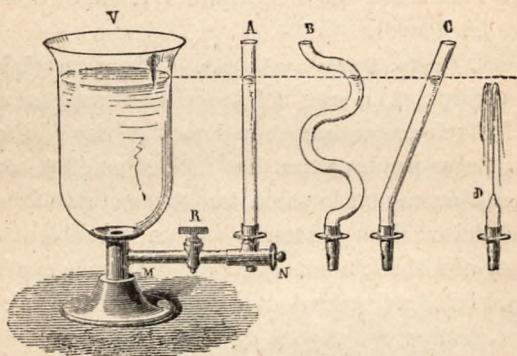


Fig 197. — Expérience des vases communicants.

sance. En 1846, la Loire, partant de 0<sup>m</sup>,90 à Roanne, s'éleva à 6<sup>m</sup>,94 en 6 jours, grossie par des affluents torrentiels, et redescendit en moins d'un mois à 0<sup>m</sup>,68.

Lorsque la nappe souterraine ne vient pas produire de sources au niveau du sol, on peut encore l'atteindre en creusant un puits. Dans ce cas, il faut avoir bien soin de ne pas traverser la couche imperméable qui retient l'eau, car on aurait un puits perdu.

On donne le nom de puits artésiens à des puits jaillissants dont les géologues ont parfaitement expliqué l'origine.



Une expérience de physique vous fera bien comprendre la théorie des puits artésiens. Prenons un vase de verre V, muni à sa partie inférieure d'un tube de cuivre MN avec un robinet R, pouvant porter à son extrémité N des tubes de verre de formes diverses A, B, C.

On commence par placer le tube A comme le montre la figure 197, et on remplit d'eau le vase V. Si on tourne le robinet R, l'eau se précipite dans le tube A et ne s'arrête que lorsqu'elle a atteint le même niveau que dans le vase V. On répète la même expérience avec les tubes B et C, et

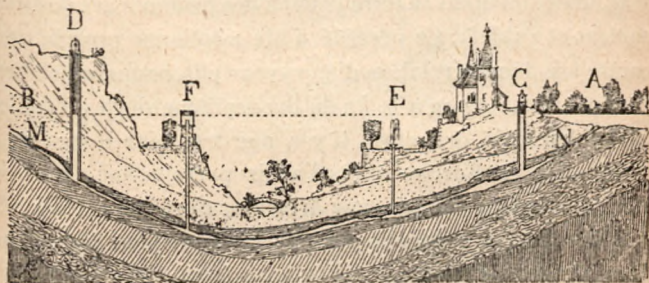


Fig. 198. — Puits en C et D; jet d'eau en E, puits artésien en F, alimentés par l'eau du niveau A B.

l'eau monte encore jusqu'au niveau de l'eau du vase. Enfin, on ajuste le tube effilé D dont la pointe est percée d'un petit trou; un jet d'eau s'élève, mais, à cause de la force perdue par les frottements, il reste toujours un peu moins élevé que l'eau du vase V.

Regardez maintenant la figure 198: en A se trouve un lac dont l'eau s'engage par une fissure entre deux couches d'argile NM faisant cuvette; si on creuse un puits au point C, il est évident que l'eau montera jusqu'à son premier niveau A. Si l'on perce un trou de sonde en E l'eau jaillira,

comme celle du tube D dans l'expérience qui précède.

De l'autre côté de la petite vallée, le chemin de fer a utilisé à son tour la nappe NM ; on a creusé en F, l'eau est montée dans un réservoir qui sert à l'alimentation des machines formant puits artésien ; en D, se trouve un second puits semblable au puits C, mais plus profond.

Le forage des puits pour avoir des eaux jaillissantes, que l'on regarde chez nous comme une découverte moderne, appartient en propre aux Chinois qui, à l'aide d'une simple corde armée d'une main de fer, pratiquent, de temps immémorial, des trous dans la terre jusqu'à des profondeurs de mille mètres et au delà. Ce procédé a été mentionné pour la première fois dans la relation d'un voyage pittoresque en Chine, publié à Amsterdam à la fin du dix-septième siècle ; c'est lui que Jobard, de Bruxelles, il y a une trentaine d'années, a popularisé en Europe après l'avoir perfectionné, sous le nom de *sondage chinois* ou *à la corde* ; c'est celui qui a été employé naguère pour le puits de Passy et pour bien d'autres forages (Girardin).

L'un des exemples les plus connus de puits artésien est le puits de Paris-Grenelle alimenté par l'eau qui tombe en Bourgogne et en Champagne (fig. 199). Voici comment le décrit M. Stanislas Meunier :

« Il ne présente aux yeux des promeneurs qu'une élégante colonne de fonte de 40 mètres de hauteur autour de laquelle s'élève un escalier en hélice. En s'approchant et en prêtant l'oreille, on entend le bruit incessant d'une masse d'eau qui s'écoule, mais c'est là tout ce qu'on peut observer du dehors. La partie intéressante de l'appareil se dérobe aux regards. Sous la colonne est un immense tube de métal, enfoncé verticalement dans la terre jusqu'à 548 mètres de profondeur, dans lequel l'eau monte constamment avec

une grande vitesse. Ce tube se continuant au-dessus du sol dans l'intérieur de la colonne, l'eau monte jusqu'à la partie supérieure de celle-ci, puis redescend par un second tuyau, et de là, grâce à des ramifications successives, va alimenter une partie de Paris.

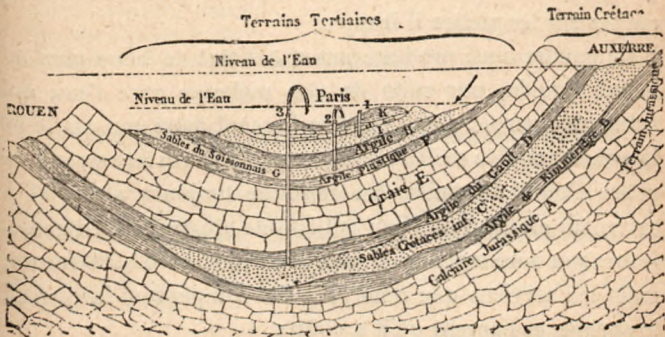


Fig. 199. — Puits artésiens alimentés par diverses nappes souterraines.

Le puits de Grenelle fournit l'énorme quantité de 1620 litres d'eau par minute. Cette eau, dont la température est de 27 à 28 degrés, est absolument limpide et devient, après une aération convenable, parfaitement propre à tous les besoins de la vie.

Comme vous le pensez bien, l'introduction souterraine d'un tube vertical de 548 mètres n'a pas été une petite affaire. L'appareil dont on s'est servi porte le nom de *sonde* et se compose d'une suite de barres de fer portant inférieurement une masse très lourde en acier, analogue à celles qui sont employées sous le nom de moutons dans des circonstances variées, et par exemple dans l'établissement des pilotis ; ces barres, dépassant en longueur la profondeur du puits, sont mues du dehors au moyen d'un

*treuil* actionné par une machine à vapeur, ce qui permet de les élever, de les abaisser, de les faire tourner, etc. Des tiges rigides placées à l'intérieur du puits forcent l'outil à suivre une direction bien verticale, et, comme il touche toujours à la même place, il détermine bientôt, grâce à sa dureté, à son poids et à sa forme, la pulvérisation des roches sur lesquelles il frappe.

La poudre ainsi produite passe à l'état de boue plus ou moins liquide, par suite de son mélange avec l'eau qui suinte des parois. Cette boue se logeant dans une cavité de la sonde appelée *cuiller*, est ramenée à la surface quand on retire l'outil du puits. On continue toujours ainsi, et il arrive un moment où l'eau jaillissante apparaît. A Grenelle, le forage a duré sept années, et a coûté plus de 362,000 francs, mais les services que rend le puits compensent largement les peines et l'argent qu'il a coûtés.

Je viens de vous dire que *l'eau de Grenelle est à 27 ou 28 degrés* : il est clair qu'une pareille température est susceptible de beaucoup d'applications ; et pendant le forage Arago recommandait comme un emploi qu'on en pouvait faire, le chauffage de l'hôtel des Invalides. Toutefois jusqu'ici on n'a pas cru devoir utiliser cette richesse, et l'eau de Grenelle se refroidit en pure perte.

Dans d'autres localités on a été mieux inspiré. En Allemagne, plusieurs serres sont chauffées par ce moyen. A Oxforth, on a construit une cressonnière chauffée par des eaux artésiennes qui ne rapporte pas moins de 300,000 fr. par an. A Canstadt, près de Stuttgart, on réunit les eaux d'un puits artésien dans un bassin dont la température est tellement douce que dès le commencement du printemps, les habitants peuvent s'y procurer le plaisir de la natation ».



**QUESTIONNAIRE.**

*Quels sont les divers états de l'eau dans la nature ?*

*Comment les mers agissent-elles sur les continents ?*

*Donnez des exemples de l'action destructive de l'eau.*

*Donnez des exemples de son action édifiatrice.*

*Qu'est-ce qu'une source ?*

*Qu'est-ce qu'un puits ?*

*Donnez la théorie des puits artésiens.*

**EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.**

Insister sur l'action des océans qui détruisent et construisent les continents ; lectures et récits sur ce sujet. Les eaux de source, les eaux minérales ; sources célèbres. Expériences des vases communicants. Les jets d'eau, les puits artésiens. Expliquer comment l'eau peut monter dans les villes jusqu'aux étages supérieurs des maisons. Visite aux réservoirs de la ville.

### III

#### Les eaux tranquilles et sauvages.

L'eau ne circule pas seulement dans la profondeur des terrains pour alimenter les sources, les puits et les puits artésiens; elle circule aussi à la surface du sol et joue dans ce cas un rôle géologique plus important encore.

**Les deltas.** — Les rivières et les fleuves, même tranquilles, creusent les vallées et portent à la mer les matériaux enlevés au continent, ces matériaux d'alluvion s'accablent à leur embouchure si les vagues les laissent se déposer, et forment les deltas.

Les deltas les plus célèbres sont ceux du Mississipi, du Nil, du Pô, du Rhône, du Danube et du Gange.

Le Rhône apporte chaque année dans la Méditerranée 21,000,000 de mètres cubes de troubles, et d'après les calculs des géologues, son delta s'est accru de près de 300 kilomètres carrés depuis l'époque gallo-romaine. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'au quatrième siècle de notre ère, la ville d'Arles se trouvait à 26 kilomètres de la mer; elle en est actuellement à 48 kilomètres.

C'est surtout à la pointe du grand Rhône que se portent les alluvions dont le progrès depuis un siècle et demi a été en moyenne de 57 mètres par an.

Le Pô, avec son apport de 43,000,000 de mètres cubes, arrive à conquérir sur la mer 113 hectares par an, et le Danube n'a pas de peine à édifier un immense delta dans la mer Noire si tranquille à cause de son absence totale de marées.

La surface occupée par les alluvions du Mississipi atteint

31,800 kilomètres carrés, cela tient à la petite profondeur du golfe du Mexique qui ne dépasse pas 30 mètres et à la faiblesse de ses marées qui n'atteignent pas 0<sup>m</sup>,50 d'élévation. La forme de ce delta est très bizarre, il ressemble à une énorme patte d'oie.

**Les torrents.** — Le creusement des vallées (fig. 200) par les rivières et par les fleuves s'effectue lentement quand le régime des eaux est calme et régulier, comme dans les terrains perméables; mais les contrées montagneuses, dont



Fig. 200. — Les fleuves creusent les vallées.

le sol est imperméable, laissent les eaux pluviales se concentrer et produire des courants d'eaux sauvages aussi violents qu'éphémères nommés *torrents* qui fouillent et ravinent tout sur leur passage.

La rapidité avec laquelle s'accomplit la concentration des eaux torrentielles est telle, que souvent le voyageur, qui chemine à pied sec dans le canal d'écoulement, trouve à peine le temps de se sauver en montant sur les berges. Dans les contrées tropicales, où les pluies sont diluviennes, par exemple en Abyssinie, il arrive parfois, à ce que rapporte M. d'Abbadie, que, par un ciel pur, on perçoit un bruit

lointain dont la signification n'échappe pas aux indigènes ; moins d'une minute après, le vallon disparaît sous une large et profonde nappe d'eau qui entraîne des arbres, des pierres et même des animaux surpris par l'irruption du fléau. C'est un orage local, survenu au loin dans la montagne et dont tout le produit s'écoule en un seul flot.

L'homme, en déboisant les montagnes, peut augmenter malheureusement le nombre et l'importance des torrents. Ce fait s'est produit dans les Alpes où beaucoup de belles cultures ont été détruites à la suite de déboisements mal entendus. Les terrains qui avaient été fixés par les arbres et les arbustes, devenus mobiles après les défrichements, ont tous été entraînés par les eaux sauvages et irrémédiablement perdus ; les pluies, autrefois absorbées par les terres boisées, viennent maintenant grossir les torrents et provoquer des crues rapides. La fonte des neiges sur les montagnes donne aussi naissance à des eaux sauvages dont les effets sont quelquefois terribles. Écoutez ce récit :

**Catastrophe de Szegedin.** — Szegedin est située sur la Theiss, près du confluent de cette rivière avec le Marosch, à 89 milles de Pesth. La Theiss, l'un des principaux affluents du Danube, est une de ces rivières au cours torrentueux qu'il est fort difficile de maintenir régulièrement dans son lit. Sur tout son parcours, des frontières de la Bukowine au Danube, elle reçoit, surtout avant Szegedin, une quantité considérable de petits affluents divers qui, lors de la fonte des neiges ou pendant la période des grandes pluies, grossissent au point de devenir rapidement d'importantes rivières.

C'est à la température printanière du mois de février 1879 qu'est due l'horrible catastrophe. Les neiges des hauts plateaux de la Hongrie ayant fondu prématurément et grossi



tous les affluents de la Theiss, celle-ci, sortant de son lit, vint battre avec fureur les trois digues, en assez mauvais état, protégeant la ville de Szegedin. Dans les premiers jours de mars, les eaux rompirent la digue Pecsora, le premier et le plus important rempart de la ville, situé à quelques kilomètres au nord de celle-ci. Puis dans la nuit du 7 au 8 mars, la digue Baktoer céda à son tour, et la ville ne se trouva plus sauvegardée que par la digue du chemin de fer ou d'Alfoldbahn. Le génie militaire fit des efforts héroïques pour consolider cet ouvrage : avec un dévouement à toute épreuve, les soldats, au nombre de 2,000, travaillèrent nuit et jour à cette tâche. Malheureusement, ils furent très mal secondés par les habitants.

Néanmoins on avait bon espoir. Dans la journée du 12, une baisse avait commencé à s'annoncer, elle n'était que de deux pouces, mais c'était le premier signe de salut, croyait-on. Voilà que vers le soir une formidable tempête, soufflant du nord, vint détruire tous les efforts des jours précédents. Vers neuf heures, le bruit se répand que la digue est rompue sous l'action des énormes vagues que le vent projette contre elle.

A deux heures un quart, le tocsin se fait entendre, la ville est perdue. L'éventualité la plus terrible s'est produite.

La crue, après avoir rompu la dernière digue, entre à larges flots, entraînant avec elle la gare, l'entrepôt et les magasins. Quinze honveds et vingt soldats, qui travaillaient en ce moment sur la partie de la digue emportée par les flots, périrent victimes de leur dévouement.

Les eaux s'emparent de la ville avec la rapidité de l'éclair, inondant toutes les rues, qui ressemblent à autant de fleuves. Un nombre très considérable d'habitants, surpris en plein sommeil, n'ont pas le temps de s'enfuir et succombent avec tout ce qu'ils possèdent.

La ville de Szegedin avec ses environs comptait 9,700 maisons; d'après le rapport officiel, il ne resta plus debout, dans les quatre districts, que 261 maisons, compris les églises; le nombre des victimes fut considérable (1).

Ce que nous venons de dire dans cette leçon vous montre bien que les eaux qui circulent à la surface du sol agissent absolument comme les eaux des océans. Comme elles, elles détruisent d'un côté pour construire de l'autre. Tranquilles ou sauvages, les eaux superficielles modifient donc lentement la forme des continents en abaissant leur relief et en augmentant leur étendue par l'adjonction des deltas.

Les efforts de la nature produisent ainsi d'immenses résultats parce qu'ils ont pour eux la durée. L'examen des *phénomènes géologiques actuels* a suffi pour démontrer aux naturalistes que *ce ne sont pas des cataclysmes et des coups de force vive* qui ont bouleversé la face de la terre, mais qu'au contraire *ce sont plutôt des actions lentes et insensibles*, multipliées par le plus important des facteurs, le *temps*.

#### QUESTIONNAIRE.

*Qu'est-ce qu'un delta?*

*Citez les principaux deltas?*

*Dites ce que vous savez sur le delta du Rhône?*

*Comment se produit le creusement des vallées?*

*Parlez des rivières, des fleuves et des torrents?*

*Influence du déboisement des montagnes sur le régime des eaux?*

*Racontez la catastrophe de Szegedin.*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Lectures et récits sur les grands fleuves. Insister sur les phénomènes d'érosion produits par les cours d'eau dans les vallées. Inondations célestes. Importance de l'étude des phénomènes géologiques actuels, réfutation de la théorie des cataclysmes.

(1) *La Nature*. G. Masson, édit.

## IV

### Les glaciers polaires et les glaciers de montagne.

Si, partant de l'équateur, on se dirige vers les pôles, le climat des contrées que l'on traverse devient de plus en plus froid ; si, partant du niveau de la mer, on s'élève sur une montagne ou en ballon, on constate de même un notable abaissement de la température.

L'eau qui se condense au voisinage des pôles et au sommet des montagnes forme une grande quantité de neige ; cette neige amoncelée persiste à condition que la température reste assez basse ; elle se transforme en glace par suite du *regel* et produit un glacier.

Pendant l'été, la *banquise*, c'est-à-dire le champ de glace qui recouvre la surface des mers polaires, se brise, avec de formidables détonations, en énormes fragments nommés *ice-fields* (plaines de glace). Il n'est pas rare de rencontrer certaines de ces plaques mesurant plusieurs kilomètres carrés de superficie. Il descend même parfois de la mer de Baffin des blocs incomparablement plus volumineux ; le baleinier anglais *Scoresby* en a rencontré mesurant 35 lieues en long sur 10 en large. Enfin, il se détache des terres voisines, pour tomber à la mer, des montagnes de glace appelées *ice-bergs*. On en a mesuré dont le volume était de plusieurs millions de tonnes et dont la hauteur totale pouvait atteindre un ou deux milliers de mètres. Ces masses émergeaient de 100 à 200 mètres au-dessus des eaux ; le reste était immergé. Sous les rayons du soleil, les icebergs se gercent, se fendillent et parfois éclatent en mille pièces avec un bruit que l'on a comparé à la décharge simultanée

de plusieurs centaines de canons. Des sables, des pierres, des quartiers de roc, arrachés aux terres d'où ils proviennent, sont répandus à leur surface ou incrustés dans leur épaisseur.

Toutes ces *glaces flottantes*, fragments de banquises et fragments de glaciers, descendent vers le sud, entraînées par le courant polaire. Tantôt les glaçons sont isolés,

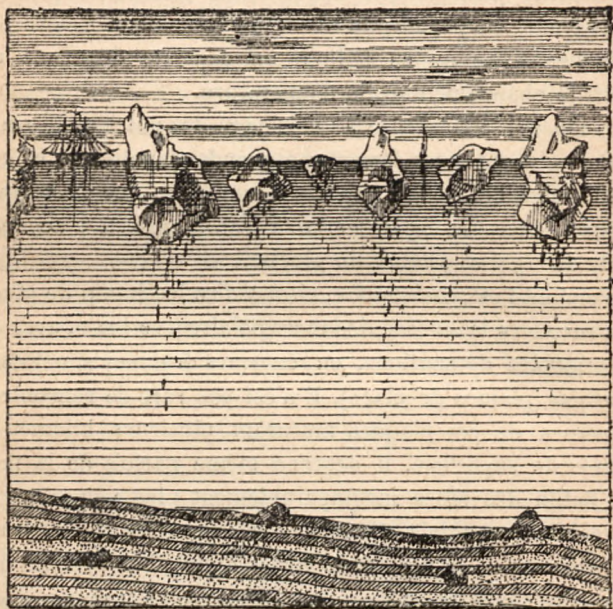


Fig. 201. — Les glaces flottantes déposent des pierres au fond de la mer.

tantôt ils s'avancent, en flotte innombrable, dans toute l'étendue que le regard peut embrasser. C'est alors que le spectacle est le plus étrange : on croirait voir osciller sur les flots, les ruines de quelque cité de géants bâtie avec du cristal et de l'albâtre.



Tôt ou tard, dans des eaux plus chaudes, les plaques de glace se fondent. mais les ice-bergs flottent plus longtemps et n'achèvent leur fusion qu'à la rencontre du Gulf-Stream. C'est au nord de Terre-Neuve qu'a lieu le contact entre les eaux chaudes venues du golfe du Mexique et les eaux froides venues des mers polaires. Le grand plateau sous-marin connu sous le nom de *banc de Terre-Neuve* est le produit de la rencontre des deux courants. Au contact des eaux tièdes, les ice-bergs chassées par le courant polaire se fondent et déchargent dans la mer les débris minéraux enlevés au rivage du Grœnland (fig. 201). *Le banc de Terre-Neuve est un remblai fait avec des matériaux que les glaces flottantes apportent des terres arctiques* ». (H. Fabre.)

**Les glaciers.** — Un glacier peut être défini *une vallée de montagne remplie de glace*.

Les géologues distinguent plusieurs régions dans un glacier de montagne.

- 1° La région des *neiges éternelles* ;
- 2° La région des *névés* ;
- 3° La *mer de glace* ;
- 4° La région des *sources* ;
- 5° Les *moraines*.

Les neiges éternelles se trouvent à la cime des monts, elles sont fines et pulvérulentes ; le vent les soulève et les chasse en nuages quelquefois très épais qui vont tomber dans les hautes vallées voisines, et les remplir.

Regardez la figure 202, elle donne une idée très exacte de la façon dont la neige occupe les hautes vallées ; on croirait voir une quantité de torrents descendant du haut de la montagne.

La neige des régions supérieures, comprimant celle qui se trouve au-dessous d'elle, la change en glace ; c'est cette

glace blanche remplie de bulles d'air et de flocons neigeux qu'on appelle *névé*.

Vous savez tous que la neige comprimée produit de la glace : vous avez certainement remarqué que si l'on marche un certain temps dans la neige on trouve une semelle de glace sous ses souliers.

Le glacier tout entier glisse le long de la montagne, c'est un fleuve solide qui descend. Les *neiges éternelles* poussent devant elles les *névés* qui suivent les pentes et viennent

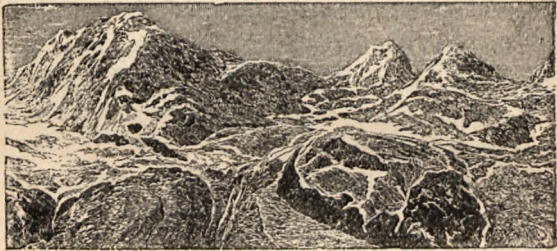


Fig. 202. — La neige occupant les hautes vallées des montagnes.

s'étaler dans les gorges plus larges formant des lacs solides nommés *mers de glace*. Mais, avec le glacier, descendent aussi les roches arrachées aux flancs de la montagne, les débris plus ou moins volumineux, plus ou moins usés et polis par le frottement de la glace, les limons terreux et sableux ; ce sont ces matériaux qui, arrêtés à l'endroit où la glace se fond, forment des murs qu'on appelle *moraines*.

Au milieu des moraines, des filets d'eau circulent ; nous sommes presque au pied du massif montagneux ; c'est là que la glace donne naissance à des *sources* qui se rejoignent, se creusent un lit et produisent un fleuve.

H. de Saussure, le premier, a signalé le mouvement de descente des glaciers, et donné la théorie de la formation des moraines. De 1841 à 1843, Agassiz et Desor eurent le courage de passer deux étés sur le glacier de l'Aar inférieur (canton de Berne, Suisse) pour vérifier les faits ; ils reconnurent que le glacier descendait en moyenne de 75 mètres par an, et qu'il apportait continuellement des matériaux nouveaux à ses moraines. Depuis Agassiz, des observations ont été faites dans tous les glaciers connus et ont parfaitement démontré l'exactitude de la théorie de de Saussure.

**Exemples de glaciers.** — En Europe, les principaux glaciers se trouvent sur la chaîne des Alpes (fig. 203). La Suisse



Fig. 203. — Champs de neige du mont Blanc.

en présente plus de mille occupant ensemble une surface totale de 2,096 kilomètres carrés ; les glaciers de la Suisse exercent une influence salutaire sur le régime des grands fleuves de l'Europe, car c'est en été, au moment où les pluies cessent et que le soleil dessèche tout, qu'ils laissent échapp-

per la plus grande quantité d'eau de fusion. C'est ainsi que sont alimentés le Danube, le Pô, le Rhône, le Rhin et leurs nombreux tributaires.

Le plus important des glaciers alpestres est celui d'Aletsch (Valais); puis viennent : le glacier de l'Aar (Berne); la mer de glace de Chamonix (Haute-Savoie) qui reçoit les glaciers du Taléfre, du Géant et du Lichaud; le glacier de Grindelwald (Berne), ceux de Brenva et de Miage (Piémont), et le glacier du mont Cervin (Valais).

Dans les Pyrénées, les glaciers sont moins étendus que dans les Alpes; la chaîne des Pyrénées est du reste moins élevée que celle des Alpes et s'étend sous une latitude plus méridionale; nous devons citer pourtant les pittoresques glaciers de la Maladetta, ceux de Cabrioules, du Vignemale, de Néouvielle et de la Brèche de Roland. Quel magnifique tableau que celui qui se déroule aux yeux du voyageur lorsqu'il se trouve au milieu du cirque de Gavarnie! La neige qui fond sur l'Astazou, sur le Marboré et sur la Brèche de Roland alimente de nombreuses cascades: treize d'entre elles coulent dans le cirque, et l'une d'elles tombe d'une hauteur de 422 mètres!

Les autres glaciers européens se trouvent en Scandinavie, en Islande et dans le Caucase; les premiers descendent jusqu'à la mer, ceux du Caucase sont moins importants que ceux des Alpes, le plus grand d'entre eux est le glacier de Karagan.

Les hautes chaînes de l'Asie centrale possèdent de grands glaciers peu explorés; les chaînes de l'Himalaya et du Karakorum, plus connues, sont couvertes de neige malgré le voisinage des tropiques à cause de leur énorme altitude, et offrent d'immenses champs de glace.

Dans l'Amérique du Nord, la faible quantité de vapeur



d'eau atmosphérique qui arrive actuellement jusqu'à la chaîne des Montagnes Rocheuses n'y permet pas la formation des glaciers, malgré des altitudes supérieures à 4,000 mètres. En revanche, dans la chaîne côtière qui borde le Pacifique, en dehors des masses de névé, descendant le long des pentes escarpées, comme on en observe en différents points, il y a, sur les flancs des cimes culminantes, de véritables glaciers. Le plus méridional est celui du mont Shasta, situé dans la Sierra Nevada de Californie, par 41 degrés de latitude nord. Les autres sont ceux des monts Hood, Adams, Saint-Helens, Rainier et Baker, ce dernier situé presque sous le quarante-neuvième parallèle, à la limite des États-Unis et de la Colombie anglaise. » (De Lapparent.)

**Phénomènes observés dans les glaciers.** — Certains phénomènes observés dans les glaciers sont particulièrement intéressants. Tels sont la formation des *tables* et celle des *puits*.

Lorsqu'un gros quartier de roche tombe sur la glace, il garantit tout ce qu'il recouvre contre les rayons du soleil, et au bout d'un certain temps, la glace ayant fondu autour de lui, il se trouve porté par un pied de glace. Quand vous visiterez un glacier, les guides vous montreront ces tables dont les dimensions sont quelquefois très considérables.

Si le corps tombé sur la glace est trop petit pour produire une table de glacier, si surtout il est bon conducteur de la chaleur, les rayons du soleil l'échauffent, et la glace fond autour de lui ; alors se forme un puits ou une cuvette, et lorsque l'eau se congèle de nouveau, l'objet n'est plus visible ; il progresse comme le glacier et finit par aboutir à une moraine.

Les *avalanches* sont déterminées par la chute des pierres

ou par l'éboulement de masses neigeuses dans la partie supérieure des glaciers. Ces pierres ou ces masses se précipitent en accélérant leur course, elles déplacent des neiges nouvelles qui se joignent à elles, grossissant toujours le torrent irrésistible. L'avalanche bondit sur les rochers, roule en cascade, brise tout sur son passage, renverse les arbres et les chalets, et vient s'aplatir dans la vallée qu'elle encombre. Les eaux s'arrêtent contre ce barrage et débordent à leur tour, augmentant le désastre et la désolation.

Beaucoup de voyageurs sont morts victimes des avalanches; beaucoup de montagnards ont été ruinés par ces terribles fléaux. Aussi a-t-on pris partout des précautions sérieuses contre les avalanches; tantôt on plante des fascines sur les flancs des montagnes comme cela se pratique en face de Barèges (Pyrénées), tantôt on construit des murs en pierres sèches comme à Oberwald (Suisse), ces fascines ou ces murs servent à arrêter ou au moins à diriger les torrents de neige. Le reboisement des montagnes est le seul remède absolument efficace; les forêts qui bordent les vallées sont leur meilleure protection.

Les *crevasses* dans les glaciers sont encore un danger pour les voyageurs. « Les excursions sur les glaciers, dit M. Ad. Focillon, d'ailleurs remplies d'intérêt et très instructives, sont assez dangereuses pour exiger toujours la surveillance des guides et une grande docilité à leurs conseils. On pourrait faire une longue liste des imprudents ou malheureux visiteurs enfouis dans les crevasses glacées; les vallées de la Suisse ont gardé les souvenirs funèbres des plus célèbres de ces catastrophes: en 1600, le poète danois Eshen tombé à 30 mètres de profondeur dans une crevasse du glacier du Buet; en 1821 le pasteur Mouron, de Neuchâtel, disparu dans une crevasse du Grindervald; en 1846,

le prussien Burstenbinder englouti dans une crevasse du glacier d'Oetzthal. Ces malheurs doivent avertir, sans les effrayer, les voyageurs qui sillonnent par milliers la chaîne pittoresque des Alpes. »

### QUESTIONNAIRE.

*Qu'est-ce qu'un glacier?*

*Quelles sont les régions des glaciers?*

*Qu'entend-on par banquise, ice-field et ice-bergs?*

*Quel est le rôle géologique des glaces flottantes?*

*Qu'entend-on par neiges éternelles, névés, mers de glace et moraines?*

*Comment se forment les névés?*

*Parlez du mouvement des glaciers.*

*Parlez des moraines.*

*Citez des glaciers d'Europe, d'Asie et d'Amérique.*

*Comment se forment les tables et les puits des glaciers?*

*Comment se forment les avalanches?*

*Quelles précautions prend-on contre les avalanches?*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Hauteur des neiges éternelles, variable suivant les latitudes. Expériences de regel. Les glaciers sont des fleuves solides, plasticité de la glace. Description des glaciers d'après les récits des voyageurs (Géographie de Reclus, guides Joanne, etc.). — Lectures et récits sur les avalanches, sur les ascensions célèbres du mont Blanc, etc.

# CHAPITRE III

## LES ROCHES.

---

### I

#### Classification des roches. — Roches éruptives.

**Définition.** — On donne en géologie le nom de *roches* aux matières minérales qui composent les *terrains*. Pour un géologue le mot *roche* n'implique pas l'idée de dureté : le *sable* et la *terre glaise* sont des roches, au même titre que le *granit*.

**Classification des roches.** — On divise les roches en deux grands groupes :

1° Le premier groupe comprend les roches qui ont été formées au sein des eaux, soit par simple dépôt, soit par précipitation chimique, on les nomme **ROCHES SÉDIMENTAIRES** (ou *roches stratifiées* parce qu'elles sont disposées en couches ou lits successifs, ou encore *roches neptuniennes*, pour indiquer leur origine).

Comme exemple de ces roches nous pouvons citer : la *craie*, l'*argile*, la *Pierre à bâtir* de Paris, etc.

Les roches déposées par les eaux peuvent être divisées en quatre classes d'après leur composition chimique et leurs propriétés physiques :

A. Les **ROCHES SILICEUSES**, dont le type est le *silex* ou pierre à feu.



B. Les ROCHES ALUMINEUSES, dont le type est l'*argile plastique*.

C. Les ROCHES CALCAIRES, qui renferment surtout de la chaux unie à l'acide carbonique ou à l'acide sulfurique, dont les deux types sont : la *craie* et la  *pierre à plâtre*.

D. Et enfin les ROCHES COMBUSTIBLES, dont le type est le *charbon de terre*.

Nous aurons à étudier toutes ces roches en détail dans les leçons qui vont suivre.

2° Le second groupe comprend les roches qui ont été fondues par le feu central et qui, perçant les premières, sont venues à la surface former des coulées plus ou moins considérables, on leur a donné le nom de ROCHES ÉRUPTIVES, *roches ignées* ou *roches plutoniennes*; elles ne se trouvent jamais en lits comme les roches sédimentaires, mais en masses de formes irrégulières. Exemples : le *granit*, le *porphyre*, les *basaltes*, les *laves*.

Les restes d'animaux et de végétaux, c'est-à-dire les *fossiles*, ne peuvent évidemment se trouver que dans les roches sédimentaires, les autres roches n'en renferment jamais.

**Roches éruptives.** — Les roches éruptives sont composées de cristaux de diverses natures, leurs éléments sont tantôt simplement accolés les uns aux autres, tantôt réunis par une pâte solide qui les enchâsse fortement.

Quand la roche est entièrement cristalline, elle appartient au type *granit*, on l'appelle *roche granitoïde*; quand, au contraire, elle présente une pâte amorphe (non cristalline) et des cristaux, c'est une *roche porphyroïde*.

Le *granit* est une roche dure que l'on trouve dans les terrains les plus anciens. Examiné à la loupe il se montre composé de trois éléments bien distincts : un élément vi-

treux gris, le *quartz*; un élément lamelleux noir ou blanc argenté, le *mica*; et un élément rose ou blanc mat, le *feldspath*. Certains granits sont formés par des cristaux énormes, d'autres par des cristaux microscopiques, mais tous ont la même composition.

Le granit est employé à cause de sa dureté pour faire les bords de trottoirs, il est difficile à tailler, on le retire de la Bretagne, des Vosges et de l'Auvergne. Les granits à gros éléments se trouvent en Russie. Le *mica* qu'ils renferment est employé dans certaines industries : cette substance est précieuse en effet parce qu'elle résiste aux plus hautes températures. Elle se clive, c'est-à-dire qu'elle se divise facilement en feuilles minces, flexibles et transparentes. On s'en sert pour fermer les hublots des navires et les carreaux des fours de verrier. On fait aussi avec le mica des verres à gaz incassables et des dessus d'abat-jour. Il remplace, comme vous le voyez, le verre partout où on a besoin d'une substance transparente, infusible et incassable. C'est de la Sibérie et de l'Hindoustan que viennent les plus belles plaques de mica, qui atteignent jusqu'à 2 mètres de diamètre.

La *syénite* est une sorte de granit que l'on trouve à Syène en Égypte : elle a servi à faire de magnifiques aiguilles monolithes dont l'obélisque de la place de la Concorde à Paris est un exemple.

Pour arriver à la surface du sol les granits ont percé et disloqué la couche de *gneiss* qui les recouvrait; ils ont même souvent emporté des morceaux de cette roche sédimentaire, vous vous en convaincrez facilement en examinant les dalles de nos trottoirs de Paris qui sont souvent parsemées de gros blocs noirs de *gneiss* enveloppés par la roche éruptive.

La figure 204 représente une coupe du mont Pilat (Loire) : le granit (4) a soulevé les roches stratifiées (1, 2, 3) qui le recouvraient; ces roches sont des gneiss.

Les *porphyres* sont des roches éruptives un peu plus récentes que les granits, mais bien anciennes encore. On trouve généralement les porphyres dans les mêmes localités que les granits, ils sont employés aux mêmes usages quand leur pâte est assez dure.



Fig. 204. — Coupe du mont Pilat (Loire) montrant que le granit a soulevé le gneiss.

Comme les granits, les porphyres ont soulevé et percé les roches stratifiées, mais les géologues ont une preuve de l'existence des granits antérieure à celles des porphyres, puisque ces dernières roches ont entraîné des morceaux de granit au passage.

Les roches porphyriques les plus récentes sont les *basaltes* et les *laves*.

Le basalte est une roche noire, lourde, à cristaux rares; on en trouve en Auvergne et dans l'Ardèche partout où sont des volcans éteints. Dans certaines régions du globe le basalte est prodigieusement abondant et fait le sol de pays tout entiers.

C'est le cas au Grœnland, dans le Dekkan (Inde) et dans l'Afrique australe. On en connaît de volumineuses nappes en Écosse, en Irlande, en Transylvanie. Souvent ces nappes

sont débitées en colonnes, et c'est à ces colonnes que sont dues la Chaussée des Géants, dans le comté d'Antrim, la Chaussée du Volant, dans l'Ardèche (fig. 205), les Orgues de Murat et d'Espally dans la France centrale. Au Grœnland le basalte, lors de son éruption, a amené au jour des blocs de fer métallique parfois très volumineux qui repré-

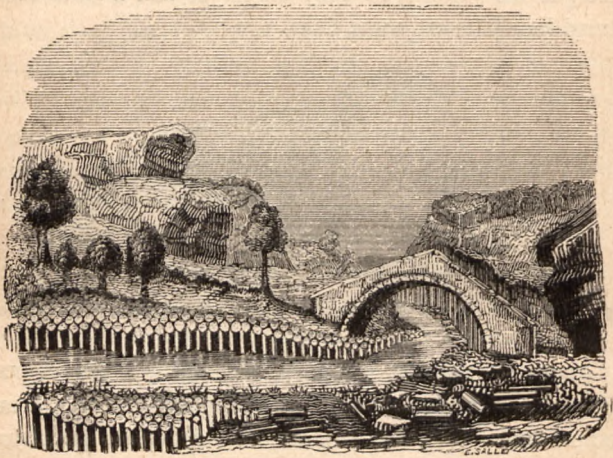


Fig. 205. — La chaussée basaltique du Volant (Ardèche).

sentent des échantillons des roches profondes de notre globe. » (Stanislas Meunier.)

Les *laves*, comme nous l'avons vu précédemment, sont encore actuellement vomies par des volcans. Leur composition les rapproche beaucoup des basaltes ; elles sont souvent très celluleuses et quelquefois assez compactes pour servir à la construction. Il y a dans tous les pays volcaniques des maisons construites en laves.



## QUESTIONNAIRE.

- Que signifie le mot *roche* en géologie?  
Comment divise-t-on les roches?  
Qu'entend-on par roches sédimentaires?  
Qu'entend-on par roches éruptives?  
Comment divise-t-on les roches sédimentaires?  
Comment divise-t-on les roches éruptives?  
Parlez du granit, quels sont ses éléments?  
A quoi sert le mica?  
Quelles sont les roches porphyriques que vous connaissez?  
Où les trouve-t-on?

## EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Insister sur la classification des roches. Expliquer la différence entre les termes *sédimentaire* et *éruptif*. Montrer aux élèves quelques échantillons de roches sédimentaires. Excursion dans une tranchée où la superposition des couches sédimentaires est visible. Montrer des échantillons de roches éruptives.

Faire observer la présence du gneiss dans les granits.

## II

### Roches sédimentaires. — A. Les roches siliceuses.

Les principales roches siliceuses sont le *quartz* ou cristal de roche, le *silex* ou pierre à fusil, la *meulière* et le *tripoli*; nous allons faire connaissance avec ces pierres, et vous verrez combien toutes sont utiles à l'homme.

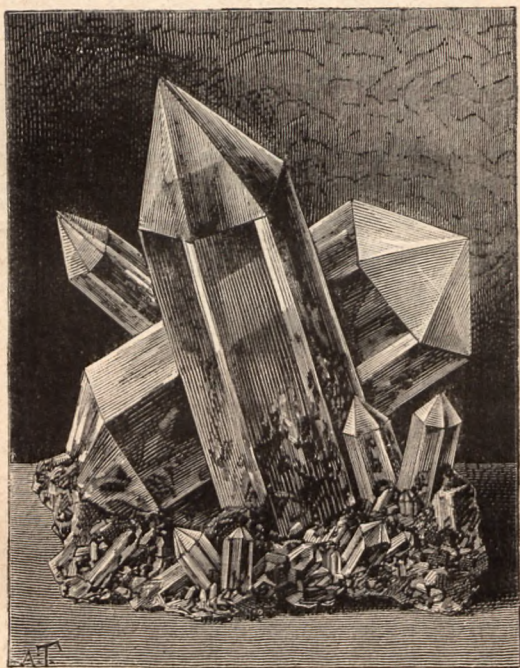


Fig. 206. — Le cristal de roche.

**Cristal de roche.** — Le quartz est appelé *cristal de*

*roche* parce qu'on le rencontre souvent en beaux cristaux limpides et transparents dans les montagnes; il est commun dans les Alpes du Dauphiné, dans la Tarentaise et à Madagascar; les cristaux sont des *prismes* à six pans terminés par des pyramides ayant un même nombre de faces (fig. 206).

Le cristal de roche est employé en joaillerie pour imiter le diamant; on en fait aussi des pendeloques de lustres, des vases d'ornement et des verres d'optique; il est si dur qu'il raye l'acier et coupe le verre, mais il est rayé facilement par le diamant.

Coloré par des traces d'un métal nommé *manganèse*, le cristal de roche devient l'*améthyste*, cette belle pierre violette avec laquelle on fait de si jolies boucles d'oreilles et de si brillants colliers. D'autres variétés de quartz sont encore recherchées pour la parure des femmes, ce sont la *topaze du Brésil*, le *rubis de Bohême*, le *quartz noir enfumé*, le *quartz roulé* ou *caillou du Rhin*, etc.

**Le silex ou pierre à fusil.** — Le *silex* a la même composition que le cristal de roche, mais il est moins pur; il n'est pas cristallisé, et, lorsqu'on le frappe, il donne des éclats à faces courbes (cassure conchoïdale). Les premiers hommes se servaient du silex pour fabriquer leurs armes et leurs instruments; ils les taillaient au moyen de chocs bien dirigés et en faisaient des haches, des couteaux et des pointes de lances ou de flèches. Les sauvages australiens se servent encore des silex comme l'homme préhistorique (fig. 207).

Le silex est presque aussi dur que le quartz; il raye le verre et les métaux et fait feu au briquet, c'est-à-dire quand on le heurte violemment avec une lame d'acier. (Les fumeurs se servent du briquet pour allumer des

mèches très combustibles ; les premiers fusils portaient un briquet dont les étincelles enflammaient la poudre, de là le nom de  *Pierre à fusil*  donné au silex).

Les variétés de silex sont nombreuses ; les  *silex noirs*  et  *blonds*  sont les plus communs, on les trouve en gros rognons dans les terrains crayeux. Ces silex servent au fer-



Fig. 207. — Silex taillé par l'homme préhistorique.

rage des routes ; vous en avez vu souvent des tas disposés de loin en loin le long des grandes voies de communication ; de pauvres ouvriers les cassent avec des marteaux à longs manches et s'en servent pour combler les ornières. Les silex à briquets les plus employés viennent du département de Seine-et-Oise, de l'Yonne, de l'Indre, du Loir-et-Cher et de l'Ardèche.

Le silex est produit par le dépôt d'une substance que les chimistes nomment la  *silice*  ; certaines eaux en contiennent à l'état de dissolution. Quelquefois la précipitation s'effectue par couches qui ont des couleurs diverses, c'est ce qui arrive dans le  *silex agate* . Lorsqu'on brise un caillou d'agate on voit les zones de diverses couleurs déposées comme dans une gourde ou dans une bouteille (fig. 208).

L'agate est très employée pour la fabrication des billes,



des cachets, des mortiers, des pilons et des molettes. On s'en sert aussi pour faire des camées : ce sont des figures sculptées dans une couche d'agate et se détachant en relief sur une autre couche d'une couleur différente.

Les agates d'un blanc laiteux sont les *calcédoines* ; les rouges, des *cornalines* ; les jaunes, des *sardoines* ; les vertes,

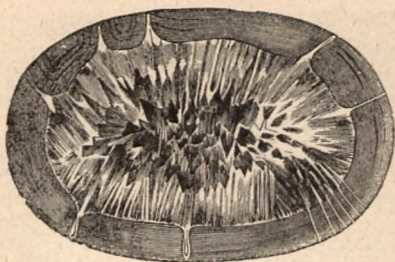


Fig. 208. — L'Agate.

des *chrysoprases* et les rubanées, des *onyx* ; toutes peuvent prendre un très beau poli. Certains silex présentent un éclat gras et résineux, on les nomme *silex résinites* ; une des plus belles variétés de ces silex est l'*opale*. La plus grande exploitation d'agate se trouve à Oberstein (Prusse rhénane).

**La meulière.** — La *meulière* est une roche siliceuse qui présente des cavités plus ou moins nombreuses et plus ou moins étendues ; elle a été déposée par des eaux fortement chargées de silice comme celles qui font jaillir les *geysers* de l'Islande, des États-Unis (fig. 209), du Kamtchatka et de la Nouvelle-Zélande.

Les plus célèbres geysers de l'Islande sont : le Grand-Geyser et le Strokur dans la vallée du Rikum, à 2 ou 3 kilomètres de la ville de Skalholt. (Le Strokur, peu impor-

tant avant le tremblement de terre de 1789, est actuellement le geyser le plus considérable de toute l'Islande.)

Leurs eaux forment des jets qui atteignent près de 50 mètres de hauteur et parfois 5 mètres de diamètre ; elles sont intermittentes et leur température varie entre 80 et 100 degrés (fig. 210).



Fig. 209. — Geyser de Yellowstone.

Dans tous les pays à geysers on trouve, autour des sources jaillissantes, des meulière semblables à celles que l'on retire des couches géologiques.

Quand les cavités de la meulière sont petites et nombreuses, la roche est presque compacte, elle a des reflets blanc bleuâtre (la Ferté-sous-Jouarre, Montmirail en

Champagne) et sert à faire les meules de moulin. Quand les cavités deviennent plus grandes, la meulière ne peut plus servir pour la fabrication des meules, elle est alors très précieuse pour la construction. C'est avec cette pierre que l'on établit les fondations des maisons et tous les murs souterrains, comme ceux des égouts, parce qu'elle ne se laisse pas traverser par l'humidité; il y a dans les envi-

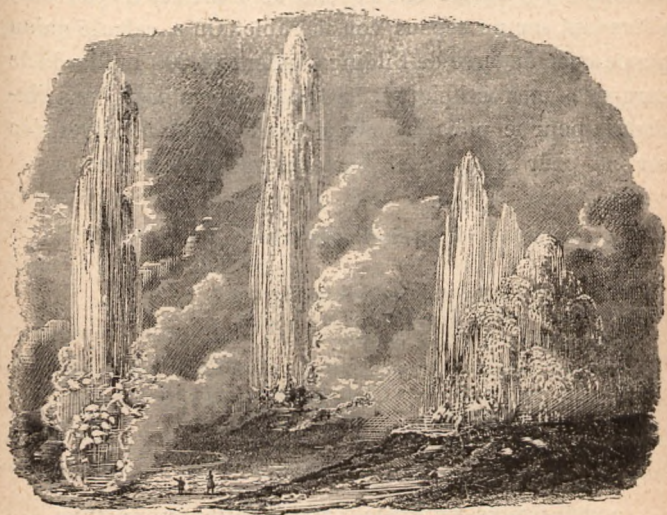


Fig. 210. — Les geysers d'Islande.

rons de Paris, à Meudon et à Montmorency, de beaux gisements de meulières à bâtir. Les débris de ces pierres sont cassés et servent à garnir les grandes avenues de notre capitale; on les écrase avec d'énormes cylindres mus par la vapeur et on les couvre de sable pour remplir les interstices laissés entre eux.

**Le tripoli.** — On donne le nom de *tripoli* à une roche

siliceuse tout entière composée de carapaces de Diatomées. Les Diatomées sont des végétaux microscopiques : il en faut une vingtaine de millions pour faire le poids d'une tête d'épingle. Ces petites algues sont recouvertes par une fine coquille de silice, et c'est l'accumulation de ces coquilles par millions de milliards qui produit la roche nommée tripoli. Le plus beau tripoli se trouve à Bilding en Bohême; il y forme une couche de 4 mètres d'épaisseur, s'étendant sur un espace considérable. On a calculé qu'un pouce cube de terre de Bilding contient 41,000 milliards de carapaces microscopiques. Le tripoli est employé dans l'industrie pour le polissage des métaux; nos cuisinières s'en servent pour faire briller leurs casseroles de cuivre.

#### QUESTIONNAIRE.

*Quelles sont les principales roches siliceuses?*

*Décrivez le cristal de roche et ses variétés.*

*Décrivez le silex et ses variétés.*

*Quels sont les principaux usages des divers silex?*

*Qu'est-ce que la meulière? Parlez de son origine.*

*Usages des meulières.*

*Qu'est-ce que le tripoli?*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Les roches siliceuses ne font pas effervescence par les acides; tremper du cristal de roche et des silex dans des acides. Ces roches rayent l'acier.

Expérience du briquet. La pierre de touche.

Montrer des échantillons de cristal de roche, d'améthyste, de silex noir et blond, d'agate, d'opale, de meulière. Examiner du tripoli au microscope.



### III

#### Les roches siliceuses (suite).

**Les sables.** — Toutes les roches siliceuses roulées par les eaux et usées par leur frottement réciproque produisent une poudre à éléments plus ou moins gros qui est le *sable*.

C'est ainsi que les falaises crayeuses de la Manche, en laissant tomber leurs énormes rognons siliceux, produisent les *galets* et les *sables* du littoral.

Les rognons siliceux roulés usent leurs angles et s'arrondissent, le galet reste sur place à cause de son poids, et le sable porté plus loin forme des bancs mobiles que les vents ou la mer déplacent.

Les sables qui constituent des couches géologiques, comme les sables de Fontainebleau et les sables de Beauchamps, ont la même origine que nos sables modernes. Purs de matières étrangères et formés uniquement de grains de quartz, ces sables sont blancs et peuvent servir à la verrerie; mais on les rencontre souvent colorés par des oxydes de fer, ils sont alors jaunes ou rouges.

Ce sont les sables siliceux qui constituent ces plaines arides qu'on appelle des *landes* et ces monticules qu'on appelle des *dunes*. Les immenses déserts de l'Afrique, brûlés par le soleil et secoués par le *simoun*, ne sont que des amas de sable (fig. 211).

Les bancs de galets peuvent être considérés comme des bancs de sables à gros éléments. Ils sont plus recherchés depuis quelques années que toutes les autres roches siliceuses pour la céramique.



Fig. 211. — Le désert du Sahara.

Les sables sont utilisés dans plusieurs industries. Lorsqu'on les mélange avec de la chaux, ils donnent le mortier employé pour la construction; on en fait aussi des moules dans lesquels on coule la fonte et le laiton. Mais l'application la plus importante se trouve dans la fabrication des verres et des cristaux, dont je vous parlerai tout à l'heure.

**Les grès.** — Lorsque les eaux qui renferment en dissolution de la silice (eaux geysériennes) ou du carbonate de chaux (fontaine incrustante de Saint-Allyre) baignent des plages de sable, elles en agglutinent les éléments. Il y a alors formation d'une roche compacte qu'on appelle *un grès*.

Les sables réunis par le ciment siliceux forment des grès très durs qu'on nomme *grès siliceux*. Les sables à ciment calcaire s'effritent plus facilement et forment des grès employés pour le pavage. Les sables de Fontainebleau, par exemple, sont transformés en grès dans certains points de leur grande plage. Les grès servent à faire des meules à aiguiser.

Lorsque ce sont des galets plus ou moins gros qui sont agglomérés par le ciment siliceux ou calcaire, il y formation d'un grès à grains volumineux appelé *poudingue*.

**Fabrication des verres et cristaux.** — Le sable est infusible même aux plus hautes températures; mais lorsqu'on le mélange avec certaines substances, il fond et donne du verre en s'unissant aux matières qui ont été ajoutées.

Pline raconte que c'est le hasard qui conduisit les Phéniciens à la découverte du verre. Suivant lui, des marchands de soude phéniciens, ayant pris terre sur les bords du fleuve Bélus, firent avec quelques blocs de natron un

foyer sur le sable. Pendant la cuisson ces blocs fondirent et transformèrent en verre le sable sur lequel ils reposaient. La légende de Pline est difficile à admettre, car il est plus que probable que les Phéniciens en faisant leur cuisine ne produisirent pas un feu assez ardent pour obtenir pareil résultat. Quoi qu'il en soit, les verreries de Tyr, de Sidon et d'Alexandrie furent célèbres dans l'antiquité. En Gaule et en Espagne on commença à fabriquer du verre au premier siècle de l'ère chrétienne. C'était une substance fort chère; on raconte que Néron paya 600 francs deux petites coupes qui furent apportées à Rome. Au troisième siècle l'industrie de la verrerie était en grande prospérité; au sixième siècle, toutes les églises étaient garnies de vitraux; mais ce n'est que sous Louis XIV, avec Colbert, que la verrerie française prit son plus grand développement.

Actuellement encore nos produits font prime sur les marchés étrangers.

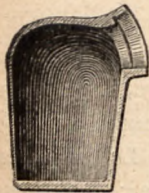


Fig. 212. — Creuset  
des verriers.

Pour fabriquer le verre, on mélange de beau sable avec du sel de soude et de la craie, on met le tout dans des creusets en terre réfractaire (fig. 212), et on chauffe dans des fours à une très haute température (fig. 213). Quand la matière est fondue, les verriers y trempent l'extrémité d'une longue canne de fer creuse et soufflent dans la pâte qu'ils ont cueillie de façon à en faire un ballon (fig. 214).

Le façonnage du verre varie avec les destinations qu'il doit recevoir, tantôt l'ouvrier souffle une bouteille, tantôt il fait un large cylindre que l'on coupe et que l'on étale sur une surface plane pour en faire une vitre, tantôt il étire le verre pour fabriquer des tubes et des baguettes.



Le verre est extrêmement précieux à cause de la facilité avec laquelle il se travaille ; on peut le colorer, le souder, le mouler, et même lui faire prendre une dureté considérable.

Quand on laisse tomber du verre fondu dans de l'eau



Fig. 213. — Vue d'une cristallerie.

froide, il forme des gouttes qui éclatent lorsqu'on en brise la pointe. On nomme ces gouttes des *larmes bataviques*.

En remplaçant la soude du verre par de la potasse on

obtient du *crystal*; on ajoute alors au mélange une certaine quantité de minium ou oxyde de plomb.

Dans les laboratoires de chimie, on travaille le verre au

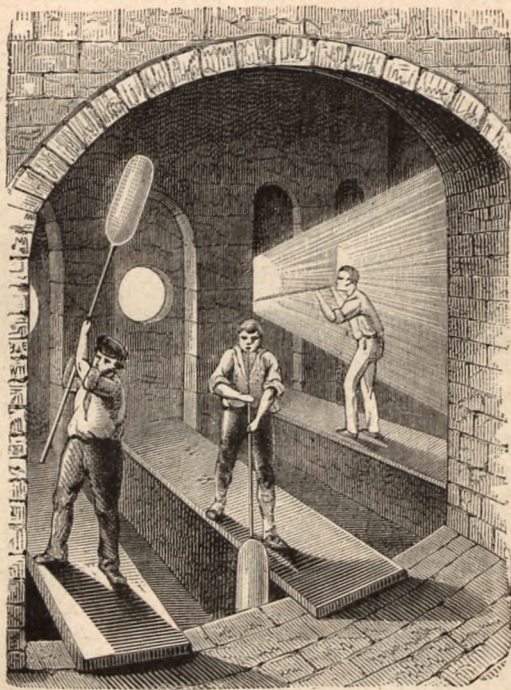


Fig. 214. — Travail du verre.

moyen de la lampe d'émailleur (fig. 215), c'est ainsi que l'on courbe les tubes des appareils et que l'on souffle les petits ballons d'analyse.

Beaucoup d'industries se servent de la même lampe pour

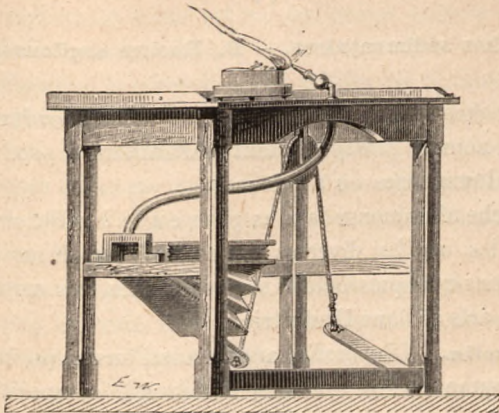


Fig. 215. — La lampe d'émailleur.

fabriquer des pierres précieuses artificielles et de menus objets de verre fondu, perles, fleurs, etc.

#### QUESTIONNAIRE.

*Expliquez l'origine des sables et des galets.*

*Quelle est l'origine des grès?*

*A quoi servent les sables et les grès?*

*A qui attribue-t-on la découverte du verre?*

*Expliquez en quelques mots la fabrication du verre et du cristal.*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Montrer des échantillons de sable, de grès, de galet, de poudingues. Insister sur la fabrication du verre et faire les expériences indiquées par le sujet (fusion du verre, soufflage, etc.). Visite à une verrerie. Notions sur l'art de l'émailleur et sur la fabrication des vitraux colorés.

**Roches sédimentaires. — B. Roches argileuses.**

Les roches ignées renferment en grande abondance un élément nommé *feldspath* dont l'altération a produit les roches alumineuses ou argileuses.

La roche alumineuse la plus pure est le *kaolin*; viennent ensuite les *argiles* diverses et les *ardoises*. Nous allons entrer dans quelques détails sur ces roches très employées dans les arts et dans l'industrie.

**Le kaolin.** — Le *kaolin*, appelé aussi terre à porcelaine, entre comme élément fondamental dans la composition de la pâte de cette poterie. Il y en a en France un gisement important à Saint-Yrieix (Haute-Vienne), aux Pieux, près de Cherbourg, et à Louhossoa (Basses-Pyrénées). Il en existe de vastes dépôts en Chine, en Saxe, en Russie et en Angleterre.

C'est le gisement de Saint-Yrieix, découvert en 1763, qui alimente la fabrique de porcelaine de Sèvres, et qui sert à l'exportation surtout pour les États-Unis.

Le kaolin est blanc, doux au toucher, il fait pâte avec l'eau et happe à la langue, c'est-à-dire qu'il s'attache sur la langue en s'emparant de l'humidité qui recouvre cet organe. Ce caractère appartient du reste à toutes les roches argileuses et permet de les reconnaître facilement.

**Les argiles.** — Comme le kaolin, l'*argile plastique* provient de la décomposition des *feldspaths*; mais elle est beaucoup moins pure, elle est colorée par des oxydes de fer. La plus belle argile est l'*argile plastique*, que les sculpteurs emploient pour modeler leurs statues, il y en a un gise-



ment célèbre à Vaugirard à la porte de Paris. Elle devient d'un rouge assez vif par la cuisson. Une autre argile plastique également bonne est naturellement colorée en rouge et sert aux mêmes usages.

Quelquefois la coloration des argiles est si intense qu'on les emploie pour la fabrication des couleurs, ce sont les *ocres*, les *sanguines*, les *terres d'ombre* et de *Sienna*, etc.

L'argile mélangée naturellement de sable prend le nom de *terre glaise*. Vous savez qu'elle est employée pour la fabrication des briques.

Mélangée d'un peu de craie, c'est la *terre de pipe*, et de beaucoup de craie, c'est la *marne*. La marne est un amendement précieux dont les cultivateurs se servent pour donner de la consistance aux terres trop sableuses qui deviennent ainsi plus productives.

L'*argile smectique* ou *terre à foulon* sert principalement au dégraissage des draps et autres étoffes de laine; elle ne forme pas de pâte avec l'eau, mais elle a la propriété d'absorber rapidement les huiles et les graisses dont on a imprégné les laines pour faciliter les opérations de la filature et du tissage.

Il y a des terres à foulon dans tous les pays, les plus renommées en France sont celles de l'Indre, de l'Isère et de l'Aveyron.

A Argenteuil, près de Paris, au-dessus des couches de pierres à plâtre se trouve une marne, terre à foulon qu'on vend dans la ville sous le nom de pierre à détacher ou savon des pauvres. Elle dégraisse parfaitement les étoffes surtout si on la mélange avec un peu de soude, substance qui entre dans la composition des savons ordinaires.

**Les ardoises.** — L'*ardoise* est une roche que l'on peut débiter en feuillets très minces. Elle provient de la trans-

formation des argiles très anciennes déposées pendant les premiers âges de la terre ; on lui donne souvent le nom de *schiste ardoisier*, parce qu'en géologie le mot *schiste* est appliqué à toutes les roches qui peuvent se diviser en feuillets.

L'ardoise résiste très bien à l'humidité et à la chaleur, aussi peut-elle être employée dans de nombreuses circonstances. Elle sert à couvrir les toits, à daller les lieux humides, et même, comme elle est susceptible d'un beau poli, on en fait des tables de billard, des consoles, des cheminées, etc...

Les ardoises ont toutes les couleurs des argiles : les plus communes sont les grises et les rouges. Il y en a de grandes exploitations en France, dans l'Anjou et dans les Ardennes. Les ardoisières d'Angers s'étendent de Trélazé à Avrillé, elles ont 8 kilomètres de long et 150 mètres de profondeur ; celles des Ardennes sont à Rimogne et à Fumay.

Depuis quelques années, pour augmenter la solidité des ardoises de couverture, on les cuit dans un four à briques, elles prennent alors une couleur qui rappelle celle de l'argile cuite.

On trouve de belles ardoisières en Italie, dans la province de Gènes, en Suisse et en Angleterre.

#### QUESTIONNAIRE.

*Quelles sont les principales roches alumineuses ?*

*D'où proviennent-elles ?*

*Qu'est-ce que le kaolin, où le trouve-t-on ?*

*Qu'est-ce que l'argile, la terre glaise, la terre de pipe, la marne ?*

*Qu'est-ce que la terre à foulon ?*

*Qu'est-ce que l'ardoise ? Où trouve-t-on l'ardoise ?*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Montrer des échantillons de feldspath, de kaolin, d'argile, de sanguine, de terre glaise, de terre de pipe, de marne, de terre à foulon, d'ardoise, etc. — Expériences avec l'argile plastique, modelage. cuisson.

## Usages des roches argileuses.

**Art du potier ou céramique.** — Nous avons dit dans la leçon précédente que les roches argileuses étaient très employées dans les arts et dans l'industrie; en effet, les premiers hommes, après avoir fabriqué des armes pour leur défense et des vêtements de peaux de bêtes pour préserver leur corps des intempéries, inventèrent dès le début de la civilisation l'*art du potier*, et mirent en œuvre les roches argileuses que nous venons d'étudier ensemble.

La *céramique* peut donc être considérée comme une des plus anciennes industries humaines; elle fit surtout des progrès rapides chez les Hindous, les Chinois et les Japonais.

Toutes les poteries connues peuvent être classées ainsi qu'il suit (1) :

PREMIÈRE CLASSE : Poteries à *pâte tendre et poreuse après la cuisson*.

DEUXIÈME CLASSE : Poteries à *pâte dure et imperméable après la cuisson*.

A la première classe appartiennent : les terres cuites d'art, les briques, les tuiles, les carreaux, les tuyaux de drainage, les pots à fleurs, les fourneaux de terre, les creusets de chimie et les carafes dites *alcarazas* : tous ces objets ne sont recouverts d'aucun vernis. D'autres objets : poêlons, terrines et faïences grossières sont rangés dans la même classe; mais différent des premiers parce qu'ils sont recou-

(1) J. Girardin, *Chimie appliquée aux arts industriels*, G. Masson, édit.

verts d'une sorte de glaçure brillante et imperméable qu'on nomme vernis, couverte, ou émail.

A la seconde classe appartiennent les grès cérames (fontaines de cuisines), les faïences fines et les porcelaines.

**Fabrication des poteries poreuses.** — *Les terres cuites*

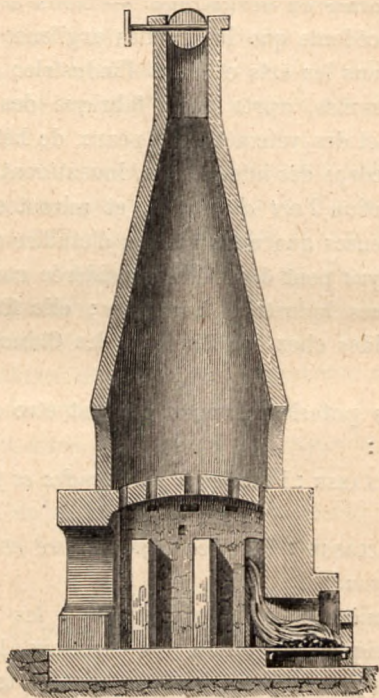


Fig. 216. — Four à faïence.

d'art sont façonnées par les sculpteurs avec la plus belle argile plastique, facile à modeler et ne renfermant pas de cailloux. Cette argile subit un fort retrait à la cuisson c'est-à-dire qu'elle diminue beaucoup de volume, aussi a-t-on soin



d'exagérer les dimensions des objets modelés avant de les porter au four.

Pour fabriquer les *tuiles* et les *briques* on mélange du sable à l'argile, ou l'on se sert de terre glaise, laquelle est, comme nous le savons, un mélange naturel de sable et d'argile; la matière bien pétrie avec de l'eau est d'abord moulée dans des cadres de bois et séchée à l'air, puis cuite au



Fig. 217. — Vernissage de la faïence.

feu pendant plusieurs jours. Les briques de fours de verre sont façonnées avec des matériaux très purs, car elles doivent subir une forte chaleur sans s'altérer.

Les *alcarazas* sont fabriqués avec des marnes argileuses additionnées de sable fin; on les cuit à une faible température pour qu'ils conservent une grande porosité.

Les *poêlons*, les *terrines* et les *faïences grossières* exigent une pâte argileuse mélangée de craie et de sable; on lave cette terre et on la laisse pourrir en fosses, puis on la piétine longtemps pour la rendre bien homogène. De misérables ouvriers *marchent* la terre pendant de longs jours, appuyés sur une barre fixe, ils dansent les pieds nus sur la pâte.

La cuisson des faïences s'effectue en deux fois dans un four spécial (fig. 216). D'abord on place les objets à l'étage supérieur du four, où se fait la première cuisson qui les transforme en *biscuit*, puis on les trempe dans de l'eau chargée d'une poudre fusible (*potée d'étain*) qui sera l'émail (fig. 217). A la seconde cuisson, dans l'étage inférieur du four, la poudre fusible fond et recouvre l'objet de son vernis imperméable.

**Fabrication des poteries non poreuses.** — La belle faïence, au lieu d'avoir un émail opaque et une terre poreuse comme la faïence grossière, présente un émail transparent et une terre fine, sonore, ne se laissant pas traverser par l'eau. On la fabrique, en France, à Sarreguemines, à Montereau, à Creil, à Chantilly, à Choisy, à Gien, à Bordeaux, à Nevers, etc...

La *porcelaine* est la plus belle de toutes les poteries, elle est préparée avec du kaolin, des sables très purs et du feldspath.

« La porcelaine, est d'origine chinoise; elle était déjà connue du temps des Han, 163 ans avant Jésus-Christ; mais les vases de cette matière ne devinrent communs que sous la dynastie des Souï, de 581 à 618 après l'ère chrétienne. Les célèbres fours de King-te-tchin, situés à l'est du lac Payang, au nombre de 3,000, qui occupent un million d'ouvriers, ne furent pas établis avant l'an 1000. C'est en 1518, un an après la découverte des côtes de la Chine par le Portu-

gais Fernand d'Andrada, qu'on vit apparaître pour la première fois en Europe la porcelaine du Céleste-Empire. Le mot *pourcelaine*, devenu plus tard *porcelaine*, dérive évidemment de *Porcellana* ou plutôt *porcolana*, qui, en portugais, signifie tasse, écuelle ou autre vaisselle de terre. On se servit pendant bien longtemps de cette nouvelle poterie

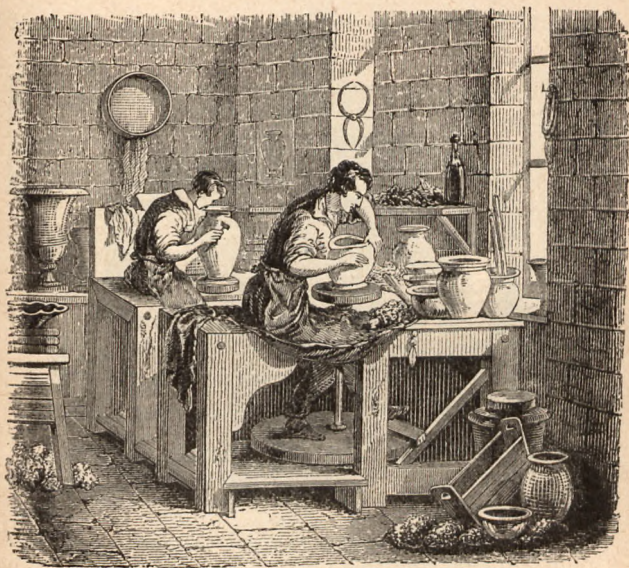


Fig. 218. — Le tour à potier.

sans en connaître la nature ; c'est seulement en 1709 que Frédéric Boettger, alchimiste attaché à Auguste I<sup>er</sup>, électeur de Saxe, parvint, après plusieurs années d'essais, à fabriquer de la porcelaine en tout semblable à celle de la Chine et du Japon, et à fonder la première manufacture de ce genre en Europe, dans la petite ville de Meissen, sur les



bords de l'Elbe. En France, Réaumur, à la suite de longues recherches commencées en 1729, découvrit de son côté le procédé de fabrication de la porcelaine tendre, et le chimiste Macquer établit à Sèvres en 1769 la fabrication de la porcelaine dure pareille à celle de Saxe, en se servant du kaolin qui venait d'être trouvé à Saint-Yrieix, près de Limoges. » (J. Girardin.)

Pour fabriquer la porcelaine on pulvérise finement le

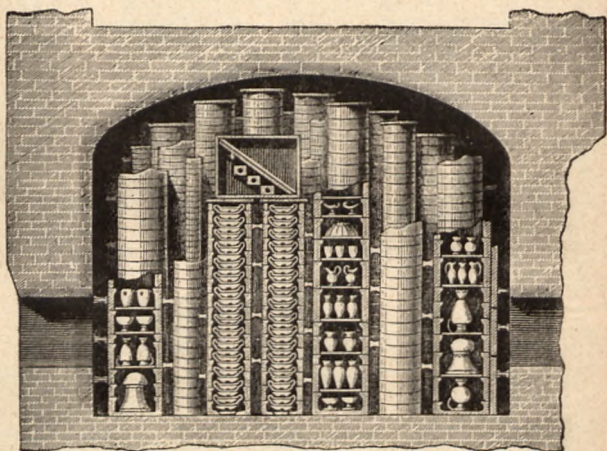


Fig. 219. — Pièces de porcelaine en cazettes.

kaolin, le sable et le feldspath, on mouille le mélange et on le met en fosse comme la pâte de faïence. Le façonnage s'effectue tantôt au moyen de moules, tantôt avec le tour à potier (fig. 218). Les pièces façonnées sont soumises à la première cuisson ou *dégourdi* qui leur donne un certain degré de dureté, puis on les enduit de leur couverte que l'on nomme *barbotine*.

Lorsque les pièces sont prêtes on les place dans des cylin-



dres de terre réfractaire qu'on nomme des *cazettes* (fig. 219), qui les protègent contre la fumée du four.

Le four à porcelaine a trois étages; le dégourdi se fait dans l'étage supérieur (fig. 220) et la cuisson définitive dans les deux étages inférieurs.

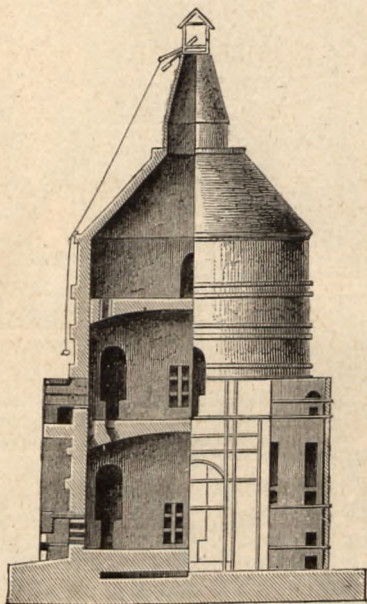


Fig. 220. — Le four à porcelaine.

Ces deux parties du four sont chauffées par des foyers latéraux qu'on nomme des *alandiers*.

Avant de défourner, on laisse refroidir lentement les pièces de porcelaine qui deviendraient très cassantes si l'on ne prenait pas cette précaution.

On peut décorer la porcelaine en se servant de couleurs

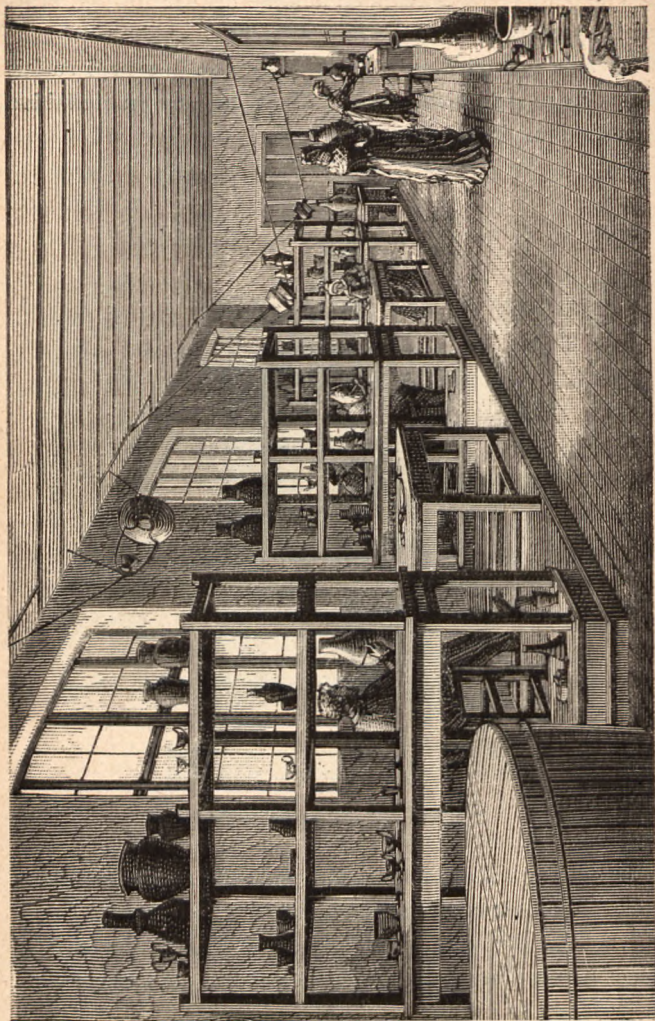


Fig. 221. — Salle d'émaillage de la manufacture de Sévres.

spéciales, fabriquées avec des verres colorés pulvérisés et de l'essence de térébenthine. Ces verres, déposés sur la porcelaine, fondent et la recouvrent d'un second émail.

L'art de décorer la porcelaine a atteint le plus haut degré de perfection dans notre célèbre manufacture nationale de Sèvres (fig. 221).

### QUESTIONNAIRE.

*Qu'est-ce que la céramique?*

*Comment divise-t-on les poteries?*

*Donnez des exemples de poteries à pâte poreuse.*

*Donnez des exemples de poteries à pâte non poreuse.*

*Comment fabrique-t-on les tuiles, les briques et les alcarazas?*

*Dites ce que vous savez sur les terres cuites d'art.*

*Comment fabrique-t-on les faïences?*

*Comment fabrique-t-on la porcelaine?*

*Dites quelques mots de l'histoire de la porcelaine.*

*Comment peut-on décorer la porcelaine?*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Lectures et récits sur la céramique. Montrer des échantillons de terres cuites et de poteries diverses. Dire pourquoi les alcarazas rafraîchissent l'eau. Grands centres manufacturiers céramistes français, produits des diverses fabriques. Visite dans les musées céramiques et dans les manufactures de la localité.

Art du modelage, de la sculpture, mise au point, etc.

**Roches sédimentaires. — C. Les roches calcaires.**

Les *roches calcaires* se divisent en deux groupes : celles dont la chaux est combinée avec l'acide carbonique et celles dont la chaux est combinée avec l'acide sulfurique. Les premières sont les *roches calcaires proprement dites*, les secondes sont les *roches gypseuses*.

**Roches calcaires proprement dites.** — Les *roches calcaires* proprement dites sont *toutes décomposées par les acides* et font effervescence lorsqu'on les plonge dans le vinaigre ; le gaz qui s'en échappe est l'acide carbonique qu'elles renferment ; la plus pure de ces roches est le carbonate de chaux cristallisé, généralement appelé en géologie *spath d'Islande*.

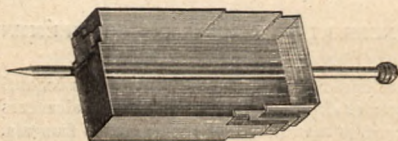


Fig. 222. — Spath d'Islande.

Le spath d'Islande est souvent très transparent ; il est bien loin d'être aussi dur que le cristal de roche, on peut facilement le rayer avec une pointe d'acier ; il présente le phénomène curieux de la double réfraction (fig. 222), c'est-à-dire que lorsqu'on regarde un objet à travers un cristal de spath cet objet est vu double.

Le *calcaire saccharoïde*, ainsi nommé parce qu'il ressemble à du sucre, est formé de grains brillants, demi-transparents



ou translucides : c'est le **marbre blanc** qui sert exclusivement aux sculpteurs. Les carrières de marbre statuaire les plus célèbres sont celles de Paros (Archipel grec), de Carrare (duché de Modène), de Seravezza (Toscane) et de l'île d'Elbe.

Les *marbres colorés* n'ont pas l'aspect cristallin du calcaire saccharoïde, on les emploie dans la décoration des édifices depuis la plus haute antiquité ; ils sont assez durs pour résister aux intempéries et peuvent acquérir un très beau poli. Les plus connus sont les *marbres noirs* de Dinant et de Namur, le *marbre griotte* de Narbonne, le *jaune de Vienne*, le *sarrancolin*, le *portor*, le *turquin*, le *grand antique* et le *Sainte-Anne*, remarquables par leurs colorations ; vous pourrez voir des échantillons de tous ces marbres dans les musées de géologie et dans les collections faites par des architectes. En France, il y a de belles exploitations de marbre dans l'Ariège, l'Aude, les Pyrénées, le Boulonnais, etc. Le polissage des marbres s'effectue en frottant leur surface avec des poudres dures de plus en plus fines ; on commence par les aplanir au grès, puis à la pierre ponce, à l'émeri, au rouge d'Angleterre et à la limaille de plomb ; les opérations durent plusieurs jours.

Le **calcaire lithographique** peut acquérir le poli du marbre, il contient un peu d'argile et sa pâte serrée le rend propre à reproduire nettement les traits d'un dessin. On en trouve de magnifiques gisements en Bavière. C'est un chanteur du théâtre de Munich qui a inventé la lithographie (1799). Cet art consiste à dessiner avec un crayon gras, sur la pierre polie, l'image que l'on veut reproduire, et à laver ensuite la pierre au moyen d'un acide. Le calcaire est décomposé par l'acide, sauf aux endroits préservés par l'encre grasse, et le dessin reste en relief : on le couvre d'encre d'imprimerie pour tirer les épreuves sur papier.

La **craie** est un calcaire compact friable qui renferme un peu de silice et une grande quantité de débris de foraminifères (fig. 223). Les carapaces de ces êtres microscopiques composent pour ainsi dire à elles seules des terrains entiers. Les carrières de craie sont très exploitées pour la fabrication du blanc d'Espagne et de la chaux dont nous parlerons dans la leçon prochaine.

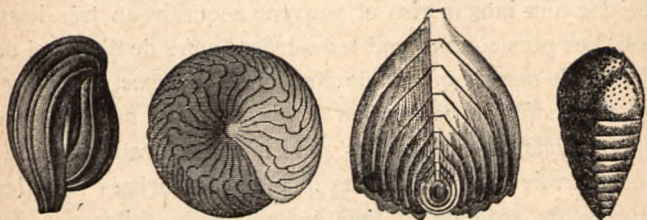


Fig. 223. — Les foraminifères de la craie.

La craie n'est pas rare en France, on en trouve à Meudon (fig. 224), près de Paris, elle forme nos belles falaises de la Manche (fig. 225), et constitue aussi le sous-sol d'un grand nombre de nos départements (Normandie, Champagne, etc.). En Touraine elle est utilisée pour la construction, on voit même, dans cette région, des habitations creusées dans la craie, dont l'aspect est très pittoresque. La craie se dépose encore de nos jours au fond des mers, surtout dans le voisinage des *lagouns* ou *îles madréporiques*, ce fait a été vérifié par de nombreux sondages.

*La craie n'est pas soluble dans l'eau ordinaire, mais elle se dissout dans l'eau de Seltz, c'est-à-dire dans l'eau chargée d'acide carbonique; cette propriété a donné lieu à la formation de roches calcaires très intéressantes. Dans un grand nombre de cas, en effet, l'eau naturelle renfermant de l'acide carbonique libre pénètre dans le sol et s'y charge de car-*

bonate de chaux ; si elle revient ensuite à l'air, l'acide car-

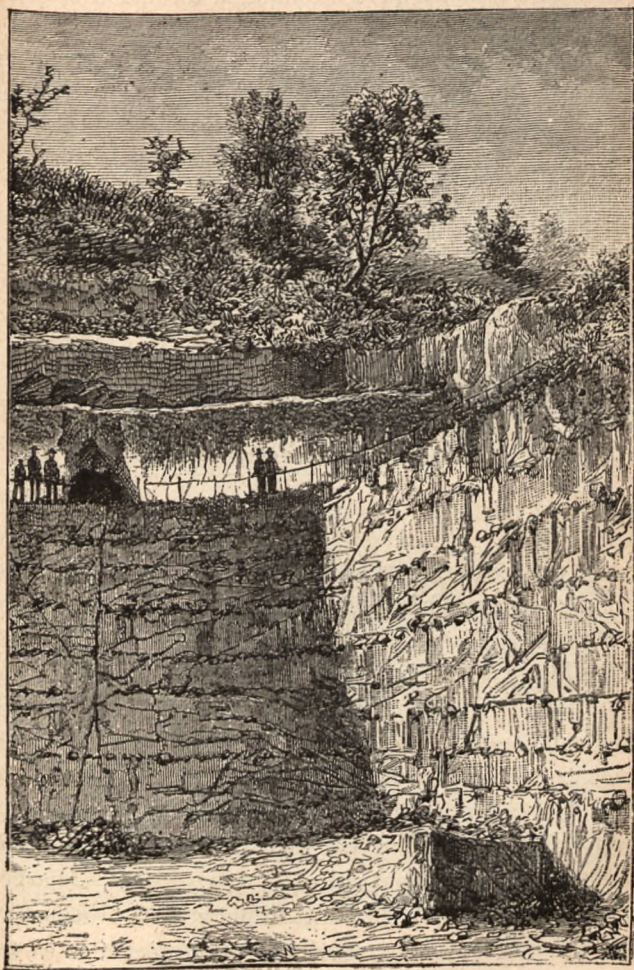


Fig. 224. — Une carrière de craie à Meudon, près Paris.



bonique qu'elle renferme se dégage et le carbonate de chaux se dépose. C'est ainsi qu'on explique la formation des *stalactites* et des *stalagmites*.

L'eau qui suinte à travers la voûte d'une grotte peut tomber goutte à goutte sur le sol et abandonner du calcaire, il en



Fig. 225. — Falaises de craie à Etretat.

résulte une colonne descendante, la *stalactite*, et au-dessous, une colonne ascendante, la *stalagmite* (fig. 226). Dans les Pyrénées, il existe de belles grottes à stalactites, entre autres la *grotte du Chat* près de Bagnères-de-Luchon; dans la province de Namur se trouve la magnifique *grotte de Han*, composée de vingt-deux salles différentes garnies d'ornements calcaires incomparables (fig. 227); dans l'Archipel grec, la célèbre *grotte d'Antiparos*, et en Amérique les *grottes du Mammoth*, de *Wegers* et la *Fountain Cave*, que de nombreux touristes vont visiter.

Le calcaire des stalactites est brillant et demi-transparent, on lui donne souvent le nom d'*albâtre calcaire* et on en fait des vases, des coupes et des statues : il y a de belles carrières de cet albâtre dans les provinces de Grenade et de Ma-



laga en Espagne, à l'île de Malte et à Trapani en Sicile.



Fig. 226. — Grotte avec stalactites et stalagmites.

Certaines eaux sont si fortement chargées de calcaire en dissolution qu'elles forment des incrustations sur tous les

objets qu'on y plonge : telles sont les eaux de la *fontaine*



Fig. 227. — La grotte de Han (Belgique).

*de Saint-Alyre* à Clermont (Auvergne), celles de Saint-Nectaire (Puy-de-Dôme) et celles d'Orcher près du Havre.

Ce sont des eaux semblables qui, aux âges géologiques, ont produit les calcaires compacts et veinés qu'on nomme **travertins**, les calcaires grenus *oolithiques* et *pisolithiques* constitués par des grains ressemblant à des œufs de poissons ou à des pois, les *brèches calcaires*, et les *lumachelles*.

On nomme brèches des morceaux de calcaires soudés par un ciment naturel calcaire, et lumachelles des coquilles soudées entre elles de la même façon; les brèches et les



Fig. 228. — Les catacombes sont d'anciennes carrières sous Paris.

lumachelles sont souvent si compactes et si dures qu'on les utilise comme marbres, telles sont les brèches de l'Ariège et de l'Andalousie, les lumachelles de Troyes, de Narbonne, de Brest et des Ecaussines près Mons, en Belgique. Les travertins sont comparables aux dépôts formés dans les chaudières des machines à vapeur, ils ont parfois une épaisseur énorme et sont utilisés pour la décoration des édifices et la fabrication des mosaïques.

Le **calcaire grossier** ou *calcaire à bâtir* est un calcaire



impur chargé de quantités variables d'argile et de sable, il est extrêmement précieux pour la construction, on l'exploitait autrefois en galeries sous Paris (fig. 228). Les architectes distinguent deux groupes de pierres à bâtir : les *pierres dures* comme celles de Château-Landon (Seine-et-Marne), de Caen (Calvados), de Saint-Ylie (Jura), de Grimault (Yonne) et de Rombaux (Belgique), qui peuvent être utilisées à la sortie des carrières, et les *pierres tendres* comme celles de Paris, de Rouen et de Lille qu'il faut laisser longtemps sécher à l'air après leur extraction.

Les pierres tendres employées trop tôt se fendent souvent pendant les grandes gelées, elles perdent leurs angles et s'émousent sous l'action des mouvements atmosphériques.

Le calcaire grossier se débite en *pierres de taille* ou en *moellons*; les pierres de taille mesurent parfois plusieurs mètres cubes, les moellons ne dépassent pas quelques décimètres.

#### QUESTIONNAIRE.

*Comment divise-t-on les roches calcaires?*

*Quel est le caractère qui distingue les roches calcaires proprement dites?*

*Qu'est-ce que le spath d'Islande?*

*Qu'est-ce que le calcaire saccharoïde?*

*Indiquez les diverses espèces de marbre que vous connaissez.*

*Parlez du calcaire lithographique.*

*Dites ce que vous savez sur la craie.*

*Quelles sont les variétés de calcaires concrétionnés et travertins?*

*Qu'est-ce que le calcaire grossier?*

*Comment l'exploite-t-on?*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Traiter de la craie, du marbre et de la pierre à bâtir par un acide, pour montrer l'effervescence du carbonate de chaux. Double réfraction du spath d'Islande. Présenter aux élèves des échantillons de toutes les roches citées dans cette leçon. Lectures et récits sur les grottes célèbres et sur les catacombes. — Taille de pierres.



## VII

### Les roches calcaires (suite). Leurs usages.

**Roches gypseuses.** — Dans les roches gypseuses, la chaux au lieu d'être unie à de l'acide carbonique est combinée avec l'acide sulfurique, il en résulte que ces roches ne font *pas effervescence par les acides* comme les précédentes et qu'elles peuvent ainsi en être distinguées. Les *gypses* sont des roches tendres que l'on peut rayer à l'ongle, il y en a plusieurs variétés : la *Pierre spéculaire*, l'*albâtre gypseux* et la *Pierre à plâtre*.

La pierre spéculaire est du sulfate de chaux cristallisé en forme de lames que les anciens utilisaient pour faire des tuiles brillantes (*speculum*, miroir) qui renvoyaient les rayons du soleil. Les cristaux de gypse ont généralement la forme de fers de lance ou de tables (fig. 229), ils se clivent, c'est-à-dire se débitent en feuillets, très facilement. Les ouvriers donnent au gypse fer de lance le nom bizarre de *miroir d'âne* ou encore celui de *Pierre à Jésus*. On en trouve dans les gisements de pierre à plâtre.

L'*albâtre gypseux* ressemble par son aspect au plus beau marbre blanc, c'est une roche d'un blanc de neige que l'on taille pour en faire des objets d'art.

Les plus beaux albâtres sont ceux de Volterra en Toscane; on en exploite à Lagny (Seine-et-Marne) dont la couleur est



Fig. 229. — Gypse en fer de lance.

grisâtre, ils ont tous l'inconvénient d'être rayés au moindre choc ; aussi conserve-t-on sous des globes de verre les objets sculptés en albâtre gypseux.

La plus utile des roches gypseuses est la *Pierre à plâtre* qui se trouve en couches considérables dans les environs de Paris, à Montmartre, à Pantin, à Noisy, à Belleville, à Romainville, etc. Les carrières parisiennes étaient déjà exploitées dès le quatorzième siècle, elles ont longtemps fourni les matériaux nécessaires aux constructions de la France, de l'Angleterre et même de l'Amérique, et sont encore pour notre capitale une source importante de richesses.

Si vous visitez une exploitation de pierre à plâtre, vous remarquerez que les couches de la roche sont séparées les unes des autres par des couches de marne ou d'argile, tantôt blanches, tantôt colorées.

**Usages des roches calcaires.** — Presque toutes les roches calcaires sont employées dans la construction ; nous avons eu l'occasion de nous étendre sur ce sujet en parlant des marbres, des calcaires compacts et des calcaires grossiers, il nous reste à dire quelques mots sur la fabrication de la *chaux*, des *mortiers*, des *ciments*, des *bétons* et du *plâtre*.

Pour faire de la chaux, on prend de la craie ou du calcaire grossier, et on en dispose des blocs dans un four comme le montre la figure 230. Lorsque le four est rempli, on allume un feu de bois que l'on active peu à peu jusqu'à ce que la flamme sorte par la partie supérieure du four sans aucune fumée, on éteint ensuite graduellement en ayant soin de laisser refroidir avant de défourner.

Dans les fours où l'on brûle du charbon de terre, le calcaire et le combustible sont disposés par couches successives comme vous pouvez le voir dans la figure 231.

La chaux qui sort du four se nomme *chaux vive*, c'est du calcaire auquel on a enlevé son acide carbonique par la chaleur ; elle ne fait plus effervescence lorsqu'on la traite par un acide même fort, mais elle foisonne avec l'eau, c'est-à-dire qu'elle se gonfle et s'échauffe en l'absorbant. Aussitôt qu'elle a pris toute l'eau qu'elle peut contenir, on dit que la chaux est *éteinte*. La chaux éteinte ne peut plus foisonner.

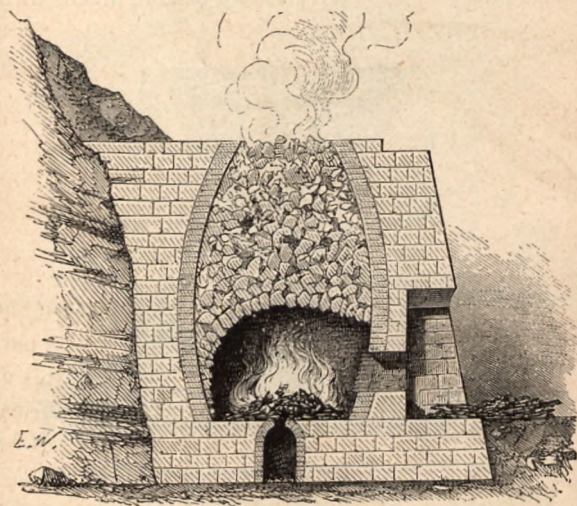


Fig. 230. — Four à chaux.

Avec la chaux et le sable on fait des *mortiers* pour sceller les pierres et enduire les murs ; vous avez tous vu les cuvettes de sable dans lesquelles les maçons éteignent la chaux et font le mélange dont je vous parle, il y en a devant toutes les maisons en construction.

La chaux qui foisonne beaucoup est dite *chaux grasse* ; celle qui foisonne peu, *chaux maigre*, et celle qui se durcit

dans l'eau, *chaux hydraulique*. Les chaux hydrauliques sont obtenues avec des calcaires argileux, elles servent à la fabrication des ciments célèbres de Portland et de Vassy, ce sont les seules que l'on puisse employer pour les constructions submergées.

Les *bétons* sont des mélanges de chaux grasses, d'argiles cuites et de petites pierres poreuses qui résistent très bien à l'action des eaux de la mer. C'est au célèbre ingénieur fran-

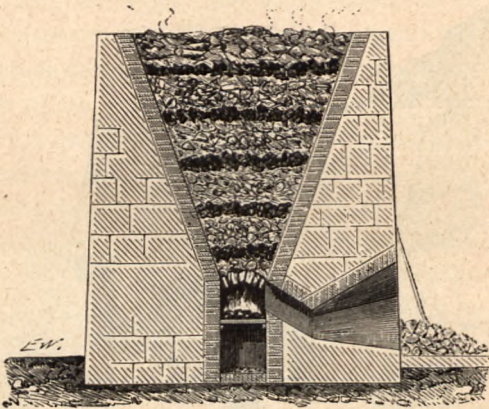


Fig. 231. — Four pour la cuisson au charbon de terre.

çais Vicat (1786-1864) que l'on doit la découverte des ciments modernes aussi solides et plus faciles à obtenir que les anciens *ciments romains*.

Pour préparer le *plâtre*, on se sert du gypse que l'on cuit (fig. 232) jusqu'à ce qu'il ne dégage plus de vapeur d'eau. La pierre à plâtre étant un sulfate de chaux combiné avec de l'eau, c'est cette eau que la calcination lui enlève. Le plâtre, convenablement *cuit*, réduit en poudre et gâché avec son volume d'eau par le maçon, s'échauffe et se



transforme en quelques minutes en une masse molle que l'on emploie et qui devient peu à peu dure et résistante. On doit conserver le plâtre à l'abri de l'humidité; sans cette

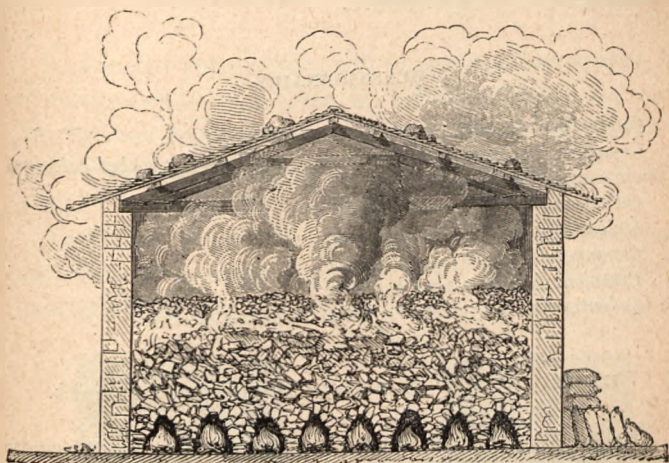


Fig. 232. — Four à plâtre.

précaution, il absorbe la vapeur d'eau contenue dans l'air et s'évente.

Au dix-septième siècle, Mathieu Danzmy, fils d'un marbrier de Gênes, eut l'idée de gâcher du plâtre dans de l'eau chargée de colle forte : il découvrit ainsi le *stuc*, dont on fait un si grand usage aujourd'hui. Le stuc se polit facilement et peut être coloré de diverses façons pour imiter les marbres les plus riches et les plus rares, malheureusement il n'est pas très résistant aux chocs et se raye trop vite. C'est néanmoins un excellent ornement pour les parties élevées des édifices, telles que les plafonds et les lambris.

Le plâtre le plus fin et le plus pur est employé pour les moulages de statues et de médailles, il prend très bien les

empreintes parce qu'il a la propriété de se gonfler en absorbant l'eau, ce qui le pousse à pénétrer dans toutes les sinuosités du modèle. Les vieux plâtres sont utilisés comme amendement, en agriculture.

### QUESTIONNAIRE.

*Quelles sont les principales roches gypseuses ?*

*Comment distingue-t-on les roches gypseuses des roches calcaires proprement dites ?*

*Qu'est-ce que la pierre à plâtre ?*

*Qu'est-ce que l'albâtre gypseux ?*

*Comment fabrique-t-on la chaux ?*

*Comment fabrique-t-on le plâtre ?*

*Qu'entend-on par mortiers, ciments, bétons et stucs ?*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Montrer aux élèves des échantillons des roches étudiées dans cette leçon. Insister sur les caractères qui différencient les calcaires et les gypses. Clivage du gypse cristallisé. Propriétés de la chaux, expériences. — Visiter une maison en construction et dire le nom des matériaux qu'on y trouve. Gâcher du plâtre, prendre l'empreinte d'une médaille ou d'une pièce de monnaie. — Visiter des exploitations de roches calcaires à ciel ouvert ou en galeries. — Visiter des fours à chaux et à plâtre.

## VIII

### Roches sédimentaires. — Les roches combustibles.

Les roches combustibles sont le *graphite*, l'*anthracite*, la *houille* ou charbon de terre, les *lignite*s et les *tourbes*, elles proviennent toutes de la décomposition lente des végétaux qui se sont peu à peu réduits en charbon plus ou moins pur.

Le charbon le plus pur que nous puissions trouver dans la nature est le *diamant* : c'est, vous le savez, une pierre très précieuse, très dure et extrêmement réfringente, pro-



Fig. 233. — Diamant taillé en rose.

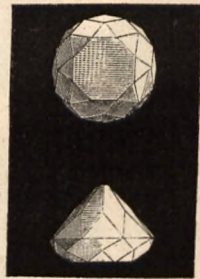


Fig. 234. — Diamant taillé en brillant.

duisant des jeux de lumière magnifiques. On le taille en rose (fig. 233) ou en brillant (fig. 234). Il se trouve au Brésil, aux Indes orientales et en Sibérie. Le polissage du diamant est long et difficile (fig. 235). Les diamants de qualité inférieure, noirs ou colorés, servent aux vitriers pour couper le verre.

Le **graphite**, appelé aussi mine de plomb ou plombagine, est encore un charbon très pur, on le rencontre dans les ter-

rains les plus anciens du Piémont, des Pyrénées, des Hautes-Alpes, et surtout à Marinski, à 400 kilomètres d'Irkoustk, dans la Sibérie orientale. En Amérique on trouve du graphite à Barreros (Brésil). Le graphite est noir, brillant, onctueux



Fig. 235. — La taille du diamant.

au toucher ; il se réduit en poudre impalpable, tache les doigts et laisse une trace sur le papier, on s'en sert pour fabriquer les crayons, et pour garantir de la rouille les objets de fer ou de fonte. Mélangé avec de la graisse il sert aussi à adoucir les frottements dans les machines.



L'**anthracite** ou charbon de pierre brûle dans un fort courant d'air, c'est un charbon sans éclat, employé surtout dans les usines de la Pensylvanie (États-Unis). En France, on l'exploite dans la Sarthe, la Mayenne, l'Anjou et le Forez; en Angleterre, dans le pays de Galles, pour le mélanger avec des charbons de terre et en fabriquer des sortes de bûches économiques que l'on place au fond des cheminées.

La **houille** ou charbon de terre est le plus précieux de tous les combustibles, on l'employa dès la plus haute antiquité, quoi qu'en dise la légende du pays de Liège qui fait remonter son emploi seulement à l'année 1049 de notre ère. Elle doit son nom au vieux Hullos, du village de Plénevaux (Belgique), dont voici l'histoire :

« Un jour qu'un pauvre maréchal-ferrant, nommé Hullos, était à l'œuvre dans sa forge, passa un vieillard vénérable par sa barbe blanche et par ses cheveux blancs, portant un vêtement blanc. L'étranger, après avoir dit le bonjour au maréchal, lui souhaite beaucoup d'ouvrage et particulièrement un gain considérable. — Oh! bon vieillard, quel gain voulez-vous que je fasse, puisque mon métier peut à peine me procurer du pain? Est-ce que la plus grande partie de mon bénéfice n'est pas absorbée par l'achat du charbon, du cokis? — Mon ami, dit l'inconnu, il y a un moyen de rendre votre état plus lucratif. Allez près de la montagne des Moines. Là, vous trouverez à la surface du sol des veines de terre précieuse très noire. Prenez-en des fragments et employez-les comme du charbon; ils chaufferont parfaitement le fer. L'inconnu avait à peine achevé ces mots qu'il avait disparu. Le maréchal courut à l'endroit indiqué et en rapporta ladite terre noire; l'essai qu'il en fit vérifia l'assertion du vieillard en tout point.

Aussitôt Hullos, transporté de joie, révéla à ses voisins la précieuse découverte qu'il venait de faire (1)..... »

La houille n'est pas seulement un excellent combustible pour la métallurgie, elle donne encore par la distillation des produits très utiles : le *gaz d'éclairage* et des huiles légères ou lourdes comme la *benzine*, la *naphtaline*, etc. Malheureusement elle laisse souvent échapper dans les mines un gaz terrible qui mélangé à l'air détone violemment : c'est le *grisou*. Les mineurs ont bien soin de ne rien allumer dans les galeries d'extraction, et pour qu'aucune flamme ne se trouve en contact avec le grisou, ils se servent de lampes spéciales entourées d'une toile métallique (fig. 236). Le réservoir d'huile est en A, la mèche peut être relevée au moyen de la tige D, elle est enveloppée par la toile métallique BB que protègent les montants de fer CC.

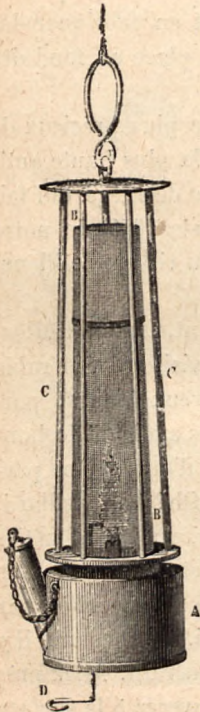


Fig. 236. — La lampe des mineurs.

Les couches de houille sont quelquefois disposées en cuvettes comme le montre la figure 237, mais souvent aussi on les rencontre toutes disloquées par les mouvements de l'écorce terrestre et leur exploitation devient bien plus difficile.

Les pays les plus riches en houille sont l'Angleterre, les États-Unis, la Prusse, la Belgique et la France. Il y a chez

(1) Henaux, *Recherches historiques sur l'exploitation des houilles de Liège*.

nous 62 bassins houillers, les plus productifs sont ceux de la Loire, du Nord, du Gard et du Creusot.

Les *houilles maigres* donnent une flamme courte en brûlant et produisent peu de fumée, les *houilles grasses* au contraire fument beaucoup et donnent de longues flammes.

Après la distillation de la houille pour la fabrication du gaz d'éclairage on trouve dans les cornues (fig. 238) un charbon poreux qu'on nomme *coke*, il est très avantageusement employé dans les fourneaux de cuisines, dans les calorifères et les cheminées d'appartements et ne produit pas de fumée; un autre charbon se trouve sur la voûte des

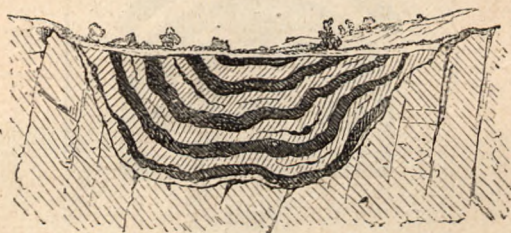


Fig. 237. — Couches de houille en cuvette.

cornues à gaz. c'est le *charbon des cornues*, noir et plus compact, que les physiciens emploient dans la construction des piles électriques.

Les **lignites** conservent la forme des végétaux dont ils proviennent, ils sont plus récents que les houilles, c'est-à-dire qu'ils se trouvent dans des terrains moins anciennement formés. On en trouve en Suisse, en Thuringe, en Bohême, en Suède et dans plusieurs départements de la France; ils sont employés comme combustible, mais ils dégagent en brûlant une odeur désagréable, certains d'entre eux sont susceptibles d'un très beau poli, on les nomme des *jais* et

on en fait depuis la plus haute antiquité des bijoux, des broches, des colliers, des boutons, etc. Les plus beaux jais viennent des Asturies (Espagne), de nos départements de l'Aude et des Hautes-Alpes, de l'Irlande et de l'Allemagne.

Les **tourbes** se produisent encore de nos jours dans certains marais peu profonds où l'eau se renouvelle lentement ; elles sont produites par la carbonisation lente des

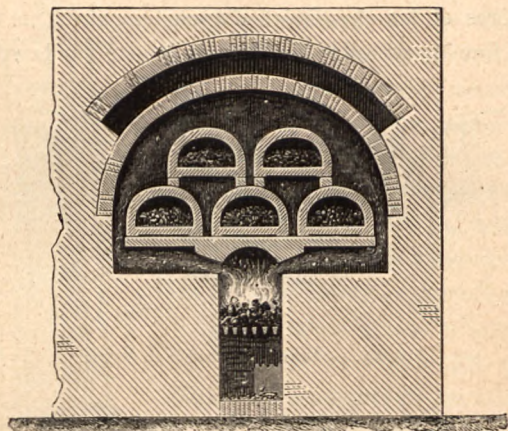


Fig. 238. — Distillation du charbon de terre pour fabriquer le gaz d'éclairage.

mousses connues sous le nom de *sphaignes*. On exploite de riches tourbières dans le nord de la France (fig. 239) aux environs d'Amiens (Somme). La tourbe est un mauvais combustible, mais elle peut entrer avec les autres charbons dans la fabrication des briquettes agglomérées. Elle est pourtant très employée même seule dans les ménages ouvriers de nos départements pauvres.

A côté des roches combustibles nous devons citer les



*naphtes* ou *huiles de pétrole* employés pour l'éclairage, ils donnent lieu à d'immenses exploitations en Pensylvanie. Du reste, une partie de l'Amérique du Nord semble reposer sur une vaste nappe de pétrole, les sondages ont démontré l'existence de cette nappe depuis le lac Érié jusqu'en Floride, on a trouvé le même liquide au Texas, en Californie



Fig. 239. — Exploitation d'une tourbière.

et dans l'Illinois. En France, il y a des schistes pétrolifères dans les environs d'Autun; on en trouve en Suède, en Bavière, en Hongrie, en Palestine, en Turquie, en Perse et en Chine.

Les *bitumes* sont des roches employées pour l'établissement des chaussées et des trottoirs. On trouve le bitume sur les rivages du lac Asphaltite ou mer Morte (Judée) et dans

le lac de Poix de l'île de la Trinité (Antilles) ; il y en a en France, à Aniches (Nord), à Seyssel (Ain), dans le Puy-de-Dôme et en Alsace-Lorraine. Les bitumes mélangés de sable sont fondus et étalés partout où l'on veut éviter l'humidité. Les calcaires poreux imprégnés de bitume se nomment *asphaltes*, on les pulvérise, et après les avoir étalés on les chauffe avec un fer qui fond la matière bitumineuse et ressoude ensemble les molécules calcaires.

On fabrique des bitumes et des asphaltes artificiels avec les produits solides tirés des goudrons de houille. Ils ont à peu près les propriétés des bitumes naturels.

#### QUESTIONNAIRE.

*Quelles sont les principales roches combustibles?*

*Quel est le plus pur charbon que l'on trouve dans la nature?*

*Dites ce que vous savez sur le diamant.*

*Qu'est-ce que le graphite, et à quoi sert-il?*

*Parlez de la houille et de ses produits.*

*Qu'entend-on par anthracite, lignite et tourbe?*

*Dites ce que vous savez sur les huiles de pétrole et les bitumes.*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Lectures et récits sur la taille des diamants et sur les diamants célèbres. Fabrication des crayons. Exploitation de la houille. Description des mines. Accidents occasionnés par le grisou. — Visite à une usine à gaz. Montrer aux élèves des échantillons des roches dont il est parlé dans cette leçon. — Asphalte et bitume.

## IX

### Pierres précieuses et métaux usuels.

Outre les nombreuses roches que nous venons d'étudier, on utilise encore dans les arts et dans l'industrie des pierres plus rares qu'on nomme *pierres précieuses*, elles ne se rencontrent qu'accidentellement au milieu des autres. Les principales sont : la *turquoise*, la *topaze*, le *corindon*, l'*émeraude*, le *grenat*, le *rubis*, la *tourmaline*, et le *lapis-lazuli*.

La **turquoise** est tantôt bleue, tantôt verte, elle se trouve en Perse dans certaines argiles ferrugineuses ; on l'emploie pour orner les bagues, les colliers et les boucles d'oreilles. C'est une pierre opaque, qui prend un beau poli.

La **topaze** est transparente, plus dure que le cristal de roche, avec une belle coloration ambrée qui la fait rechercher des joailliers. Les plus belles topazes viennent du Brésil, mais on en trouve aussi en Saxe et en Sibérie.

Le **corindon** est plus dur encore que la topaze, il n'est rayé que par le diamant ; c'est une pierre précieuse transparente dont la couleur varie suivant l'espèce. On distingue des corindons bleus ou *saphirs*, des corindons rouges ou *rubis orientaux*, des corindons jaunes ou *topazes d'Orient*, et des corindons verts ou *émeraudes orientales*, ces riches bijoux viennent des Indes et particulièrement du royaume de Pégou. On emploie beaucoup un corindon commun de Naxos et de l'Asie Mineure pour polir et scier les pierres dures, on le vend dans le commerce sous le nom d'*émeri*.

L'**émeraude** est plus dure que le cristal de roche, mais elle peut être rayée par la topaze ; c'est une pierre transparente verte ou d'un vert bleuâtre, très recherchée pour

la confection des colliers et des bracelets. On la trouve en Colombie. Cette pierre a des variétés communes opaques ou translucides non utilisées en joaillerie ; ce sont les *béryls* de Limoges, d'Autun et de Nantes, qu'on rencontre aussi en Bohême, en Sibérie, au Brésil et à Madagascar.

Le **grenat** possède la même dureté que le quartz, on le trouve en cristaux plus ou moins volumineux, d'un beau rouge caractéristique. Le grenat n'est pas rare, car il y en a dans tous les filons éruptifs du monde entier, mais certains échantillons sont dignes de figurer au milieu des pierres précieuses les plus estimées à cause de la richesse de leur coloration, ce sont surtout les *hyacinthes* de Ceylan, les *pyropes* de Bohême et les *grenats de Syrian* (Pégu).

Les **rubis** sont des pierres fines très estimées, on les recueille aux Indes et à Ceylan ; les *rubis balais* sont roses, les autres sont d'un rouge vif ; on en trouve en France dans les roches cristallines anciennes de la Bretagne, leur limpidité est extraordinaire et leur dureté dépasse celle de la topaze.

Les **tourmalines** sont souvent d'un beau noir, mais il en existe de vertes, de rouges, de bleues, et même d'incolores que les physiiciens emploient dans la construction de certains instruments d'optique.

Les tourmalines sont aussi abondantes que les grenats dans les roches cristallines anciennes ; les plus belles, celles qui sont employées en joaillerie, viennent de Sibérie, du Brésil ou de Ceylan.

Le **lapis-lazuli** est remarquable à cause de sa magnifique couleur bleu de ciel ; c'est une pierre opaque employée depuis la plus haute antiquité pour la marquetterie et la mosaïque ; on la tire actuellement de Perse, de Chine et de Sibérie.

**Métaux usuels.** — Un métal est *usuel* lorsqu'il est uni-



versellement employé, c'est-à-dire lorsqu'il n'existe pas un hameau, si pauvre qu'il soit, où on ne le trouve utilisé, soit à l'état de composé, soit à l'état métallique. Bien que l'on connaisse près de 40 métaux, le nombre des métaux usuels est très restreint, il se réduit à 12, dont 4 sont utilisés exclusivement à l'état de composés et 8 à l'état métallique.

Les métaux employés à l'état de composés chimiques sont :

Le *potassium*, qui se trouve dans les cendres du bois, dans certains savons, dans certains verres et dans le salpêtre ;

Le *sodium* du sel de cuisine, du savon, du verre ;

Le *calcium* de la chaux, de la pierre à bâtir, de la craie et du plâtre ;

L'*aluminium* de l'argile, des poteries, des faïences, des porcelaines.

Les métaux usuels à l'état métallique sont :

Le *zinc* des toitures, des seaux, des bassins et des réservoirs ;

Le *fer* des clefs, des clous, des serrures, des charrues, des épées, des machines ;

L'*étain* des couverts, des casseroles étamées ;

Le *cuivre* des gros sous, des chaudrons, des lampes ;

Le *plomb* des balles de fusil, des tuyaux ;

Le *mercure* des miroirs, des thermomètres et des baromètres ;

L'*argent* des pièces de monnaie, de l'orfèvrerie ;

L'*or* des pièces de monnaie, de la bijouterie, des cadres de tableaux et de glaces (A. Gérardin).

Combinés entre eux les métaux forment des *alliages*, sortes de métaux artificiels très employés. Vous étudierez toutes ces choses lorsque vous ferez de la chimie ; je ne vous citerai comme exemples d'alliages que le bronze, le laiton,

la soudure des plombiers et l'alliage des caractères d'imprimerie.

Quelques métaux se trouvent dans la nature tout préparés, c'est-à-dire à l'état *natif* : ainsi l'or se rencontre en quantité notable dans certains sables de rivière (fig. 240) ou dans des roches quartzieuses (fig. 241) dont on le sépare au moyen de broyages et de lavages successifs ; mais, le plus



Fig. 240. — Lavage des sables aurifères sur les bords du Rhin.

souvent, les métaux sont intimement unis à des substances étrangères, ils doivent alors subir de nombreuses opérations chimiques avant d'être obtenus à l'état de pureté. Leurs *minerais* se rencontrent mélangés aux diverses roches qui composent l'écorce terrestre et font la richesse des pays qui les possèdent (1).

(1) Dans les renseignements qui suivent le nom des minerais est entre parenthèses.

L'or se trouve souvent en Californie, en Australie, en Colombie, au Chili, au Pérou, au Brésil et au Mexique (*pépites*);

L'argent, au Mexique, au Chili, au Pérou, en Bolivie, en Algérie et en Espagne (*argyrose, argent rouge et pépites*);

Le mercure, en Espagne, en Toscane, en Chine, au Japon et dans l'Oural (*cinabre*);



Fig. 241. — Extraction de l'or des roches quartzieuses dans l'Amérique espagnole.

Le plomb, en Allemagne, en Espagne, en Angleterre, en France et en Algérie (*galène*);

Le cuivre, en Sibérie, en Allemagne, en Angleterre, en Espagne et dans l'Amérique du Nord (*pyrite cuivreuse, malachite*);

L'étain, aux Indes, au Mexique, en Saxe, en Angleterre, en Bohême et en France (*cassitérite*);

Le *fer*, en Suède, en Norvège, en Angleterre, en France, dans l'Amérique du Nord et dans presque tous les pays du monde (*aimant, fer oxydulé, fer oligiste, limonite*);

Le *zinc*, aux environs d'Aix-la-Chapelle, en Silésie, en Saxe, en Bohême, en Hongrie, en Angleterre, en France et en Algérie (*calamine, blende*).

Le *potassium*, le *sodium*, le *calcium* et l'*aluminium* entrent dans la composition des roches sédimentaires et des roches éruptives, ils se trouvent donc répandus sur toute la surface du globe en masses incalculables.

### QUESTIONNAIRE.

*Citez quelques noms de pierres précieuses.*

*Dites ce que vous savez sur la turquoise, la topaze, le corindon, l'émeraude, le grenat, le rubis, la tourmaline et le lapis-lazuli.*

*Quels sont les métaux usuels?*

*Quels sont ceux que l'on utilise à l'état métallique?*

*Quels sont ceux que l'on emploie à l'état de composés chimiques?*

*Qu'est-ce qu'un minéral?*

*Où trouve-t-on l'or, l'argent, le mercure, le plomb, le cuivre, l'étain, le fer et le zinc?*

*Comment se nomment leurs minerais?*

*Quelles sont les roches qui renferment le potassium, le sodium, le calcium et l'aluminium?*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Montrer quelques pierres précieuses, si cela est possible, ou faire visiter aux élèves la galerie de géologie du Muséum. Travail du lapidaire. — Montrer les métaux cités; parler de leurs alliages. — Opérations métallurgiques, description des hauts fourneaux. Le Creuzot, etc. — Montrer quelques minerais communs et insister sur les richesses minérales de la France.



# CHAPITRE V

## LES AGES DE LA TERRE

---

### I

#### **Périodes géologiques. Age primaire, ses terrains et ses fossiles.**

Lorsque notre planète, d'abord liquide, eut solidifié sa première écorce et que la température de cette écorce fut devenue assez basse pour permettre à l'eau de rester condensée à sa surface, les plus anciens terrains de sédiment prirent naissance.

L'eau commença son rôle géologique, elle se mit à ronger d'un côté pour édifier de l'autre. Depuis cette époque, malgré les tremblements de terre, malgré les abaissements et les soulèvements du sol, l'épaississement de la croûte terrestre s'est continué sans interruption jusqu'à nos jours. Sur les dépôts anciens, *des dépôts nouveaux se sont formés, feuillets successifs dont l'étude permet au naturaliste de lire l'histoire de la terre.*

Habitée d'abord par des êtres d'une organisation très inférieure, notre planète a vu ces êtres se modifier peu à peu et se perfectionner de siècle en siècle, à mesure que les conditions d'existence changeaient à sa surface et devenaient meilleures ; c'est seulement lorsque l'atmosphère plus pure et les climats plus sains permirent à l'homme de vivre qu'il prit possession de son empire.

Dans les roches stratifiées, nous retrouvons les restes de ces êtres précurseurs de l'homme, ce sont des ossements, des coquilles, des dents, des écailles, des empreintes, qu'on nomme *fossiles*. « Il n'y a pas très longtemps, dit M. Stanislas Meunier, qu'on accorde à l'étude des fossiles toute l'attention qu'elle mérite, et c'est à un Français, Georges Cuvier, qu'on doit de savoir que les fossiles proviennent d'êtres organisés, animaux et végétaux, différents de tous ceux qui vivent à présent. On a constaté, de plus, que pendant la longue durée qui a accompagné le dépôt des terrains stratifiés, les formes organiques se sont constamment modifiées, de telle sorte que *les fossiles peuvent enseigner l'âge relatif des couches dans lesquelles ils sont enfouis.* »

On a divisé les formations géologiques en plusieurs groupes en s'appuyant sur l'examen des fossiles et sur les grands changements intervenus dans la nature et la disposition des terrains qui les renferment.

Après la formation du sol primitif la terre resta longtemps inhabitée : ses mers étaient trop chaudes, son atmosphère trop lourde et trop brumeuse ne laissait qu'imparfaitement passer les rayons du soleil. Les savants ont donné à cette époque géologique le nom de **période azoïque** (privée d'êtres vivants) ; sa durée fut de plusieurs milliers de siècles, si on en juge par l'épaisseur des terrains qu'elle a vus se déposer.

Les roches sédimentaires de la période azoïque sont les *gneiss*, les *schistes micacés*, le *graphite* et certains *marbres* ; les roches éruptives de la même période sont le *granit*, la *syénite*, la *pegmatite*, le *quartz* en filons et le *fer magnétique*.

En France, nous pouvons trouver des terrains azoïques en Bretagne, en Vendée, et dans quelques points des Vosges,

des Alpes et des Pyrénées. Mais c'est surtout dans le Plateau Central qu'ils sont très développés.

« Le Plateau Central est la portion de notre patrie qui sortit la première du sein des eaux et autour de laquelle les autres vinrent peu à peu se grouper. Ses limites passent près d'Avallon, Confolens, Privas et Lyon, il a une élévation d'environ 750 mètres au-dessus du niveau de la mer. Son sol est formé de granit et de gneiss ; sur les bords il y a des schistes chargés de mica. Il est surmonté de plusieurs chaînes montagneuses qui s'élèvent comme des îles sur cette mer de granit. Celles du Limousin et de la Lozère sont elles-mêmes en granit et datent de l'âge azoïque. Les autres sont plus récentes ; ce sont les porphyres du Lyonnais et du Morvan, et les roches volcaniques du Mont-Dore, de la chaîne des Puys, du Cantal, etc. A part ces sommets qui sont souvent incultes, le Plateau Central est couvert de bois de châtaigniers ; mais, dans les endroits où l'écoulement des eaux ne peut pas s'opérer il y a des marécages. Les vallées offrent un peu de terre végétale, on y cultive le seigle et le sarrasin, il y a même d'excellentes prairies. » (Gosselet.)

Après la période azoïque commence la **période paléontologique**, pendant laquelle ont vécu les êtres dont nous possédons les fossiles. La période paléontologique a été divisée elle-même en trois âges : *primaire*, *secondaire* et *tertiaire* ; vient ensuite la **période contemporaine** ou âge *quaternaire*, caractérisée par la présence de l'homme.

En résumé, il y a trois grandes périodes géologiques :

- 1° La **période azoïque**. — La terre est inhabitée.
- 2° La **période paléontologique**. — La terre est habitée par des animaux et des végétaux la plupart disparus.
- 3° La **période contemporaine**. — La terre est habitée par les animaux actuels et par l'homme.

Ces périodes se subdivisent à leur tour de telle façon qu'on a le tableau suivant :

PÉRIODES.	PALÉONTONIQUE . . . . .	}	Terrains quaternaires.	}	Terre végétale.
					Alluvions modernes
					Diluvium.
		Terrains tertiaires.		Pliocène.	
			Miocène.		
			Eocène.		
		Terrains secondaires.		Crétacé.	
				Jurassique.	
				Lias.	
				Trias.	
		Terrains primaires.		Permien.	
				Carbonifère.	
				Dévonien.	
				Silurien.	
				Archéen.	
	AZOÏQUE . . . . .		Terrains primitifs.		

Nous avons parlé tout à l'heure des terrains primitifs et de la période azoïque, nous pouvons donc aborder maintenant l'étude des terrains fossilifères en commençant par les plus anciens.

**Terrains primaires.** — Les couches les plus anciennes des terrains primaires ont été souvent réunies sous le nom de *terrain de transition* parce qu'elles établissent le passage entre la période azoïque et la période paléontonique.

L'ARCHÉEN repose sur le terrain azoïque, il est formé par des schistes et des grès. Peu développé en France, il constitue des masses considérables dans l'État de New-York, dans le Vermont et le Canada. Les êtres qui vivaient dans les mers archéennes étaient des polypes agrégés en forme de barbes de plume (fig. 242); des crustacés voisins de nos cloportes, dont le corps était divisé en trois lobes et



qu'on a appelés pour cette raison des *trilobites* (fig. 243), et des échinodermes voisins de nos étoiles de mer.

Les trilobites ont été très communs pendant la période de formation des terrains primaires, on en trouve de nombreuses espèces dans les roches du terrain *silurien* qui font suite à l'archéen, ainsi que dans le *dévonien*; de nos jours il n'y en a plus de vivants. Ils caractérisent si bien l'époque primaire qu'on a proposé de donner à cette époque le nom d'*ère des trilobites*.

Le terrain SILURIEN tire son nom du pays des Silures en Angleterre (pays de Galles); il est riche en ardoises que l'on exploite en France à Angers (Maine-et-Loire) et dans les Ardennes à Fumay. Deville et

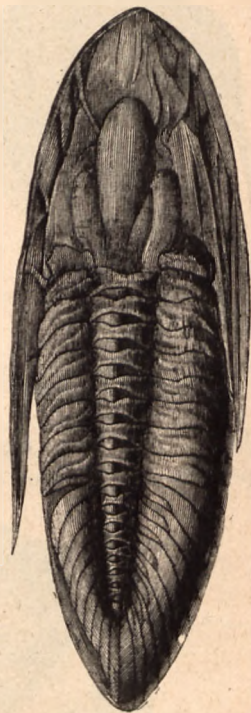


Fig. 242. — Polypes de l'âge primaire (Graptolithes).

Fig. 243. — Trilobite, crustacé de l'âge primaire (Ogygia).

Rimogne. Le plus bel exemple du terrain silurien est en Bohême où il forme de puissantes assises rendues célèbres par les travaux de M. Barrande.

Les fossiles qui caractérisent le silurien, sont avec les tri-

lobites (fig. 243, 244 et 245), des mollusques inférieurs nommés *spirifères*, des polypiers (fig. 246) et des espèces de nautilus nommés *lithuites* (fig. 247).

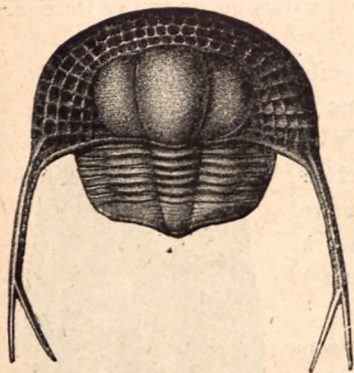


Fig. 244. — Trilobite, crustacé de l'âge primaire (Trinucleus).



Fig. 245. — Trilobite, crustacé de l'âge primaire (Calymène).

Le DÉVONIEN vient au-dessus du silurien, sur lequel il repose en stratification discordante; il comprend de *vieux*



Fig. 246. — Polypiers de l'âge primaire (Cyatophylles).

*grès rouges* très développés en Angleterre, et des *marbres* exploités dans les Pyrénées dans la vallée de Campan, près

de Bagnères-de-Bigorre. Pendant la formation des dépôts dévoniens les trilobites s'éteignent, les *spirifères* croissent en nombre et en espèces (fig. 248), les mollusques céphalo-



Fig. 247. — Mollusque céphalopode de l'âge primaire (Lithuite).

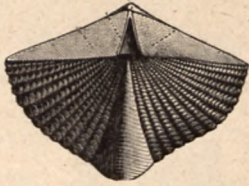


Fig. 248. — Spirifère, mollusque brachiopode de l'âge primaire.

podés se perfectionnent et les premiers poissons apparaissent (fig. 249). Les végétaux devaient être très abondants sur les rivages des mers dévoniennes, car on trouve de nom-

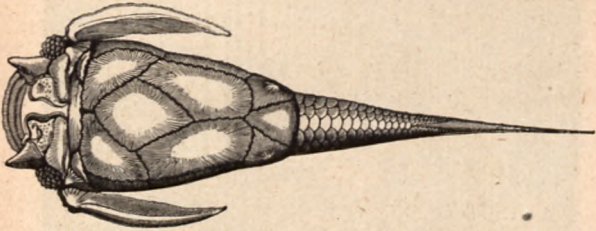


Fig. 249. — Poisson de l'âge primaire (Pterichthys).

breux gisements d'antracite au milieu des roches de ce terrain ; on les exploite à Montrélais-Saint-Georges et Chate-laison comme combustibles.

Le terrain dévonian est spécialement développé sur les bords du Rhin, entre Bingen et Bonn ; en Belgique, où il four-



nit des grès à paver, plusieurs sortes de marbres et un minéral de fer exploité dans les environs de Namur; en



Fig. 250. — Une forêt de l'âge primaire (période carbonifère).

Bretagne, où il fournit les ardoises de Châteaulin; dans les Vosges, en Ecosse et en Angleterre.

Le TERRAIN CARBONIFÈRE est le plus intéressant des terrains





Fig. 251. — Fougère de la période carbonifère (Pécoptéris).



Fig. 252. — Fougère de la période carbonifère (Sphénoptéris).

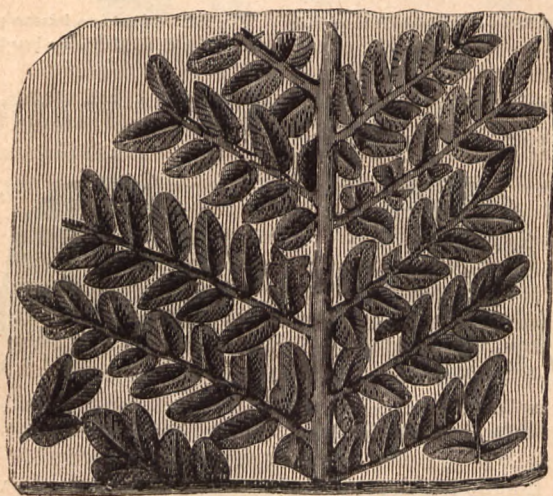


Fig. 253. — Fougère de la période carbonifère (Névroptéris).

primaires, il repose en stratification discordante sur le dévonien. C'est à cet étage qu'appartiennent la plupart des marbres belges, ainsi que le charbon de terre et les meil-



Fig. 254. — Sigillaire de la période carbonifère.

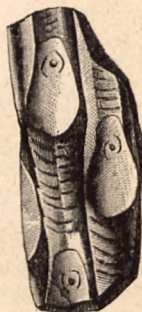


Fig. 255. — Cicatrices laissées par les feuilles de sigillaires sur leur tige.

leurs minerais de fer; sa puissance, c'est-à-dire son épaisseur, peut atteindre 500 mètres.



Fig. 256. — Mollusque brachiopode de la fin de l'âge primaire (Productus).



Fig. 257. — Intérieur de la coquille d'un Productus.

La houille provient de la transformation lente de végétaux enfouis et ayant subi une sorte de distillation dans le

sol. Or, à l'époque houillère, la végétation devint gigantesque, les acotylédones et les conifères formaient d'immenses forêts (fig. 250). Les *fougères* étaient alors des arbres, leurs feuilles ont été retrouvées par les géologues (fig. 251, 252 et 253). On a retrouvé de même des troncs de grands *lycopodes*, plantes actuellement très petites, et des *sigillaires* bien caractérisées par les empreintes de feuilles qu'elles portent (fig. 254 et 255).

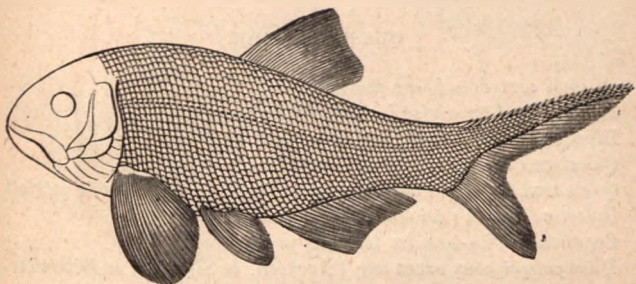


Fig. 258. — Poisson de l'âge primaire (Amblyptère).

Au-dessus du carbonifère et terminant la série des terrains primaires s'est déposé le TERRAIN PERMIEN ou pénién, très pauvre en fossiles. Il comprend de *nouveaux grès rouges*,



Fig. 259. — Poisson de l'âge primaire (Céphalaspis).

des schistes bitumineux et des grès puissants qui constituent toute la partie septentrionale des Vosges. Ce terrain peu développé en France est étudié en Angleterre et en Allemagne où il est mieux représenté que chez nous. Les mers



de l'époque dévonienne étaient habitées par des mollusques brachiopodes à coquilles hérissées de piquants (fig. 256 et 257) et par des poissons bizarres dont la colonne vertébrale se prolongeait dans la queue (fig. 258 et 259). Sur leurs rivages vivaient quelques reptiles sauriens assez analogues aux iguanes et aux moniteurs actuels, mais il n'y avait probablement encore sur la terre ni oiseaux ni mammifères.

### QUESTIONNAIRE.

*A quoi sert l'étude des fossiles?*

*Comment a-t-on divisé les âges de la terre?*

*Dites ce que vous savez sur la période azoïque.*

*Qu'est-ce que la période paléontonique?*

*Quels sont les terrains qui se sont déposés pendant cette période?*

*Qu'est-ce que la période contemporaine?*

*Comment divise-t-on les terrains primaires?*

*Dites ce que vous savez sur l'Archéen, le Silurien, le Dévonien, le Carbonifère et le Permien.*

*Quels sont les principaux mollusques de l'âge primaire?*

*Quels sont les principaux crustacés de l'âge primaire?*

*Quels sont les vertébrés qui vivaient à l'âge primaire?*

*Parlez des végétaux de cette époque.*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Montrer des roches et des fossiles des terrains azoïques et de transition. Insister sur le développement graduel des êtres organisés et sur l'apparition successive d'organismes de plus en plus élevés. — Excursions géologiques dans les terrains primaires si la localité le comporte.



Age secondaire, ses terrains et ses fossiles.

Les terrains secondaires *trias, lias, jurassique et crétacé*,



Fig. 260. — La France au début de l'âge secondaire.

sont bien moins développés en épaisseur que les terrains

primaires, mais ils renferment une immense quantité de fossiles très intéressants.

Au début de l'âge secondaire la France se composait de trois îles principales : le plateau central (Auvergne) le plateau armoricain (Bretagne) et le plateau vosgien (fig. 260). Le détroit de Poitiers séparait le plateau central du plateau armoricain et le détroit de Dijon le séparait du plateau vosgien. Les terrains secondaires sont venus se déposer sur ces contreforts et augmenter peu à peu la surface de notre pays.

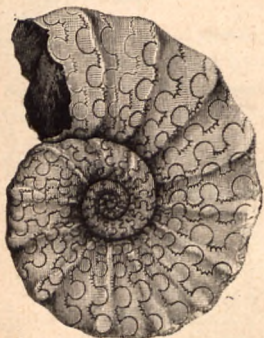


Fig. 261. — Mollusque céphalopode de l'âge secondaire (Cératites).



Fig. 262. — Mollusque céphalopode de l'âge secondaire (Ammonites).

Dans les mers de l'âge secondaire vécurent des mollusques céphalopodes d'une organisation élevée : c'étaient d'abord des *cératites* (fig. 261), puis des *ammonites* (fig. 262)



Fig. 263. — Os intérieur d'un mollusque céphalopode de l'âge secondaire (Belemnite).

et des *belemnites* (fig. 263), dont nous possédons les magnifiques fossiles. Les mollusques lamellibranches étaient

représentés par de nombreuses huitres aux formes diverses (fig. 264), les Échinodermes par de beaux oursins (fig. 265 et 266).



Fig. 264. — Une huitre de l'âge secondaire (Gryphée).

Les vertébrés atteignirent d'énormes tailles pendant l'âge secondaire ; parmi les vertébrés les reptiles surtout prirent



Fig. 265. — Oursin de l'âge secondaire, face supérieure (Holaster).

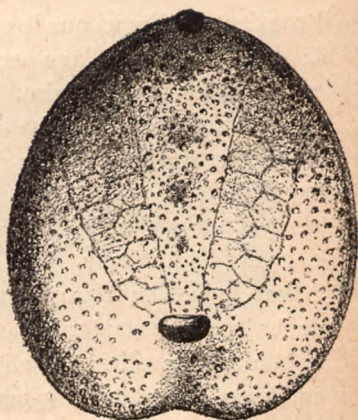


Fig. 266. — Oursin de l'âge secondaire, face inférieure (Holaster).

un si grand développement qu'on a proposé de donner à l'âge secondaire le nom caractéristique d'*ère des Reptiles*.



Le plus ancien des terrains secondaires, le TRIAS est bien représenté en Lorraine et dans le centre de l'Allemagne; en France il est peu important, ses fossiles principaux sont des coquilles de *cératites* et des débris d'*encrines* (Echinodermes); les roches qui le composent sont des *grès bigarrés*, des *calcaires coquilliers* et des argiles ou *marnes irisées* riches en *sel gemme*.

Il est probable que le gypse et le sel gemme de la période triasique ont été déposés dans des lacs salés ou dans des mers intérieures assez semblables à la mer Caspienne. Le sel gemme ressemble du reste absolument au sel marin et peut être employé en son lieu et place. On l'exploite à Dieuze, à Château-Salins, à Staasfurt près de Magdebourg et à Wieliczka en Pologne où les mines ont de telles dimensions qu'elles forment comme une ville souterraine (fig. 267). Il convient de dire ici que le sel gemme de Pologne n'a pas été déposé pendant l'âge secondaire, mais beaucoup plus tard, pendant l'âge tertiaire.

Le terrain du LIAS, qui se trouve au-dessus du Trias, est formé par des *grès* et des *calcaires argileux* chargés de coquilles de *gryphées*. Ces calcaires argileux très développés à Charleville et à Vassy servent à la fabrication de la chaux hydraulique.

Dans le Lias on trouve encore des couches de minerai de fer très importantes à Nancy et à Langres, et même de la houille d'excellente qualité en Autriche, au Caucase et en Perse. On rattache généralement le Lias à la grande formation JURASSIQUE qui lui fait suite.

Ce terrain très développé dans le Jura est caractérisé par de nombreuses *ammonites* et *belemnites*; il s'est déposé le long des plateaux primaires, fermant les deux détroits de Poitiers et de Dijon (fig. 268), et donnant à la France la



forme d'un grand V entre les branches duquel se trouvait le golfe de Paris.

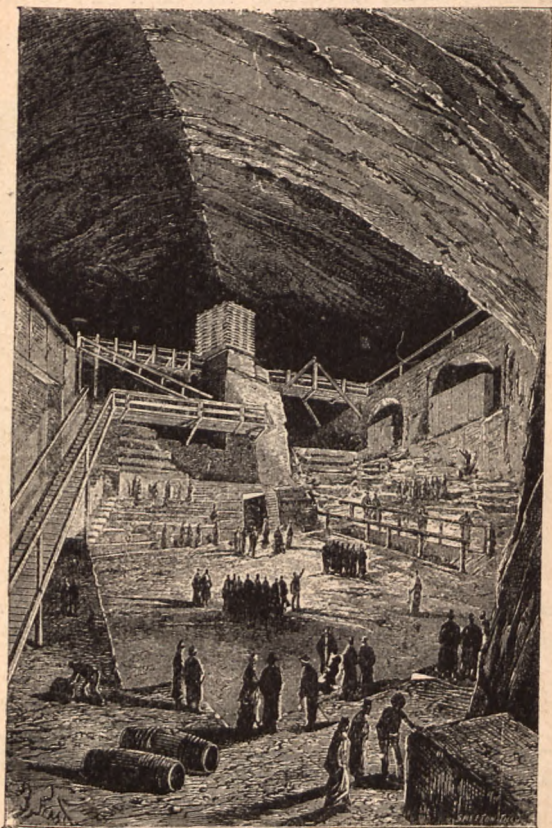


Fig. 267. — Mine de sel gemme à Wieliczka (Pologne).

Une large bande de terrain jurassique s'étend des bords de l'Océan vers l'est de la France, elle commence à la Ro-

chelle, passe à Poitiers, Châteauroux, Bourges, Nevers, Tonnerre, Chaumont, Metz, Luxembourg et Mezières; une seconde bande monte de Poitiers vers Caen en longeant le



Fig. 268. — La France après le dépôt du terrain jurassique.

plateau armoricain, et une troisième va de la Rochelle à Montpellier en longeant le plateau central.

Des lambeaux importants de terrain jurassique s'étendent encore à l'est du plateau central et au sud du plateau vosgien.

C'est dans les mers de la période jurassique que vivaient les *Ichthyosaures* (fig. 269) et les *Plésiosaures*.

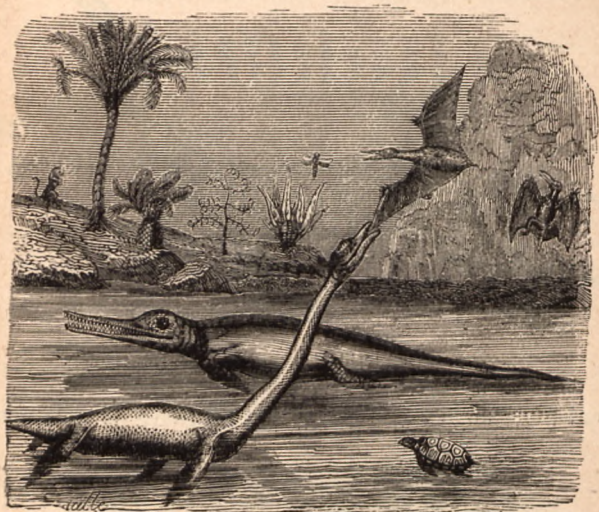


Fig. 269. — Animaux de l'âge secondaire.

L'Ichthyosaure (fig. 270) avait une tête assez semblable à celle du crocodile et du lézard, son corps, qui atteignait



Fig. 270. — Grand reptile de l'âge secondaire (Ichthyosaure).

10 mètres de longueur, portait quatre nageoires massives très puissantes et ses dents nombreuses étaient aiguës comme celles d'un carnassier. Le Plésiosaure (fig. 271), son



contemporain, était carnassier comme lui, mais certaine-

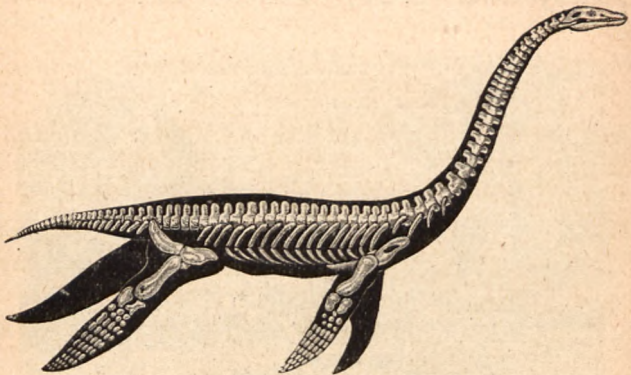


Fig. 271. — Grand reptile de l'âge secondaire (Plesiosaure).

ment plus faible ; il se nourrissait peut-être de poissons et

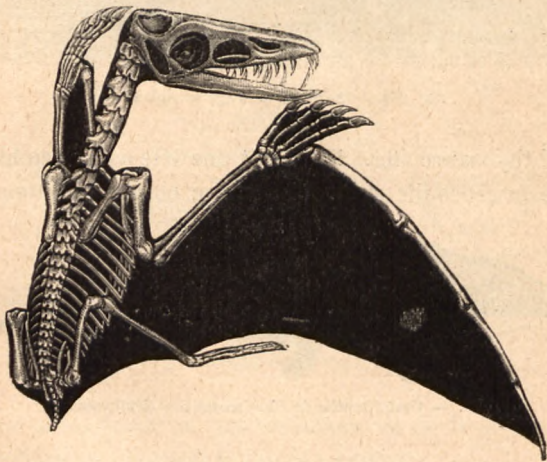


Fig 272. — Reptile volant de l'âge secondaire (Ptérodactyle).

de *Ptérodactyles*, étranges reptiles volants dont les dimen-



sions variaient entre celles de la chauve-souris et celles du cygne (fig. 272).

Sur les rivages de la mer jurassique vivaient encore

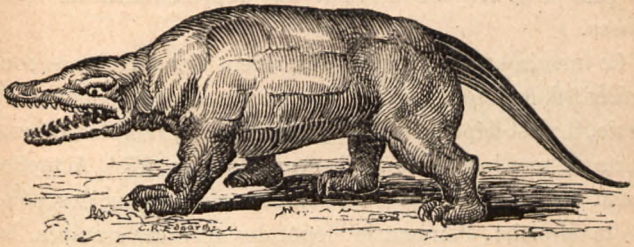


Fig. 273. — Le Mégalosaure, animal de l'âge secondaire.

d'autres reptiles qui se perpétuèrent jusqu'à l'époque du dépôt des terrains crétacés. C'étaient les *Téléosaures*, les

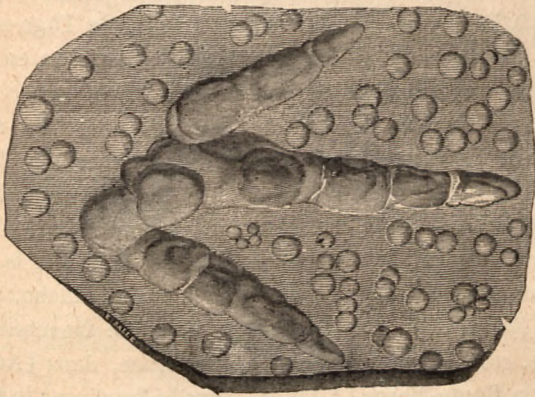


Fig. 274. — Empreintes de patte d'oiseau et de gouttes de pluie ; âge secondaire.

*Ramphorhynques* et les *Mégalosaures* (fig. 273) qui atteignaient 12 mètres de longueur.

Quelques oiseaux ont laissé l’empreinte de leurs pas sur le sable de ces rivages (fig. 274), et l’on a même retrouvé les restes d’un petit mammifère insectivore, le *Microlestes*, le plus ancien probablement des représentants de cette classe.

Le terrain CRÉTACÉ est le plus récent des terrains secondaires, il doit son nom à l’abondance de ses couches de craie, il s’est déposé dans le golfe de Paris, remplissant une sorte de mer intérieure anglo-française (fig. 275). Actuellement on peut l’étudier en Champagne et le long des côtes de la Manche. Pendant le dépôt des terrains crétacés, les grands reptiles deviennent moins nombreux et s’éteignent peu à peu, les Ammonites augmentent ainsi que les Échinodermes et les polypiers qui pullulent dans toutes les mers.

Les forêts qui n’étaient composées que de plantes cryptogames à l’âge primaire deviennent à la fin de l’âge secondaire, c’est-à-dire à l’époque crétacée, très riches en Phanérogames gymnospermes (conifères ou arbres verts comme les pins, les sapins, les mélèzes, etc.) et présentent même quelques Dicotylédones comme les Saules et les Érables.

On a subdivisé le terrain crétacé en deux étages : le *crétacé inférieur* et le *crétacé supérieur* dont les principales formations sont : le néocomien, l’aptien, le gault, la craie glauconieuse, la craie marneuse et la craie blanche.

Le *Néocomien*, qui prend son nom de Neuchâtel en Suisse, est surtout développé en Provence, dans l’Aube et dans la Haute-Marne ; l’*Aptien*, dans le Vaucluse ; le *Gault*, dans le Boulonnais et en Belgique ; la *craie glauconieuse*, à Rouen et dans le Maine ; la *craie marneuse*, en Touraine ; et la *craie blanche*, dans les falaises qui bordent la Manche en France et en Angleterre. Il y a près de Paris, à Meudon,

de belles carrières de craie blanche où vous trouverez facilement les *belemnites* et les *oursins* qui caractérisent les étages supérieurs de la craie.



Fig. 275. — La France après le dépôt du terrain crétacé.

La France et l'Angleterre étaient réunies à l'époque de l'exhaussement du terrain crétacé, mais les vagues de l'Océan sont venues plus tard battre en brèche la roche



trop friable et le Pas de Calais s'est ainsi formé; ce ca-

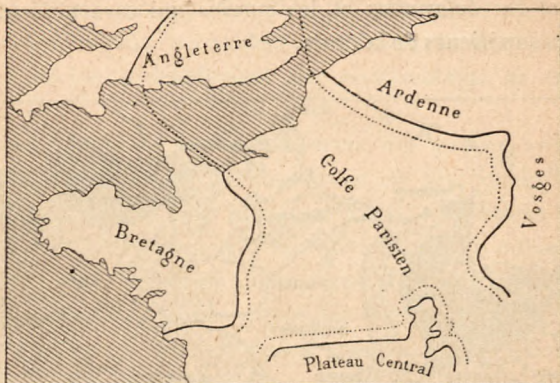


Fig. 276. — Golfe Parisien dans lequel se sont déposés les terrains jurassiques et crétacés.

nal s'élargit du reste encore tous les jours (fig. 276).

#### QUESTIONNAIRE.

*Comment divise-t-on les terrains secondaires ?*

*Quelle était la forme de notre pays avant le dépôt des terrains secondaires ?*

*Quels sont les fossiles qui caractérisent les terrains secondaires ?*

*Dites ce que vous savez sur le Trias et sur les roches utiles qu'il contient.*

*Dites ce que vous savez sur le Lias.*

*Comment la forme de la France s'est-elle modifiée après le dépôt des terrains jurassiques ?*

*Parlez des reptiles dont on trouve les restes dans les roches composant ces terrains.*

*Dites ce que vous savez sur le terrain crétacé.*

#### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Montrer aux élèves des Ammonites, des Belemnites, des Huitres et des Oursins fossiles appartenant à l'âge secondaire. Insister sur les reptiles de cette époque. Montrer quelques roches et faire quelques excursions géologiques dans les terrains secondaires si la localité le permet. Pour Paris, excursion à Meudon.



Age tertiaire, ses terrains et ses fossiles.

Pendant l'âge tertiaire, à la suite d'un lent affaissement du sol, la mer vient reprendre possession du bassin pa-



Fig. 277. — La France après le dépôt des terrains tertiaires.

risien (fig. 277). Elle dépose sur la craie de l'âge précédent

des sables, des argiles, des calcaires et du gypse. Les grands reptiles, ainsi que les Belemnites et les Ammonites ont disparu ; malgré cela, les êtres vivants atteignent un degré de perfection qu'ils n'avaient pas encore atteint : les mammifères, jusqu'alors très rares, deviennent de plus en plus nombreux, et les mollusques portent des coquilles ressemblant beaucoup à celles que portent nos mollusques actuels. Les végétaux se rapprochent de ceux que nous connaissons, enfin de nombreuses espèces animales et végétales apparaissent, qui vivent encore de nos jours.



Fig. 278. — Dent de requin de l'âge tertiaire.

Les terrains tertiaires ont été divisés en trois étages : l'ÉOCÈNE, qu'on appelle souvent *terrain parisien*, le MIOCÈNE ou *molasse* et le PLIOCÈNE ou *terrain sub-apennin*.

Parmi les mammifères, ce sont les ongulés qui dominent, aussi a-t-on voulu donner à l'époque du dépôt des terrains tertiaires le nom d'*ère des Ongulés* ; les oiseaux, les rep-



Fig. 279. — Insectes fossiles de l'âge tertiaire.

tiles, les batraciens et les poissons abondent. Les re-

quins peuplent les mers, nous en retrouvons les dents bien conservées (fig. 278). Les insectes ne sont pas rares (fig. 279), on les rencontre dans certaines localités empâtés par une sorte de résine nommée *ambre* ou *succin*. Mais les fossiles qui caractérisent le mieux l'âge tertiaire sont les *cérithes* et les *nummulites*. Le *cérithé* est une coquille en forme de cône très allongé avec une ouverture munie d'un canal par où passait le tube respiratoire du mollusque gastéropode qui l'habitait (fig. 280). La *nummulite* ressemble à une petite pièce de monnaie (fig. 281); intérieurement elle est divisée en nombreuses logettes.

Dans une foule de localités ce fossile est si abondant qu'il forme des couches de terrains importantes (fig. 282).

A la fin de l'âge tertiaire vivaient de gros animaux voisins de nos éléphants, les *Mastodontes* et les *Dinotheriums*, qui dépassaient 5 mètres de longueur (fig. 283).



Fig. 280. — Cérithé, mollusque gastéropode de l'âge tertiaire.



Fig. 281. — Nummulite, rhizopode fossile de l'âge tertiaire.

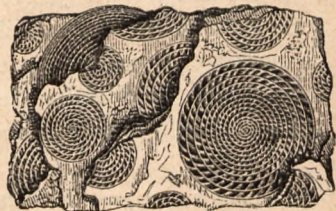


Fig. 282. — Calcaire nummulitique.

Les roches sédimentaires qui composent les terrains ter-



tières sont : le *calcaire*, la *marne*, le *sable*, le *grès*, le *poudingue*, l'*argile*, le *gypse*, le *sel gemme*, la *meulière* et les *lignites* ; les roches éruptives qui les ont traversées sont les *trachytes* et les *basaltes* qu'il est facile d'étudier en Auvergne et dans le Cantal.

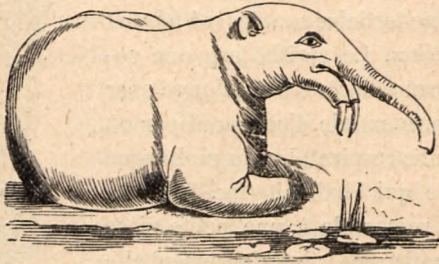


Fig. 283. — Le Dinotherium, animal de l'âge tertiaire.

L'ÉOCÈNE est très développé dans Paris et ses environs, il comprend trois formations principales que je vous énumère dans leur ordre de superposition en commençant par la plus ancienne, c'est-à-dire par celle qui se trouve au-dessous des autres :

- 1° Les *sables du Soissonnais* (Cuise-la-Motte) ;
- 2° Le *calcaire grossier* (pierre de Paris, Arcueil, etc.) ;
- 3° Le *gypse* (Paris, Argenteuil, Noisy-le-Sec, etc.).

Le MIOCÈNE comprend à son tour trois autres étages :

- 1° Les *sables de Fontainebleau* ;
- 2° Les *faluns* (sables très coquilliers) de la Touraine et de l'Aquitaine ;
- 3° Les *marnes et grès de Vienne* (Autriche).

Quant au PLIOCÈNE il est surtout développé en Angleterre, à Suffolk et à Norwich ; il n'est représenté dans les environs de Paris que par les sables de Chartres.



La Méditerranée était comblée à l'époque miocène, mais un effondrement à l'époque pliocène a ramené la mer. Les volcans du Velay sont de cette époque, ce sont les plus anciens volcans connus; avant leur apparition les roches ignées n'avaient pas encore soulevé de cônes d'éruption.

### QUESTIONNAIRE.

*Quels sont les principaux caractères de l'âge tertiaire?*

*En combien d'étages divise-t-on les terrains tertiaires?*

*Quels sont les animaux que l'on rencontre à l'état fossile dans les roches de ces terrains?*

*Dites les noms des formations principales de l'Éocène.*

*Dites les noms des formations principales du Miocène.*

*Où le Pliocène est-il surtout développé?*

### EXPÉRIENCES ET EXPLICATIONS COMPLÉMENTAIRES.

Insister sur la disposition des terrains primaires secondaires et tertiaires en France et surtout dans le bassin de Paris. — Montrer des cérites et des nummulites pour caractériser les terrains tertiaires. — Mollusques gastéropodes; rôle des foraminifères dans la constitution des terrains. Calcaire nummulitique. — Excursion dans les terrains tertiaires si la localité le permet. A Paris, on aura : 1<sup>o</sup> excursion à Vanves et Vaugirard pour l'argile plastique et le calcaire grossier; 2<sup>o</sup> excursion à Arcueil, calcaire grossier; 3<sup>o</sup> excursion à Argenteuil, gypse et sables de Fontainebleau.

## IV

### Age quaternaire. Apparition de l'homme.

Beaucoup de géologues prétendent que nous sommes encore en période tertiaire, mais il est peut-être plus juste de faire de l'époque actuelle un âge spécial sous le nom de quaternaire, à cause des phénomènes climatiques remarquables qui la séparent de l'époque précédente.

Au début de l'âge quaternaire, en effet, la terre a été soumise à un refroidissement très intense, on désigne ce fait en disant qu'elle a subi alors une première PÉRIODE GLACIAIRE. Agassiz a trouvé des traces de glaciers jusque sous l'équateur. Sur l'hémisphère Nord les glaciers ont fondu et les torrents ainsi formés ont déposé le DILUVIUM GRIS, sorte d'argile grisâtre avec sables et cailloux roulés formés par des silex, des granits et des porphyres. Ces cailloux, pour le bassin de Paris, viennent des montagnes du Morvan, on peut les suivre dans les vallées successives de la Seine, de l'Yonne et de la Cure par où ils sont descendus.

Plus tard, les torrents impétueux se sont arrêtés et ont déposé une boue rougeâtre qu'on nomme LOESS (limon). En même temps se produisit un affaissement général des mers dont on retrouve les plages coquillières à des altitudes qui varient entre 450 et 1900 mètres (Angleterre, Scandinavie, Amérique du Nord).

Après la période du Loess revient une nouvelle période glaciaire, moins intense que la première, pendant laquelle les glaciers marins sont très développés. Tout le nord de l'Amérique et de l'Europe était dans la banquise. La débâcle de ces glaciers a charrié des blocs erratiques angu-

leux comme le fait la banquise actuelle avec ses glaces flot-

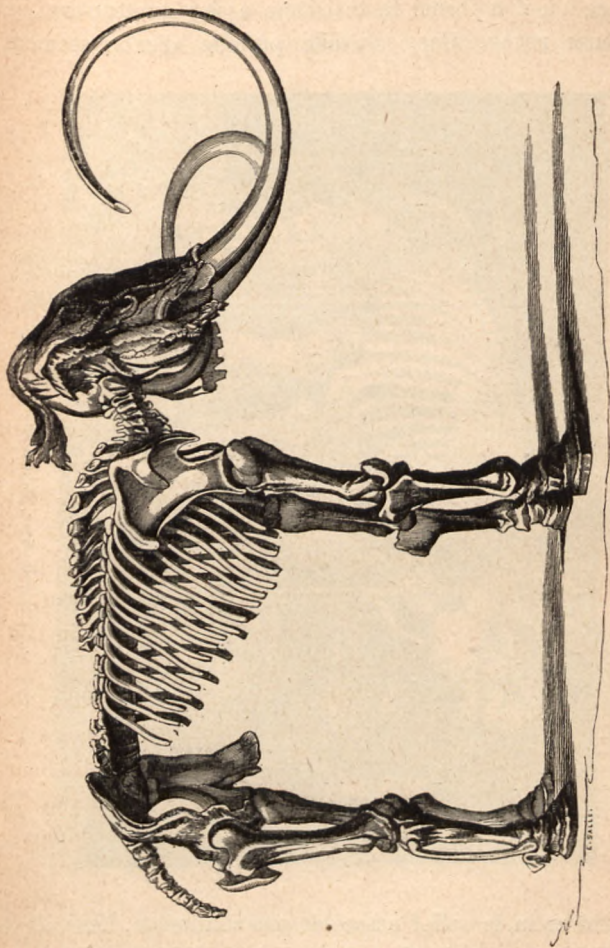


Fig. 284. — Le Mammouth, animal fossile de l'âge quaternaire.

tantes; ces blocs se trouvent dans toute la partie septentrionale de notre hémisphère, sauf en Sibérie; mais ils ne

sont pas arrivés jusqu'à nous, le limon seul est parvenu en France où il a formé la troisième assise quaternaire, le DILUVIUM ROUGE. Une nouvelle période d'exhaussement

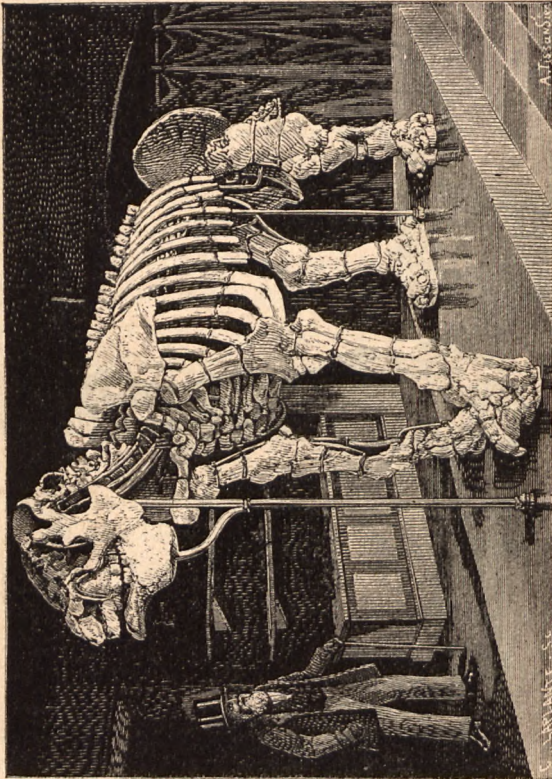


Fig. 285. — Le Mégathérium, animal fossile de l'âge quaternaire.

amène enfin le relief actuel de nos continents. Les volcans de l'Auvergne et la plupart de ceux de l'Elfe sont de cette époque.

Les couches qui se sont formées depuis le début de l'âge



quaternaire renferment une grande quantité d'ossements appartenant à des êtres dont l'espèce est encore vivante ou se trouve absolument perdue : squelettes de *Mammouth*



Fig. 286. — Le Cerf à grands bois de l'âge quaternaire.

(fig. 284), de *Mégathérium* (fig. 285), de *Cerf à grands bois* (fig. 286), d'*Ours des cavernes* (fig. 287) et de *Renne* (fig. 288). Tous ces animaux ont été contemporains de l'homme et chassés par lui ; les géologues en ont la preuve.

Les habitations préhistoriques ont été fouillées (fig. 289). elles ont permis de recueillir une énorme quantité d'objets

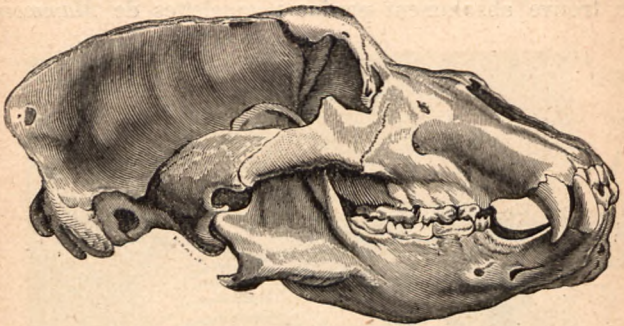


Fig. 287. — Crâne de l'Ours des cavernes, animal de l'âge quaternaire.

et d'ossements qui démontrent la coexistence de l'homme et des grands mammifères dont nous venons de parler.



Fig. 288. — Le Renne, animal de l'âge quaternaire dont l'espèce est encore vivante actuellement.

Parmi ces objets sont des plaquettes de schiste, de bois de

renne et d'ivoire portant les images de l'ours, du mammouth et du renne (fig. 290), gravées par l'homme préhistorique lui-même. En l'année 1864 des pêcheurs ont découvert dans

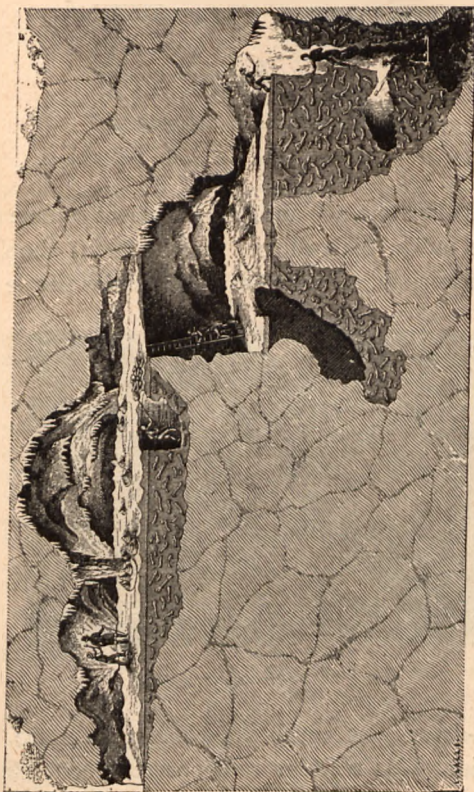


Fig. 289. — Caverne à ossements de Gaylenreuth (Bavière).

le golfe de l'Obi un mammouth dont la chair gelée était encore recouverte de sa peau velue (fig. 291), il ressemblait absolument à celui qui fut dessiné par l'homme de la période glaciaire.



Dans les sédiments de l'époque quaternaire, au milieu des ossements de ces grands animaux, on retrouve aussi des pierres taillées, premiers produits de l'industrie humaine :



Fig. 290. — Le Renne, gravé par l'homme préhistorique.

ce sont des silex que nos ancêtres utilisaient comme armes ou comme outils. D'abord, ces pierres furent simplement taillées par le choc, ensuite elles furent polies par le frotte-

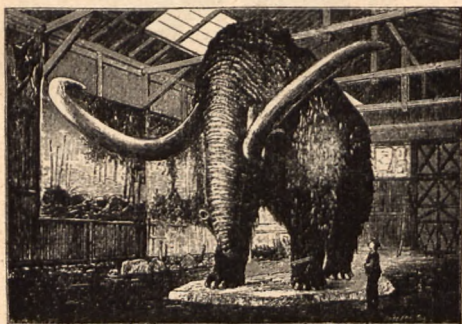


Fig. 291. — Mammouth restauré.

ment. Au-dessus des couches anciennes de notre époque des alluvions plus récentes se déposent, recouvertes presque partout par la terre végétale. A l'âge de la pierre succède l'âge du bronze : c'est l'aurore de la civilisation moderne.

FIN.





# TABLE DES MATIÈRES

---

Notions préliminaires.....	1	Définition de la Météorologie..	5
Définition de la Cosmographie.	1	Définition de la Géologie.....	7

## PREMIÈRE PARTIE. — COSMOGRAPHIE.

Description du Soleil.....	9	Constitution physique des Co-	
Distance de la Terre au Soleil.	9	mètes .....	38
Dimensions du Soleil.....	10	Comète de 1881.....	43
Aspect de la surface du Soleil.	12	Comète de 1882.....	45
Le Soleil tourne sur lui-même.	14	<b>Description de la Lune.....</b>	<b>49</b>
Chaleur produite par le Soleil.	15	Dimensions de la Lune.....	49
<b>Généralités sur les Planètes.</b>	<b>17</b>	Aspect de la Lune.....	50
Distinction entre les Étoiles et		La Lune ne possède ni atmo-	
les Planètes .....	17	sphère ni mers.....	56
Distance des Planètes au So-		<b>Les phases de la Lune.....</b>	<b>61</b>
leil.....	18	Explication des phases de la	
Les Satellites.....	19	Luné.....	61
Grosseurs comparées des Pla-		La lumière cendrée.....	64
nètes.....	20	La Lune nous montre toujours	
<b>Les Planètes inférieures...</b>	<b>22</b>	la même face.....	66
Mercury.....	22	Effets de l'attraction lunaire	
Vénus.....	22	sur l'Océan.....	66
Passage des Planètes infé-		Ce qu'il faut penser de l'in-	
rieures sur le Soleil.....	25	fluence de la Lune sur le	
<b>Les Planètes supérieures...</b>	<b>27</b>	temps.....	69
Mars et les Astéroïdes.....	27	La Lune rousse.....	73
Jupiter.....	29	<b>Les Éclipses.....</b>	<b>76</b>
Saturne .....	31	Eclipses de Lune.....	76
Uranus .....	32	Eclipses de Soleil.....	78
Neptune.....	33	Occultations .....	82
Tableau du système solaire.	35	<b>Forme et dimensions de la</b>	
<b>Les Comètes.....</b>	<b>36</b>	<b>Terre .....</b>	<b>84</b>
Orbites des Comètes.....	36	Latitudes et longitudes.....	86

<b>Le jour et la nuit</b> .....	91	<b>Le Calendrier</b> .....	116
Orientation.....	91	Calendrier romain.....	116
Mouvement apparent du Soleil.	91	Calendrier grégorien.....	118
Cadran solaires.....	92	Calendrier républicain.....	120
Mouvement réel de la Terre..	93	<b>Fasti calendares ou Calen-</b>	
<b>Les heures</b> .....	95	<b>daria</b> .....	123
Les différences d'heure.....	96	<b>Étoiles et constellations</b> ...	125
<b>Choix d'un premier méridien</b> .....	101	Classification des étoiles.....	125
Cartes marines et terrestres..	104	Principales constellations....	126
Le mille marin.....	106	La grande Ourse.....	127
Le nœud marin.....	106	Le mouvement diurne.....	128
<b>Les climats</b> .....	108	Le zodiaque.....	128
<b>Les saisons</b> .....	109	Les nébuleuses.....	130
Le Soleil de minuit.....	112	Distances des Etoiles à la Terre	131

## DEUXIÈME PARTIE. — MÉTÉOROLOGIE.

<b>Composition de l'air atmosphérique</b> .....	135	Vitesse des vents.....	171
Expérience de Lavoisier.....	135	L'anémomètre.....	171
Les gaz de l'air.....	139	Les vents constants.....	174
<b>L'air est pesant</b> .....	142	Les vents périodiques.....	175
Le baromètre.....	144	<b>Œuvre de Maury</b> .....	179
Les variations du baromètre..	148	<b>L'eau</b> .....	182
<b>La chaleur atmosphérique</b> ..	152	Divers états de l'eau.....	182
Dilatation des corps par la		Rôle de l'eau en géologie. Eaux	
chaleur.....	152	minérales.....	183
Description du thermomètre..	154	Rôle de l'eau dans l'économie	
Graduation du thermomètre..	155	domestique.....	183
Divers thermomètres.....	157	Les eaux potables.....	185
<b>Observations thermométriques</b> .....	159	L'eau distillée.....	185
Températures moyennes.....	159	Composition de l'eau.....	185
Distribution des températures		Le voltamètre.....	187
à la surface du globe.....	161	<b>Les météores aqueux</b> .....	189
Températures les plus hautes		Humidité de l'atmosphère....	189
observées à Paris.....	163	L'hygromètre.....	189
Températures les plus basses		Les brouillards.....	190
observées à Paris.....	164	Les nuages.....	191
Les grands hivers.....	167	La rosée.....	192
<b>Effets de la chaleur sur l'atmosphère</b> .....	169	La pluie.....	195
L'air chaud s'élève.....	169	Le pluviomètre.....	195
Direction des vents.....	170	Répartition des pluies à la sur-	
La girouette.....	171	face du globe.....	199
		La pluie à Paris.....	200
		Le verglas.....	203
		La neige.....	203

La grêle.....	204	Décomposition de la lumière solaire.....	235
La glace.....	206	<b>Les halos.....</b>	237
Glacières.....	208	Les couronnes.....	239
<b>Les météores électriques et lumineux.....</b>	210	<b>Prévision du temps.....</b>	241
Electricité atmosphérique....	210	Observatoires météorologi- ques.....	241
Eclair et tonnerre.....	211	Instruments employés dans les observatoires.....	243
Eclairs de chaleur.....	214	<b>Bureau central météorologi- gique de France.....</b>	248
Foudre globulaire.....	214	Service des avertissements...	249
<b>Le paratonnerre.....</b>	217	Echelles et notation des dé- pêches.....	250
L'électricité s'échappe par les pointes.....	217	<b>Bourrasques ou dépressions.</b>	253
Théorie du paratonnerre....	219	Mouvements des cyclones...	254
Paratonnerre de Melsens....	221	Cartes du temps.....	256
<b>Les aurores boréales.....</b>	223	Influence de la direction du vent sur le climat de Paris.	258
Observations d'aurores bo- réales.....	225	<b>Ouragans et tempêtes.....</b>	261
<b>Les étoiles filantes.....</b>	228	Les trombes.....	266
Pierres tombées du ciel.....	229		
Bolides.....	230		
Météorites.....	233		
<b>Arcs-en-ciel.....</b>	235		

## TROISIÈME PARTIE. — GÉOLOGIE.

<b>Formation de l'écorce ter- restre ...</b>	270	Le courant équatorial.....	301
Notions générales.....	270	<b>Actions de la mer sur les continents.....</b>	304
Les roches.....	272	Eaux souterraines.....	307
Les fossiles.....	275	Les sources.....	307
<b>Mouvements de l'écorce ter- restre.....</b>	277	Puits.....	308
Mouvements lents (exhausse- ments et abaissements)....	277	Puits artésiens.....	309
Mouvements brusques.....	278	Puits artésien de Grenelle...	310
Les tremblements de terre..	280	<b>Les eaux tranquilles et sau- vages.....</b>	314
Tremblement de terre d'Ischia.	284	Formation des deltas.....	314
<b>Les Volcans.....</b>	287	Les torrents.....	315
Distribution géographique des volcans.....	288	Catastrophe de Szegedin....	316
Coulées de lave.....	291	<b>Les glaciers.....</b>	319
Solfatares.....	293	Glaciers polaires.....	319
<b>Les mers et les courants marins.....</b>	297	Glaciers de montagnes.....	321
Gull-stream.....	298	Exemples de glaciers.....	323
La mer des Sargasses.....	300	Phénomènes observés dans les glaciers.....	325
		<b>Classification des roches... </b>	328
		<b>Les roches éruptives.....</b>	329

<b>Les roches sédimentaires..</b>	334	Les asphaltés.....	382
<b>Les roches siliceuses.....</b>	334	<b>Les pierres précieuses.....</b>	383
Cristal de roche.....	334	La turquoise.....	383
Silex ou pierre à fusil.....	335	La topaze.....	383
La meulière.....	337	Le corindon.....	383
Les Geysers.....	338	L'émeraude.....	383
Le tripoli.....	339	Le grenat.....	384
Les sables (landes et dunes)..	341	Les rubis.....	384
Les grès.....	343	Les tourmalines.....	384
Fabrication des verres et cris- taux.....	343	Le lapis-lazuli.....	384
<b>Les roches argileuses.....</b>	348	<b>Les métaux usuels.....</b>	384
Le kaolin.....	348	L'or.....	385
Les argiles.....	348	L'argent.....	385
Les ardoises.....	349	Le cuivre.....	387
Art du potier ou céramique...	351	Le fer.....	388
Poteries poreuses.....	352	Le zinc.....	388
Poteries non poreuses.....	353	<b>Les âges de la Terre.....</b>	389
La porcelaine.....	355	Périodes géologiques.....	389
<b>Les roches calcaires.....</b>	360	Période azoïque.....	390
Les marbres.....	361	<b>Age primaire.....</b>	392
Calcaire lithographique.....	361	Archéen.....	392
La craie.....	362	Silurien.....	393
Stalactites et stalagmites....	364	Dévonien.....	394
Travertins.....	367	Carbonifère.....	396
Lumachelles.....	367	Permien.....	399
Calcaire grossier.....	367	<b>Age secondaire.....</b>	401
Pierre spéculaire.....	369	Trias.....	404
Pierre à plâtre.....	369	Lias.....	404
Usages des roches calcaires..	370	Jurassique.....	404
La chaux et les ciments.....	371	Crétacé.....	410
Le plâtre et le stuc.....	373	<b>Age tertiaire.....</b>	413
<b>Les roches combustibles... </b>	375	Éocène.....	416
Diamant et graphite.....	375	Miocène.....	416
Anthracite.....	377	Pliocène.....	416
La houille ou charbon de terre.	377	<b>Age quaternaire.....</b>	418
Les lignites.....	379	Diluvium gris.....	418
Les tourbes.....	380	Lœss.....	418
Naphtes et pétroles.....	381	Diluvium rouge.....	420
Les bitumes.....	381	Cavernes à ossements.....	422

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.



Handwritten signature or initials in the bottom right corner, possibly including the number '14' and a date.

COLLECTION IN-18, CARTONNÉE TOILE ANGLAISE

---

PREMIÈRES LEÇONS D'HISTOIRE LITTÉRAIRE

*Littérature grecque; littérature latine; littérature française*, par M. Alfred CROISSET, professeur adjoint à la Faculté des lettres de Paris; R. LALLIER, ancien maître de conférences à la Faculté des lettres de Paris; PETIT DE JULLEVILLE, professeur suppléant à la Faculté des lettres de Paris. 2<sup>e</sup> édition..... 2 fr.

LEÇONS DE LITTÉRATURE GRECQUE

Par M. Alfred CROISSET, professeur adjoint à la Faculté des lettres de Paris. 2<sup>e</sup> édition..... 2 fr.

LEÇONS DE LITTÉRATURE LATINE

Par M. R. LALLIER, ancien maître de conférences à la Faculté des lettres de Paris, et M. H. LANTOINE, secrétaire de la Faculté des lettres de Paris. 2<sup>e</sup> édition..... 2 fr.

LEÇONS DE LITTÉRATURE FRANÇAISE

Par M. PETIT DE JULLEVILLE, professeur suppléant à la Faculté des lettres de Paris. 4<sup>e</sup> édition. 2 volumes :

Premier volume : *Des origines à Corneille*.... 2 fr.

Deuxième volume : *De Corneille à nos jours*..... 2 fr.

HISTOIRE LITTÉRAIRE

Par M. F. DE CAUSSADE, conservateur à la bibliothèque Mazarine. 2 volumes :

*Littérature grecque*. 5<sup>e</sup> édition..... 3 fr.

*Littérature latine*. 3<sup>e</sup> édition..... 6 fr.

NOTIONS DE RHÉTORIQUE ET ÉTUDE DES GENRES  
LITTÉRAIRES

Par M. F. DE CAUSSADE. 4<sup>e</sup> édition..... 2 fr. 50

PRÉCIS DE GRAMMAIRE HISTORIQUE

DE LA LANGUE FRANÇAISE.

Avec une introduction sur les origines et le développement de cette langue, par M. Ferdinand BRUNOT, maître de conférences à la Faculté des lettres de Lyon (*Ouvrage couronné par l'Académie française*)..... 6 fr.

COLLECTION IN-18, CARTONNÉE TOILE ANGLAISE

MORCEAUX CHOISIS DES AUTEURS FRANÇAIS

(Poètes et prosateurs), des origines à nos jours, avec notice biographique et littéraire sur chaque auteur, par M. PETIT DE JULLEVILLE, professeur suppléant à la Faculté des lettres de Paris.. 5 fr. »

COURS DE PHILOSOPHIE

LOGIQUE

Par M. L. LIARD, directeur de l'enseignement supérieur. 2<sup>e</sup> édit. 2 fr.

COURS D'HISTOIRE NATIONALE

Par M. CORRÉARD, professeur agrégé d'histoire. 3 volumes :

- I. *Des origines gauloises au milieu du quinzième siècle.*.. 2 fr. 50
- II. *Du milieu du quinzième siècle à la mort de Louis XIV.*.. 2 fr. 50
- III. *De la mort de Louis XIV à l'année 1876.*..... 2 fr. 50

COURS D'HISTOIRE CONTEMPORAINE

Par M. CORRÉARD. 1 vol. in-18. (*En préparation.*)

HISTOIRE DE LA CIVILISATION

Par M. SEIGNOBOS, docteur ès lettres. 2 volumes :

- Premier volume : *Histoire ancienne de l'Orient. — Histoire des Grecs. — Histoire des Romains. — Le Moyen Age jusqu'à Charlemagne.* — Avec 105 figures dans le texte. 2<sup>e</sup> édition.. 3 fr. 50
- Second volume : *Moyen Age (depuis Charlemagne). — Renaissance et temps modernes. — Période contemporaine.* — Avec 72 figures dans le texte..... 5 fr.
- Les deux volumes sont vendus ensemble..... 8 fr.

PRÉCIS D'HISTOIRE

Par M. E. LEVASSEUR, membre de l'Institut. 1 vol. in-18, avec 90 cartes dans le texte. Sommaires de l'histoire de France antérieure à 1610. — Histoire de l'Europe de 1610 à 1789. — Histoire contemporaine. 1 vol. avec 90 figures dans le texte..... 4 fr.

COURS DE GÉOGRAPHIE

Par M. Marcel DUBOIS, professeur à la Faculté des lettres de Paris :

- I. *Notions élémentaires de géographie générale.*..... 1 fr. 50
- II. *Géographie de l'Europe.*..... 2 fr. »
- III. *Géographie de la France.*..... 2 fr. »

PRÉCIS DE GÉOGRAPHIE

Par M. E. LEVASSEUR, membre de l'Institut. **Géographie générale de la Terre. — L'Europe moins la France. — La France et ses colonies.** 4<sup>e</sup> édition..... 3 fr. »

FORMULAIRE COMMERCIAL ALLEMAND

A l'usage des Français, par M. Émile LEBERT, professeur d'allemand. 1 volume..... 2 fr.

Biblioteka im. Hieronima  
Łopacińskiego w Lublinie

324058



1000072451

